

SsSci^{2ndconference} 2019

การประชุมสวนสุนันทาวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 2
“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 2nd Suan Sunandha National and International Academic
Conference on Science and Technology (SsSci 2019)

“Science, Technology and Innovation
for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 8 พฤศจิกายน 2562
8th November 2019

ณ โรงแรมเดอะรอยัลริเวอร์ กรุงเทพมหานคร
The Royal River Hotel, Bangkok, Thailand

ความเป็นมาของการประชุมสวนสุนันทาวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 2

“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

หลักการและเหตุผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏเน้นการผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพเป็นเลิศโดยกระบวนการจัดการเรียนการสอนเพื่อการพัฒนาชุมชนและท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็ง และยั่งยืน ตามยุทธศาสตร์ใหม่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นตามพระบรมราโชบายของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชการที่ 10 และแผนยุทธศาสตร์ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579) โดยมีการขับเคลื่อนงานวิจัย สร้างความรู้และนวัตกรรมให้มีคุณภาพและได้มาตรฐานสากล ให้บริการทางวิชาการ ถ่ายทอดเทคโนโลยี น้อมนำแนวพระราชดำริ สร้างเครือข่ายและความร่วมมือกับภาคประชาชน ชุมชน ท้องถิ่น และผู้ประกอบการในการจัดการศึกษา ส่งเสริมเปลี่ยนแปลง และการพัฒนาก้าวหน้า อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน ทัดเทียมกับนานาชาติอารยประเทศ ประกอบกับประเทศไทยมีนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม (Thailand 4.0) โดยมีแนวคิดหลักคือ เปลี่ยนจากการขับเคลื่อนประเทศด้วยภาคอุตสาหกรรมไปสู่การขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี การพัฒนาวิชาการ ความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนาแล้วต่อยอดสู่เทคโนโลยีอุตสาหกรรมในหลายกลุ่มเป้าหมาย เช่น กลุ่มอาหาร เกษตร และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มสาธารณสุข สุขภาพ และเทคโนโลยีทางการแพทย์ กลุ่มดิจิทัล เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่อและบังคับอุปกรณ์ต่าง ๆ ปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว รวมทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ วัฒนธรรม และบริการที่มีมูลค่าสูง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ตระหนักถึงความสำคัญของการศึกษาวิจัยและพัฒนา เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ การพัฒนาการเรียนการสอน และการวิจัยประยุกต์ บนพื้นฐานการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานวิจัย และสร้างความร่วมมือทางวิชาการของนักศึกษา คณาจารย์ นักวิจัย และนักวิชาการจากสถาบันอุดมศึกษาในประเทศ และเครือข่ายมหาวิทยาลัยที่ทำข้อตกลงทางวิชาการ (MoU) ในต่างประเทศ รวมทั้งหน่วยงานเครือข่ายทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อให้ผลิตงานวิจัยที่มีคุณค่าต่อสังคม รวมทั้งส่งเสริมให้เกิดการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีประโยชน์สู่สาธารณะ เพื่อก่อให้เกิดการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ และการพัฒนา การต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์หรืออุตสาหกรรม นำไปสู่เป้าหมายเพื่อการพัฒนาได้อย่างยั่งยืน

จากความสำคัญดังกล่าว ทางคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงได้จัดทำโครงการประชุมสวนสุนันทาวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 2 “วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน” ขึ้น เพื่อเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และความรู้ของนักศึกษา คณาจารย์ นักวิจัย และนักวิชาการจากสถาบันอุดมศึกษา รวมทั้งหน่วยงานที่สนใจทั้งภาครัฐและเอกชนทั้งในและต่างประเทศ ในสาขาวิชาต่าง ๆ จำนวน 8 กลุ่มสาระ ได้แก่

- 1) คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- 2) คณิตศาสตร์ และสถิติ
- 3) ฟิสิกส์ และพลังงาน
- 4) เคมี และนิติวิทยาศาสตร์

- 5) ชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ และจุลชีววิทยา
- 6) วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
- 7) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และคหกรรมศาสตร์
- 8) วิทยาศาสตร์การกีฬา และสุขภาพ

วัตถุประสงค์ของการประชุมสนันทาวิชาการ

1. เพื่อเป็นเวทีในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานสร้างสรรค์ในระดับชาติและนานาชาติ
2. เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษา คณาจารย์ นักวิจัย และนักวิชาการจากสถาบันอุดมศึกษา รวมทั้งหน่วยงานที่สนใจทั้งภาครัฐและเอกชน ตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัยและการเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ
3. เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานสร้างสรรค์ในระดับชาติและนานาชาติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการประชุมสนันทาวิชาการ

1. เป็นเวทีในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานสร้างสรรค์ในระดับชาติและนานาชาติ
2. ส่งเสริมให้นักศึกษา คณาจารย์ นักวิจัย และนักวิชาการจากสถาบันอุดมศึกษา รวมทั้งหน่วยงานที่สนใจทั้งภาครัฐและเอกชน ตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัยและการเผยแพร่ผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ
3. การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานสร้างสรรค์ในระดับชาติและนานาชาติ



Conference Background

The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology (SsSci2019) “Science, Technology and Innovation for Sustainable Development”



The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology, entitled "Science, Technology and Innovation for Sustainable Development" is the prestigious event organizes by Faculty of Science and Technology, SSRU, to provide an excellent platform for the national and international academicians, researchers, industrial participants and students to share their findings and establish collaborations with each other's and experts. The conference will be held in Bangkok, Thailand on 8th November 2019.

The key intention of this conference is to provide opportunity for the national and international participants to share their ideas and experiences. In addition this conference will help the delegates and participants to establish research or business relations and future collaborations in their career path nationally and internationally. We hope the outcome will lead the major impact on updating the knowledge and research base scopes of conference's eight major topics.

This Conference is sponsored and organized by Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University. The conference would offer a large number of invited lectures and presentations from distinguished speakers. The best paper awards will be given for the papers judged to make the most significant contribution to the conference.

This conference provides respectable platform and decent opportunity for participants to exchange knowledge, share experiences and develop connections with faculty members, researchers from academia, industry, government and students. The conference includes eight major research areas:

1. Computer Science and Information Technology
2. Mathematics and Statistics
3. Physics and Energy
4. Chemistry and Forensic Science
5. Biology, Biotechnology, and Microbiology
6. Environmental Science and Technology
7. Food Science and Technology, and Home Economics
8. Sports and Health Science

เจ้าภาพร่วม และผู้สนับสนุน
Conference Co-hosts and Supporters

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
Office of the Higher Education Commission

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
National Research Council of Thailand

Faculty of Science
University of Hradec Kralove (Czech Republic)

Okayama University (Japan)

Ho Chi Minh City Open University
(Vietnam)

Kazan Federal University
(Russian Federation)

Chia Nan University of Pharmacy and Science
(Taiwan)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Lampang Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Rajabhat Mahasarakham University

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Sakonkakhon Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Surindra Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University



OKAYAMA
UNIVERSITY



Kazan Federal
UNIVERSITY



Faculty of Science and Technology
Chiang Mai Rajabhat University



เจ้าภาพร่วม และผู้สนับสนุน
Conference Co-hosts and Supporters

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Thepsatri Rajabhat University



มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
Nakhonratchasima Rajabhat University



มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
Phetchaburi Rajabhat University



บริษัท อาไลติส เยน่า ฟารีอีสต์ (ประเทศไทย) จำกัด
Analytik Jena Far East (Thailand) Ltd.



บริษัท ฮิสโตเซนเตอร์ จำกัด
Histocenter Co.,Ltd (Thailand)
บริษัท สิทธิพรแอสโซซิเอต จำกัด
Sithiphorn Associates Co.,Ltd.



บริษัท วนาไซเอนซ์ จำกัด
Vana Science Co.,Ltd.



บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิส แอนท์ เอนจิเนียริ่ง
คอนซัลแตนท์ จำกัด
United Analyst and Engineering Consultant Co., Ltd.



บริษัท เมอร์ค จำกัด
Merck Ltd.



บริษัท ซายน์ สเปค จำกัด
Scispec Co., Ltd.



บริษัท เพอร์กิน เอลเมอร์ จำกัด
PerkinElmer Co., Ltd.



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาและกลั่นกรองบทความ Conference Committee

กลุ่มคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

- | | | |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | รองศาสตราจารย์ ดร.พยุง มีสัจ
Assoc. Prof. Dr. Phayung Meesad | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 2 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ
Asst. Prof. Dr. Montean Rattanasirivongwut | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 3 | รองศาสตราจารย์ ดร.พรฤดี เนติโสภาคกุล
Assoc. Prof. Dr. Ponrudee Netisopakul | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชฎิภักดิ์ เขมวิมุตติวงศ์
Asst. Prof. Dr. Chutipuk Kemwimoottiwong | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณชัย ชื่นธวัช
Asst. Prof. Dr. Ronnachai Chuentawat | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
Nakhon Ratchasima Rajabhat University |
| 6 | อาจารย์ ดร.นพดล ผู้มีจรรยา
Dr. Noppadon Phumeechaya | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University |
| 7 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิจิตรา จอมศรี
Assist. Prof. Dr. Pijittra Jomsri | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |

กลุ่มคณิตศาสตร์ สถิติ

- | | | |
|---|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย ลีนาวงศ์
Assoc. Prof. Dr. Chartchai Leenawong | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 2 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ดีกัจจะ
Asst. Prof. Dr. Wirot Tikjha | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 3 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุรพา สิงหา
Asst. Prof. Dr. Boorapa Singha | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงกช นิมตระกูล
Asst. Prof. Dr. Bongkoch Nimtrakul | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Thepsatri Rajabhat University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณพฐ์ โสภีพันธ์
Asst. Prof. Dr. Nop Sopipan | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
Nakhon Ratchasima Rajabhat University |

กลุ่มฟิสิกส์ พลังงาน

- | | | |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤปดี ศรีสังข์
Asst. Prof. Dr. Naruebodee Srisang | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 2 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวรรธม ทองมี
Asst. Prof. Dr. Navavan Thongmee | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 3 | อาจารย์ ดร. ชเนษฎ์ วิชาศิลป์
Dr. Chanade Wichasilp | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University |
| 4 | อาจารย์ ดร.ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ
Dr. Pakorn Preechaburana | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Thammasat University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑพัฒน์ กิตติอัครวาลย์
Asst. Prof. Dr. Kanthapat Kitti-atchawan | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Thepsatri Rajabhat University |
| 6 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมฤทัย งามะพัฒน์
Asst. Prof. Dr. Kheamrutai Thamaphat | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 7 | รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ สังวารานที
Assoc. Prof. Dr. Narong Sangwanatee | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 8 | รองศาสตราจารย์ ดร.อมรา อิทธิพงษ์
Assoc. Prof. Dr. Ammara Ittipongse | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |



กลุ่มเคมี นิติวิทยาศาสตร์

- | | | |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1 | ศาสตราจารย์ พลตำรวจตรีหญิง ดร.พัชรา สินลอยมา
Prof. Pol .Maj. Gen. Patchara Sinloyma | โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
Royal Police Cadet Academy |
| 2 | รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก วรัชช วิชชวาณิชย์
Assoc. Prof. Pol. Col. Witchuvanit Witchuvanit | โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
Royal Police Cadet Academy |
| 3 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รพีพรรณ จันทร์มณี
Asst. Prof. Dr. Rapiphun Janmanee | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สาธิต ทองพร้อม
Asst. Prof. Dr. Saithan Thongphrom | มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
Phuket Rajabhat University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สราวุฒิ สมนาม
Asst. Prof. Dr. Sarawut Somnam | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University |
| 6 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์ลิกา สุขสำราญ
Asst. Prof. Dr. Wallika Suksomran | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Thepsatri Rajabhat University |
| 7 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร เปลื้องกลาง
Asst. Prof. Dr. Thanakorn Pluangklang | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
Nakhon Ratchasima Rajabhat University |
| 8 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา วอนสวัสดิ์
Asst. Prof. Dr. Wanida Wonsawat | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 9 | อาจารย์ ดร.พลอยทราย โอฮามา
Dr. Ploysai Ohama | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |

กลุ่มชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ จุลชีววิทยา

- | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | รองศาสตราจารย์ ดร.มรณีย์ ต้อยเต็มวงศ์
Assoc. Prof. Dr. Kooranee Tuitemwong | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Kasetsart University |
| 2 | รองศาสตราจารย์ ดร.อัชฌาณิน จงจิตวิมล
Assoc. Prof. Dr. Touchkanin Jongjitvimol | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 3 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตศิริณ ก้อนคง
Asst. Prof. Dr. Chisiri Konkong | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กชนิภา อุดมทวี
Asst. Prof. Dr. Kotchanipha Udomthawee | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Surindra Rajabhat University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภฤชณ์ ปิ่นทอง
Asst. Prof. Dr. Krit Pinthong | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Surindra Rajabhat University |
| 6 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์
Asst. Prof. Dr. Kittisak Chotikadachanarong | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Chiang Mai Rajabhat University |
| 7 | อาจารย์ ดร.ภคกุล สังข์สุริยะ
Dr.Pakkakul Sangsuriya | ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
National Center for Genetic Engineering and Biotechnology |
| 8 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียมหทัย ชูพันธ์
Asst. Prof. Dr. Thiamhathai Choopan | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
Nakhon Ratchasima Rajabhat University |
| 9 | อาจารย์ ดร.ไตรวิทย์ รัตน์โรจน์พงศ์
Dr.Triwit Rattanarojpong | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 10 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรพันธ์ อัจจิมาพร
Asst. Prof. Dr. Amornpan Ajjimaporn | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |
| 11 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทนา กาญจน์กมล
Asst. Prof. Dr. Chantana Kankamol | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 12 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา อาชายุทธการ
Asst. Prof. Dr. Piyada Achayuthakan | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 13 | อาจารย์ ดร.วัฒนา พันธุ์พีช
Dr.Wattana Panphut | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 14 | Dr. Mohammad Bagher Javadi Nobandegani | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 15 | Dr. Ha Thanh Dong | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |



กลุ่มวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี

- | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ศิลพานันทกุล
Assoc. Prof. Dr. Suthep Silapanuntakul | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |
| 2 | รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์
Assoc. Prof. Dr. Benjaphorn Prapagdee | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |
| 3 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์
Asst. Prof. Dr. Charnwit Kositanont | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม
Asst. Prof. Dr. Saowanee Wijitkosum | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University |
| 5 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี ศรีธาวิรัตน์
Asst. Prof. Dr. Thaunwadee Srithawirat | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 6 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมณิจจารีย์ สารีพันธ์
Asst. Prof. Dr. Khamanitjaree Saripan | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Thepsatri Rajabhat University |
| 7 | รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบุลย์ แจ่มพงษ์
Assoc. Prof. Dr. Paiboon Jeamponk | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 8 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อานัติ ต๊ะปินตา
Asst. Prof. Dr. Anat Thapinta | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 9 | รองศาสตราจารย์ ศิวพันธุ์ ชูอินทร์
Assoc. Prof. Sivapan Choo-In | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 10 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนาวลัย อุฑารสกุล
Asst. Prof. Dr. Tatsanawalai Utarasakul | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คหกรรมศาสตร์

- | | | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | รองศาสตราจารย์ ดร.ชื่นจิตต์ บุญเชิด
Assoc. Prof. Dr. Chuenchit Boonchird | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |
| 2 | รองศาสตราจารย์ ดร.ทัศนีย์ ลีมีสุวรรณ
Assoc. Prof. Dr. Tasanee Limsuwan | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Kasetsart University |
| 3 | รองศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ ศรีแก้ว
Assoc. Prof. Dr. Khongsak Srikaeo | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ
Asst. Prof. Dr. Teerin Chysirichote | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 5 | อาจารย์ ดร.ธนิดา ฉั่วเจริญ
Dr. Thanida Chuacharoen | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |

กลุ่มวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สุขภาพ

- | | | |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา หลายวัฒนไพศาล
Asst. Prof. Dr. Wanida LAIWATTANAPAI SAN | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University |
| 2 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมจินตนา ท้วทพิทย์
Asst. Prof. Dr. Somjintana Toutip | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mahasarakham University |
| 3 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยานิศ ลือวานิช
Asst. Prof. Dr. Chayanit Luevanich | มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
Phuket Rajabhat University |
| 4 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรพันธ์ อัจจิมาพร
Asst. Prof. Dr. Amornpan Ajjimaporn | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |
| 5 | อาจารย์อัมพิกา นันท์บัญชา
Ampika Nanbancha | มหาวิทยาลัยมหิดล
Mahidol University |

Editorial Board

- | | | |
|---|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อานัติ ต๊ะปินตา
Asst. Prof. Dr. Anat Thapinta | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University |
| 2 | Prof. Dr. Hongjoo Kim | Kyungpook National University, Korea |
| 3 | Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal | Institut Teknologi Bandung, Indonesia |
| 4 | Assoc. Prof. Dr. Nguyen Hieu Trung | Can Tho University, Vietnam |



5	Prof. Dr. Subhash C. Pandey	Journal of Environmental Research and Development (JERAD), India
6	Prof. Emeritus Manit Rappon	Lakehead University, Canada
7	Assoc. Prof. Dr. Thanh Son Dao	Vietnam National University, Vietnam
8	Dr. Soo Rin Kim	Kyungpook National University, Korea
9	Dr. Vinh Truong Hoang	Ho Chi Minh City Open University, Vietnam
10	Dr. Wong Tze Jin	Universiti Putra Malaysia Bintulu Campus, Malaysia
11	Dr. Stephen Raymond Morley	Leicester Royal Infirmary, England

Editorial Managers

1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ ต๊ะปิ่นตา Asst. Prof. Dr. Anat Thapinta	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
2	ดร.วัฒนา พันธุ์พีช Dr. Wattana Panphut	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
3	ผศ.ดร.ทัศนาวลัย อุฑารสกุล Asst. Prof. Dr. Tatsanawalai Utarasakul	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
4	ผศ.ดร.พิจิตรา จอมศรี Asst. Prof. Dr. Pijitra Jomsri	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
5	ดร.นิช วงศ์ส่องจำ Dr. Nich Wongsongja	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
6	ดร.มนัสวี เดชกล้า Dr. Manussawee Dechkla	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
7	ดร.ธนิดา ฉั่วเจริญ Dr. Thanida Chuacharoen	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
8	ดร.สันสนีย์ แสนศิริพันธ์ Dr. Sansanee Sansiribhan	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
9	ดร.ชูเกียรติ ผุดพรมราช Dr. Chookait Pudprommarat	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
10	ดร.พลอยทราย โอฮามา Dr. Ploysai Ohama	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University
11	ดร.สุริยัน สมพงษ์ Dr. Suriyan Sompong	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Suan Sunandha Rajabhat University

กำหนดการการประชุมสวนสุนันทาวิชาการฯ

08.00 - 09.00 น.	ลงทะเบียน ณ บริเวณด้านหน้าห้องประชุมกรุงธนบอลล์รูม ชั้น 3
09.00 - 09.15 น.	กล่าวรายงานการประชุม โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ ต๊ะปิ่นตา คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
09.15 - 09.30 น.	กล่าวเปิดการประชุม โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ฤเดช เกิดวิชัย อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
09.30 - 10.00 น.	- พิธีมอบของที่ระลึกแก่เจ้าภาพร่วมและถ่ายภาพร่วมกัน - พิธีมอบรางวัลบทความวิจัยดีเด่น จำนวน 3 รางวัล โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ฤเดช เกิดวิชัย อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
10.00 - 10.30 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง “Recent Technology Breakthroughs in the Control of Iron Deficiency Anemia” โดย Prof.Dr.Michael Bruce Zimmermann Zurich Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland
10.30 - 11.00 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง “Universities Facing Severe Challenges of Fewer Children Trend and International Competition” โดย Prof.Dr.Chih-Hsiang Liao Vice President of Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan
11.00 - 11.15 น.	รับประทานอาหารว่าง ณ ด้านหน้าห้องประชุมภาณุรังษีบอลล์รูม ชั้น 1
11.00 - 12.15 น.	นำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคโปสเตอร์ ณ ด้านหน้าห้องประชุมภาณุรังษีบอลล์รูม ชั้น 1
11.15 - 12.15 น.	นำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคบรรยาย ณ ห้องประชุม ชั้น 1, 2 และ 3
ห้องภาณุรังษี เอ	ชั้น 1 กลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (กลุ่มย่อยที่ 1)
ห้องภาณุรังษี ซี	ชั้น 1 กลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (กลุ่มย่อยที่ 2)
ห้องบงกชรัตน์ เอ	ชั้น 2 กลุ่มสาขาฟิสิกส์และพลังงาน
ห้องบงกชรัตน์ บี	ชั้น 2 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ห้องบงกชรัตน์ ซี	ชั้น 2 กลุ่มสาขาเคมีและนิติวิทยาศาสตร์
ห้องบุษบงกช เอ	ชั้น 2 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี
ห้องบุษบงกช บี	ชั้น 2 กลุ่มสาขาชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ และจุลชีววิทยา
ห้องกรุงธนบอลล์รูม	ชั้น 3 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารและคหกรรมศาสตร์
12.15 - 13.15 น.	รับประทานอาหารกลางวัน ณ ห้องอาหารริมน้ำ ชั้น 1

- 13.15 – 15.30 น. นำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคโปสเตอร์
ณ ด้านหน้าห้องประชุมภาณูรังษีบอลล์รูม ชั้น 1 (ต่อ)
พร้อมมอบวุฒิบัตรการนำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคโปสเตอร์
- 13.15 – 14.45 น. นำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคบรรยาย ณ ห้องประชุมชั้น 1, 2 และ 3 (ต่อ)
ห้องภาณูรังษี เอ ชั้น 1 กลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (กลุ่มย่อยที่ 1)
ห้องภาณูรังษี ซี ชั้น 1 กลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (กลุ่มย่อยที่ 2)
ห้องบงกชรัตน์ เอ ชั้น 2 กลุ่มสาขาฟิสิกส์และพลังงาน
ห้องบงกชรัตน์ บี ชั้น 2 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ห้องบงกชรัตน์ ซี ชั้น 2 กลุ่มสาขาคณิตศาสตร์และสถิติ
ห้องบุษบงกช เอ ชั้น 2 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี
ห้องบุษบงกช บี ชั้น 2 กลุ่มสาขาชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ และจุลชีววิทยา
ห้องกรุงธนบอลล์รูม ชั้น 3 กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารและคหกรรมศาสตร์
- 14.45 – 15.00 น. รับประทานอาหารว่าง ณ ด้านหน้าห้องประชุมกลุ่มย่อย ชั้น 1, 2 และ 3
- 15.00 – 17.00 น. นำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคบรรยาย ณ ห้องประชุม 1, 2 และ 3 (ต่อ)
พร้อมมอบวุฒิบัตรการนำเสนอผลงานวิจัยแบบภาคบรรยาย ณ ห้องประชุมกลุ่มย่อย

Conference Schedule

08.00 - 09.00	Registration (Krungthon Ballroom, 3 rd floor front area)
09.00 - 09.15	Giving a briefing of the conference Asst. Prof. Dr. Anat Thapinta Dean of Faculty of Science and Technology
09.15 - 09.30	SsSci 2019 Opening ceremony Associate Professor Dr. Luedech Girdwichai President of Suan Sunandha Rajabhat University
09.30 - 10.00	Presenting a token of appreciation to the distinguished co-hosts and taking a group photo Presenting three awards for outstanding Associate Professor Dr. Luedech Girdwichai President of Suan Sunandha Rajabhat University
10.00 - 10.30	Keynote Speech “Recent Technology Breakthroughs in the Control of Iron Deficiency Anemia” Professor Dr. Michael Bruce Zimmermann Zurich Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland
10.30 - 11.00	Keynote Speech “Universities Facing Severe Challenges of Fewer Children Trend and International Competition” Professor Dr. Chih-Hsiang Liao Vice President of Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan
11.00 - 11.15	Refreshment Breaks at Phanurandsi Ballroom, 1st floor front area
11.00 - 12.15	Poster presentation session (Phanurangsai Ballroom, 1st floor front area)
11.15 - 12.15	Oral presentation session (meeting room 1st, 2nd and 3rd floor)
Phanurangsai Room A, 1 st floor	Computer Science and Information Technology (Group 1)
Phanurangsai Room C, 1 st floor	Computer Science and Information Technology (Group 2)
Bongkotrat Room A, 2 nd floor	Physics and Energy
Bongkotrat Room B, 2 nd floor	Sports and Health Science
Bongkotrat Room C, 2 nd floor	Chemistry and Forensic Science
Busabongkot Room A, 2 nd floor	Environmental Science & Technology

Busabongkot Room B, 2nd floor Biology, Biotechnology and Microbiology
 Krungthon Ballroom, 3rd floor Food Science & Technology and Home Economics

12.15 – 13.15 Lunch at Rim Nam Terrace, 1st floor

13.15 – 15.30 **Poster presentation session (Phanurangsi Ballroom, 1st floor front area) (cont.)**
 Presenting poster presentation certificates at the presentation area

13.15 – 14.45 **Oral presentation session (Meeting room 1st, 2nd and 3rd floor) (cont.)**

Phanurangsi Room A, 1st floor Computer Science and Information Technology (Group 1)

Phanurangsi Room C, 1st floor Computer Science and Information Technology (Group 2)

Bongkotrat Room A, 2nd floor Physics and Energy

Bongkotrat Room B, 2nd floor Sports and Health Science

Bongkotrat Room C, 2nd floor Chemistry and Forensic Science

Busabongkot Room A, 2nd floor Environmental Science & Technology

Busabongkot Room B, 2nd floor Biology, Biotechnology and Microbiology

Krungthon Ballroom, 3rd floor Food Science & Technology and Home Economics

14.45 – 15.00 **Refreshment Breaks at front area of each meeting room (1st, 2nd and 3rd floor)**

15.00 – 17.00 **Oral presentation session (Meeting room 1st, 2nd and 3rd floor) (cont.)**

Presenting oral presentation certificates at the presentation rooms

Oral Presentation

Conference Sessions: Computer Science and Information Technology (Group 1)

Phanurangsi Room A, 1st floor (ห้องภาณูรังษี เอ ชั้น 1)

		Chairperson			Co-Chairperson		
		Dr.Vinh Truong Hoang Vice-Dean, Faculty of Information Technology Ho Chi Minh City Open University ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสิทธิ์ ชูชัยวัฒนา คณบดีวิทยาลัยครีเอทีฟดีไซน์แอนด์ เอ็นเตอร์ เทนเมนต์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต			อาจารย์ ดร.กิตติคุณ มีทองจันทร์ หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา		
No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National	
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_CS_4 SSSCI2019_O_121	Way Sokhom	Mahidol University	Development of Innovative Media for Communication Sangha in Phra Nakhon, Bangkok, Thailand	International	
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_CS_8 SSSCI2019_O_56	กรรณิการ์ กมลรัตน์ Kannikar Kamolrat	Sakon Nakhon Rajabhat University	Application Development for Pon-Yang- Kham Fattened Cattle in Sakon Nakhon Province on Android Operating System	National	
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_CS_1 SSSCI2019_O_4	รุจีจันทร์ วิชิวานีเวศน์ Rujijan Vichivanives	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	การพัฒนาต้นแบบสมาร์ตฟาร์มการปลูกดอกมะลิ ด้วยอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง	National	
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_CS_6 SSSCI2019_O_44	จีระศักดิ์ นำประดิษฐ์ Jeerasak Numpradit	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	การบำบัดทางเลือกสำหรับโรคกลัวความสูงโดยใช้ ระบบความจริงเสมือน	National	
12.15-13.15		Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1st floor					
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_CS_9 SSSCI2019_O_71	ลูกหนู อู่ทอง Looknu Authong	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	การนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟติงค์มา ประยุกต์ใช้งาน	National	
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_CS_10 SSSCI2019_O_80	ชัชชนันท์ น้าวน Chatchanun Namwon	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม	การวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน อุตสาหกรรมชีวมวลอัดแห้งในจังหวัดพิษณุโลก	National	

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_CS_11 SSSCI2019_O_85	ศราวุธ พาจรทิต Sarawut Pajonetid	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่	โมบายแอปพลิเคชันสำหรับรู้จำสมุนไพรรบ ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้ไลบรารีของเทน เซอร์โฟร	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_CS_12 SSSCI2019_O_91	ประภาภรณ์ นพภาลัย Praphaporn Nopparai	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	การประยุกต์กระบวนการออกแบบประสบการณ์ ผู้ใช้ในการพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับผู้ประกอบการที่ไม่เชี่ยวชาญเทคโนโลยี	National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_CS_13 SSSCI2019_O_93	ธนาวุฒิ ฐูปูชา Thanawut Thoopucha	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม	การป้องกันและตรวจจับการรั่วไหลของน้ำภายใน บ้านผ่านระบบควบคุมการไหลของน้ำด้วยอุปกรณ์ เคลื่อนที่	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_CS_14 SSSCI2019_O_95	ศุภชัย พรหมประเสริฐ Supachai Promprasoet	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม	ระบบควบคุมการเปิดปิดคอมพิวเตอร์ทางไกลผ่าน อุปกรณ์เคลื่อนที่	National
14.45-15.00				Refreshment Break		
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_CS_15 SSSCI2019_O_99	อุบลศิลป์ โพธิ์พรม Ubonsilp Phoprom	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สกลนคร	การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนงานบริการ ด้วยมาตรฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_CS_16 SSSCI2019_O_83	พิสิษฐ์ แม้นวงศ์เดือนPisit Manwongdeon	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายชิ้นส่วน อะไหล่เครื่องจักรกลการเกษตร	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_CS_17 SSSCI2019_O_117	มนีรัตน์ ภารนนท์ Maneerat Paranan	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลตะวันออก วิทยาเขต จักรพงษ์ภูวนารถ	การพัฒนาเว็บปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเทียบโอน หน่วยกิตส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_CS_18 SSSCI2019_O_120	อุบลศิลป์ โพธิ์พรม Ubonsilp Phoprom	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สกลนคร	การพัฒนาระบบการบริการตอบคำถามอัตโนมัติ โดยเทคโนโลยี ไลน์ บอท (LINE BOT) ของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ สกลนคร	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_CS_38 SSSCI2019_O_235	ปานจิต มุสิก	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช	การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นใน โรงเรือนปลูกพืชจำลอง	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Computer Science and Information Technology (Group 2)

Phanurangsi Room C, 1st floor (ห้องภาณูรังษี ซี ชั้น 1)

Chairperson		Co-Chairperson				
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ ศรีสวการย์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง		อาจารย์ ดร.นพดล ผู้มีจรรยา สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม				
No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_CS_24 SSSCI2019_O_152	พฤกษนันท์ คำลาพิศ Pruksanan Kamlapit	มหาวิทยาลัยพะเยา	การวิเคราะห์และพยากรณ์ช่องทางการจำหน่าย สินค้าในธุรกิจอีคอมเมิร์ซ	National
2.	11.30-11.45	SSSCI2019_CS_25 SSSCI2019_O_156	รัชดาพร คณางษ์ Ratchadaporn Kanawong,	มหาวิทยาลัยศิลปากร	Ginrai-Bot for Ordering and Recommending Healthy Food Online Application	National
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_CS_26 SSSCI2019_O_158	สุทธิษา กันจู Suttisa Kunju	มหาวิทยาลัยพะเยา	การพัฒนาการส่งเสริมการขายเครื่องสำอางบน เฟซบุ๊ก กรณีศึกษาร้าน เอม แอนด์ แพร์	National
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_CS_28 SSSCI2019_O_162	Chaiyapan Charoensuk	มหาวิทยาลัย ราชภัฏพระนคร	แอปพลิเคชันช่วยแจ้งเตือน การรับประทานยา	National
12.15-13.15		Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1 st floor				
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_CS_29 SSSCI2019_O_163	สุมิตรา นวลมีศรี Sumitra Nuanmeesri	Suan Sunandha Rajabhat University	การพัฒนาเว็บไซต์และเว็บแอปพลิเคชันด้วยบุทส แตร์ป กรณีศึกษา นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยี สารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_CS_31 SSSCI2019_O_181	ทนาลักษณ์ ปราณีกุมาร Thanaluk Pranekunakol	Burapha University	การคัดกรองข้อมูลสำหรับระบบเซนเซอร์ไร้สาย ขนาดใหญ่โดย STackSTorm	National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_CS_32 SSSCI2019_O_202	กิตติพัฒน์ ปันพัก Kttipat Panfak	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	การออกแบบ FTP เพื่อใช้ในการรับส่งไฟล์ระหว่าง Client และ Server	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_CS_35 SSSCI2019_O_214	ปรีดาวรรณ เกษเมธีการุณ Preedawon Kadmateekarun	Suan Sunandha Rajabhat University	การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบจัดการรดน้ำ อัตโนมัติ	National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_CS_36 SSSCI2019_O_221	กาญจนา ชัดิทะจักร์ Kanchana Kanthachak	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่	การส่งเสริมการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการ เพาะเลี้ยงกุ้งโดยใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_CS_21 SSSCI2019_O_130	จักรภัฏ เจนโรสง Jakapat Janethaisong	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	การจัดการความปลอดภัยของดีเอ็นเอ	National
14.45-15.00 Refreshment Break						
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_CS_39 SSSCI2019_O_250	ประชุม พันรอด	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การพัฒนาระบบการจัดการห้องประชุมออนไลน์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราช ภัฏเพชรบุรี	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_CS_23 SSSCI2019_O_150	บพิตร ไชยนอก Bopit Chainok	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม	ระบบตรวจวัดสภาพอากาศที่มีผลต่อคุณภาพน้ำใน บ่อเลี้ยงกุ้งขาว	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_CS_20 SSSCI2019_O_123	วุฒิชัย นาคเพียทา Voottichai Nakpeata	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	การนำโครงข่ายเฉพาะกิจมาประยุกต์ใช้งาน	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_CS_19 SSSCI2019_O_122	พัทธนันท์ นาคยศ Pattanan Nakyos	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi	การนำโปรโตคอลมาใช้หาเส้นทางบนเครือข่ายไร้สาย	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_CS_5 SSSCI2019_P_42	ชัชชฎา โพธิ์ลักษณะ Chatchuda Potiluck	Mahidol University	ระบบสารสนเทศควบคุมการประมวลผลการศึกษา กรณีศึกษาวิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล	National
16.	16.15-16.30	SSSCI2019_CS_7 SSSCI2019_P_45	อุไรวรรณ รักภกวางค์ Uraiwn Ruxpakawong	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม	การสร้างแบบทดสอบคำสั่งสืบค้นข้อมูล และตรวจ คำตอบ โดยอัตโนมัติ	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Chemistry and Forensic Science

Bongkotrat Room C, 2nd floor (ห้องบงกชรัตน์ ซี ชั้น 2)

Chairperson	Co-Chairperson
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศิริ ทิพย์เนตร คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	อาจารย์ ดร.พลอยทราย โอฮามา สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_CH_7 SSSCI2019_O_160	Pornpan Tana	Maha Sarakham Rajabhat University	The preparation of hybrid material of cobalt complex into mesoporous silica from the rice husk	International
2.	11.30-11.45	SSSCI2019_CH_11 SSSCI2019_O_182	Pasakorn Sangnikul	Maha Sarakham Rajabhat University	DFT investigation of toluene adsorption on silicon carbide nanosheet doping with transition metal for sensing application	International
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_CH_19 SSSCI2019_O_604	Jitlada Chumee	Suan Sunandha Rajabhat University	The Effect of Viscosity-imparting Agent on Textural Properties of Toddy Palm Syrup	International
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_CH_3 SSSCI2019_O_76	ดุสิตพร ศรีลักข์ณม์ Dusitporn Srilak	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	อิทธิพลของสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนตำผสมลิกนิน	National
12.15-13.15		Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1 st floor				
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_CH_6 SSSCI2019_O_140	ชุตินา ศิลาณีเวช Chutima Silamaneewet	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ผลของการปรับสภาพขานอ้อยด้วยต่างที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำตาลและองค์ประกอบทางเคมี	National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_CH_21 SSSCI2019_O_246	วัชรารณณ์ ประภาสะโนบล Vacharaporn Prapasanol	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การศึกษาสารพิษเคมี ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของจาวตาล	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_CH_22 SSSCI2019_O_243	ปัทมาพร ยอดสันติ Pattamaporn Yodsanti	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การประเมินศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนของต้น ตาลในจังหวัดเพชรบุรี	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_CH_20 SSSCI2019_P_147	Wilasinee Sathitdetkunchorn	Rajabhat Nakhonratchasima University	การวิเคราะห์ตะกั่ว เหล็ก และแคดเมียม ในน้ำ บาดาล โดยเทคนิคอะตอมมิก แอบซอร์พ ชันสเปกโทรโฟโตเมทรี	National
9	14.15-14.30	SSSCI2019_CH_14 SSSCI2019_P_199	เอกชัย อั้งชะ Ekkachai Achcha	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์	การเคลือบลายนิ้วมือแฝงด้วยรีดิวซ์แกรฟีน ออกไซด์บนกระจกเอฟทีโอโดยใช้การเคลือบ ไฟฟ้า	National
14.45-15.00		Refreshment Break				

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Mathematics and Statistics
Bongkotrat Room C, 2nd floor (ห้องบงกชรัตน์ ซี ชั้น 2)

Chairperson		Co-Chairperson				
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยัตต์ แสงงาม ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร		อาจารย์ ดร.ชูเกียรติ ผุดพรมราช หัวหน้าสาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา				
No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
10.	14.30-14.45	SSSCI2019_MA_1 SSSCI2019_O_12	สิริพร หล้าปวงคำ Siriporn Lapouangkham	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	เงื่อนไขบางประการของฟังก์ชันการบวก	National
14.45-15.00		Refreshment Break				
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_MA_2 SSSCI2019_O_17	เจษฎา สุจริตธุระการ Jedsada Sutjaritthurakan	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต	ผลของการรณรงค์การสวมหน้ากากอนามัยที่มีผล ต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์การแพร่ระบาดของโรค หัด	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_MA_3 SSSCI2019_O_77	ปณิธิ วิจิตรไกรวิน Paniti Vichitkraivin	มหาวิทยาลัยมหิดล	The Resistance Factors Affecting the Adoption of Healthcare Robots Technology in Thailand Government Hospital	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_MA_5 SSSCI2019_O_86	สิทธิกร นาคขาว Siththikorn Nakkao	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	เอกลักษณ์เชิงฟังก์ชันของอนุพันธ์	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_MA_6 SSSCI2019_O_107	เยาวลักษณ์ ศรีเมือง Yaowaluk Srimuang	Faculty of Science, Ramkhamhang University	General Solution of the n -D Pompeiu Functional Equation	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_MA_7 SSSCI2019_O_153	ธัญญาลักษณ์ เทพสุวรรณ Tunyaluk Thepsuwan	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กิจกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับอัตราส่วนทองบน ร่างกายมนุษย์	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
16.	16.15-16.30	SSSCI2019_MA_8 SSSCI2019_O_171	ศศิวิมล คณทา Sasiwimon Raokhetkit Khontha	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการ ลดขั้นตอนของการเคลือบแข็งในกระบวนการผลิต เลนส์	National
17.	16.30-16.45	SSSCI2019_MA_9 SSSCI2019_O_173	Rukchart Prasertpong รักชาติ ประเสริฐพงษ์	Nakhon Sawan Rajabhat University	ไอทีลภายในรัฟและควอซี-ไอทีลรัฟในปริภูมิการ ประมาณของกึ่งกลุ่มภายใต้ความสัมพันธ์พรีออ เคอร์และคอมแพทิเบิล	National
18.	16.45-17.00	SSSCI2019_MA_10 SSSCI2019_O_176	ธัญวรัตน์ ชัชรัตน์ Thanwarat Chatcharata	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์	ไป-ไอทีลรัฟและไป-ไอทีลเฉพาะรัฟในปริภูมิการ ประมาณของกึ่งกลุ่มภายใต้ความสัมพันธ์พรีออ เคอร์และคอมแพทิเบิล	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Physics and Energy
Bongkotrat Room A, 2nd floor (ห้องบงกชรัตน์ เอ ชั้น 2)

Chairperson	Co-Chairperson
รองศาสตราจารย์ ดร.ปานจิต มุสิก คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_PH_25 SSSCI2019_O_164	Nattapon Chantarapanich	Kasetsart Univeristy	Design and Analysis of Plastic Medical Tray for Implant Packaging	International
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_PH_27 SSSCI2019_O_192	Natthaphong Kamma	Khon Kaen University	A Polymeric Coating on Prelithiated Silicon-Based Nanoparticles for High Capacity Anodes used in Li-ion Batteries	International
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_PH_1 SSSCI2019_O_6	Pinyapach Tiamduangtawan	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	การพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่สามารถซ่อมแซมตัวเองจากวัสดุเชิงประกอบ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และซาแมเรียมออกไซด์ (Sm ₂ O ₃)	National
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_PH_2 SSSCI2019_O_7	กุลลิตา โกละนันท์ Kullita Kolanan	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	การตรวจวิเคราะห์โลหะอะมัลกัมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	National
12.15-13.15				Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1 st floor		
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_PH_4 SSSCI2019_O_16	Wichan Lertlop	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	การกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา 2562	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_PH_7 SSSCI2019_O_37	อัศวิน ยอดรักษ์ Assawin Yodruk	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ	การพัฒนาเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนดัด Development of A Rotary-Bending Fatigue Tester	National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_PH_9 SSSCI2019_O_46	อภิฤดี ตัณฑเวชกิจ Apirudee Tentawechakit	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา: โรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_PH_10 SSSCI2019_O_47	พิศาล ปานสุข Pisan Pansook	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของ การผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบ แนวตั้ง โดยใช้ ลมทั้งจากระบบกำจัดฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาว ซีเมนต์	National
9.	14.15-14.30	sssci2019_PH_23 sssci2019_O_157	รัชนิกร ปันล่า atchaneekorn Punla	Maejo University	การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์โดยใช้ คอปเปอร์ออกไซด์เป็นวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_PH_29 SSSCI2019_O_136	Pich Khoem รวีภัทร ลากเจริญสุข Ravipat Lapcharoensuk	สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการตรวจสอบ คุณภาพน้ำเค็ม	National
14.45-15.00				Refreshment Break		
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_PH_30 SSSCI2019_O_155	มครินทร์ กาญจนสุด Makkaryn Kanchanasoot	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	การออกแบบและประยุกต์ใช้เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ จากพืช เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_PH_31 SSSCI2019_O_224	อรอนงค์ เสนาะจิต Ornanong Sanorchit	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เทพสตรี	การหาสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาของ แผ่นเส้นใยชานอ้อยกับ BaSO ₄ โดยมีน้ำยารักษา เป็นตัวประสาน	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_PH_32 SSSCI2019_O_237	Petcharat Jaiboon	Sakon Nakhon Rajabhat University	Effect of drying temperature on quality of RD6 variety brown parboiled glutinous rice	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_PH_33 SSSCI2019_O_249	ชนษัญญา วิชาศิลป์	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่	การเปรียบเทียบศักยภาพเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้น้ำ หมักชีวภาพจากผลไม้	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_PH_5 SSSCI2019_O_21	บัณฑิต จิตต์สุภาพ Bantom Chitsupap	มหาวิทยาลัยบูรพา	การควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบท่อนำสารทำ ความเย็นร่วมเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Biology, Biotechnology and Microbiology

Busabongkot Room B, 2nd floor (ห้องบุษบงกช บี ชั้น 2)

		Chairperson					Co-Chairperson
		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวย อุ๋นใจ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล					อาจารย์ ดร.มณฑารพ สุธาธรรม หัวหน้าสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National	
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_BT_1 SSSCI2019_O_19	ฤทัยรัตน์ สิริวัฒนรัชต์ Ruthairat Siriwattanarat	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ปลาน้ำจืดใน คลองแสนแสบพื้นที่กรุงเทพมหานคร	National	
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_BT_2 SSSCI2019_O_28	Pornsiri Bumrungham พรศิริ บำรุงธรรม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	การโคลน การแสดงออก และการศึกษาลักษณะ ของรีคอมบิแนนท์แมนนาเนส	National	
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_BT_9 SSSCI2019_O_89	รพีพรรณ กองตุม Rapeepan Kongtoom	มหาวิทยาลัยราชภัฏ หมู่บ้านจอมบึง	การศึกษาสมบัติบางประการของพันธุ์พริก พื้นเมือง(พริกกะเหรียง) ที่ปลูกในพื้นที่ภาค ตะวันตกของประเทศไทย	National	
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_BT_11 SSSCI2019_O_103	Krit Phinetsathian ฤกษ์ณ พิเนตรเสถียร	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สกลนคร	ความหลากหลายทางชีวภาพของพืชให้สีย้อม จังหวัดสกลนคร	National	
12.15-13.15		Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1 st floor					
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_BT_12 SSSCI2019_O_108	Araya Pranprawit อารยา ปรานประวีตร	Suratthani Rajabhat University	ความสามารถในการต้านโรคเบาหวานผ่านการ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จากผักพื้นบ้าน ท้องถิ่นในเขตพื้นที่ หมู่ 9 ตำบลขุนทะเล อำเภอ เมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี	National	
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_BT_20 SSSCI2019_O_141	Asro Hajiabdullah อัซรอ หะยีอับดุลเลาะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	การผลิตกรดซัคซินิกจากกากน้ำตาลด้วยเชื้อ Actinobacillus succinogenes	National	

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_BT_21 SSSCI2019_O_144	รัชนีกร สวามิ Ruchnekorn Swami	มหาวิทยาลัยบูรพา	การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไฟโคไซยานินจากสาหร่าย <i>Arthrospira platensis</i> และสาหร่าย <i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_BT_28 SSSCI2019_O_220	กัลทิมา พิชัย Kaltima Pichai	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	การเก็บรักษาเชื้อยีสต์จากน้ำหมักเปลือกสับปะรด โดยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_BT_29 SSSCI2019_O_222	กัญญ์วรา วงศ์แพทย์ Kanwara Wongpaet	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	พฤติกรรมของนกเป็ดแดง (<i>Dendrocygna javanica</i>) บริเวณอ่างเก็บน้ำ ภายในมหาวิทยาลัย	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_BT_31 SSSCI2019_O_225	Peangjai Jianwitthayakul เพียงใจ เจียรวิชญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี	ความหลากหลายทางชีวภาพของไส้เดือนดินในจังหวัดลพบุรีที่มีศักยภาพในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา	National
14.45-15.00				Refreshment Break		
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_BT_33 SSSCI2019_O_229	รุ่งนภา ทากัน Rungnapa Tagun	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	ผลกระทบของมลพิษในระบบนิเวศนาข้าวต่อสิ่งมีชีวิตในอำเภอมะแตง จังหวัดเชียงใหม่	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_EN_15 SSSCI2019_O_106	กิตติมา เกตุสอาด Kittima Ketsa-ad	มหาวิทยาลัยมหิดล	การคัดแยกแบคทีเรียต้านทานแคดเมียมที่สร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_BT_38 SSSCI2019_O_245	ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ Kraierk Taweechue	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การศึกษาเพื่อทราบลำดับนิวคลีโอไทด์และความผันแปรของยีนมัยโอสแตตินในแพะ (<i>Capra hircus</i>) ที่เลี้ยงในจังหวัดเพชรบุรี	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_BT_39 SSSCI2019_O_247	พรอริยา ฉิรินัง Pornariya Chirinang	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	คุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกของ <i>Lactobacillus plantarum</i> 3C2-10 ที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากเปลือกส้ม	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_BT_32 SSSCI2019_P_228	วัชรี หาญเมืองใจ Watcharee Hanmoungjai	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	ผลการเจริญของเส้นใยเห็ดจิ้งจกบนอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรดัดแปลงชนิดต่าง ๆ	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Environmental Science & Technology

Busabongkot Room A, 2nd floor (ห้องบุษบงกช เอ ชั้น 2)

Chairperson	Co-Chairperson
-------------	----------------

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ นุ่มมีศรี
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนาวลัย อุฑารสกุล
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_EN_1 SSSCI2019_O_22	พรทิพย์ วิมลทรง Pornthip Wimonsong	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สุราษฎร์ธานี	การวิเคราะห์แผนเผชิญเหตุทุกภัยระดับจังหวัด ของประเทศไทย	National
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_EN_2 SSSCI2019_O_34	ชำนาญพงษ์ เฉลิมเผ่า Chamnanpong Chalernpow	มหาวิทยาลัยมหิดล	การผลิตก๊าซไฮเทนชีวภาพจากของเสียทาง การเกษตรและอุตสาหกรรม	National
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_EN_3 SSSCI2019_O_43	ภัทรลภา ฐานวิเศษ Phatlapha Thanwiset	Sakon Nakhon Rajabhat University	แนวทางการจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัย ราชภัฏสกลนคร	National
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_EN_4 SSSCI2019_O_48	สุวิมล คุปติวุฒิ Suwimon Kooptiwoot	Suan Sunandha Rajabhat University	Mining waste separation behavior related factor	National
12.15-13.15				Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1st floor		
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_EN_5 SSSCI2019_O_50	ทศพร นิละไพจิตร Todsaporn Neelapaijit	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมของ ตลาดชุมชน	National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_EN_6 SSSCI2019_O_53	สุวิมล คุปติวุฒิ Suwimon Kooptiwoot	Suan Sunandha Rajabhat University	Development of a garbage bin selection expert system for waste separation	National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_EN_13 SSSCI2019_O_105	วิเวียน จุลมนต์ Vivian Chullamon	Thammasat University	การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ด้วย GIS เพื่อเลือกที่ตั้งโรงงานแปรรูปมูลฝอยเป็น พลังงานในจังหวัดปทุมธานี	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_EN_18 SSSCI2019_O_116	Aphiranan Phongjetpuk	Mahidol University	การประเมินปริมาณการใช้น้ำ และผลกระทบต่อ ด้านความขาดแคลนน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_EN_22 SSSCI2019_O_145	ไพบุลย์ แจ่มพงษ์ Paiboon Jeamponk	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	ผลกระทบจากปัญหาภาวะหมอกควันต่อปัญหา สุขภาพอนามัยของประชาชนที่มาเข้ารับบริการ ที่โรงพยาบาลเชียงใหม่ เชียงราย	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_EN_23 SSSCI2019_O_148	วลัยพร ฟ่อนพันธ์ Walaiporn Phonphan	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดสมุทรสงครามด้วยเทคโนโลยีการสำรวจ ระยะไกล	National
14.45-15.00 Refreshment Break						
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_EN_26 SSSCI2019_O_166	นิช วงศ์สงจำ Nich Wongsongja	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	การศึกษาการมีส่วนร่วมของชุมชนด้านสังคม และสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี Promotion of Community Participation for Saline Soil Remediation by	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_EN_29 SSSCI2019_O_184	วรารณ โกศลวิตร Waraporn Kosanlavit	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา	Alternative Technology of Bio-Organic Fertilizers and Nano Material at Krabueang Yai, Phimai District, Nakhon Ratchasima Province	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_EN_30 SSSCI2019_O_186	นฤพร เวชกุลชัย Naruporn Wetchayagulchai	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับ การแปรขยะมูลฝอยเป็นพลังงาน กรณีศึกษา จังหวัดปทุมธานี	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_EN_33 SSSCI2019_O_203	นิตินาถ เจริญโกคราช Nitinarth Charoenpokarj	Suan Sunandha Rajabhat University	ความหลากหลายชนิด ความชุกชุมและความคล้ายคลึง ของนก ในถิ่นที่อยู่อาศัยของนก บริเวณชายฝั่ง ทะเล เพื่อการอนุรักษ์และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_EN_35 SSSCI2019_O_243	ปัทมาพร ยอดสันติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การประเมินศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนของต้น ตาลในจังหวัดเพชรบุรี	National
16.	16.15-16.30	SSSCI2019_EN_17 SSSCI2019_O_115	วนิดา ชูอักษร Wanida Chooaksorn	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต	การศึกษาคุณภาพน้ำจากต้นน้ำดื่มหยอดเหรียญ บริเวณรอบ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ รังสิต	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Food Science & Technology and Home Economics

Krungthon Ballroom, 3rd floor (ห้องกรุงธนบอลรูม ชั้น 3)

Chairperson		Co-Chairperson	
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชคณิติน จงจิตวิมล คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม		อาจารย์ ดร.ธนิดา ฉั่วเจริญ หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_FT_19 SSSCI2019_O_114	Supatchalee Sirichokworakit	Suan Sunandha Rajabhat University	The effect of extraction methods on phenolic, anthocyanin, and antioxidant activities of Riceberry bran	International
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_FT_1 SSSCI2019_O_8	ฐานวีร์ ลอยแก้ว Thanawee Loikaeo	มหาวิทยาลัยรังสิต	ศึกษาศมบัติทางกายภาพ เคมี และ โภชนาการของแป้งแค้นตะวัน เพื่อนำมาแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ	National
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_FT_3 SSSCI2019_O_29	กัญญาพัชร เพชรภรณ์ Kanyapat Petcharaporn	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	นวัตกรรมการผลิตกระเทียมเจียวไร้มันพร้อมรับประทาน ด้วยเทคโนโลยีการทอดด้วยหม้อไร้มัน (Air Fryer)	National
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_FT_5 SSSCI2019_O_38	จุฑามาศ มุลวงศ์ Jutamas Moolwong	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	การศึกษสภาวะที่เหมาะสมการผลิตน้ำพริกลงเรือดำรับวังสวนสุนันทา กิ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง	National
12.15-13.15 Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1st floor						
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_FT_18 SSSCI2019_O_104	ชูลิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ Choosit Hongkulsap	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา	ผลของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อความคงตัวของสารสกัดจาก ดอกกระเจียว	National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_FT_20 SSSCI2019_O_146	ณัฐพล ประเทิงจิตต์ Nattapol Prathengjit	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา	การพัฒนาคุกกี้โดยการใช้แป้งมันเทศสีม่วงและแป้งข้าวทนต์แทนแป้งสาลี	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_FT_21 SSSCI2019_O_172	วรกร วิวัชรากรกุล Worakorn Wiwacharakornkul	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ลายพิมพ์เอชพีทีแอลซี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของ ดอกไม้ 5 ชนิดในพิกัดเกษตร	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_FT_22 SSSCI2019_O_174	ธีรยุทธ์ พูนจันทร์นา Teerayut Poonjunna	มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครศรีธรรมราช	การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนยประ Development of Pra Butter Products	National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_FT_18 SSSCI2019_O_104	วารภรณ์ สงศรีอินท Waraporn Songsriin	มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครศรีธรรมราช	การใช้ผงลูกประทดแทนผงอัลมอนดีในมาการอง	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_FT_14 SSSCI2019_O_88	ครองศักดิ์ ภัคธนกนก Kongsakda Phakthanakanok	มหาวิทยาลัย ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง	ผลของการอบแห้งต่อลักษณะบางประการของ เอนไซม์โปรตีเอสจากเหง้าสับปะรด	National
14.45-15.00				Refreshment Break		
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_FT_26 SSSCI2019_O_191	วันดี แก้วสุวรรณ Wandee Kaewsuwan	Nakhon Sri Thammarat Rajabhat Univerisity	กรรมวิธีการผสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของ กลัวยอบชุบแป้งทอด	National
12.	15.15-15.30	SSSCI2019_FT_27 SSSCI2019_O_207	อรุณชัย ตั้งเจริญบำรุงสุข Arunchai Tangcharoenbumrungsuk	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์	การศึกษาเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้ อินพราเรตสเปกโทรสโกปีและคีโมเมตริกส์เป็น สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ในการระบุแหล่งต้นทาง ของข้าวหอมมะลิ	National
13.	15.30-15.45	SSSCI2019_FT_30 SSSCI2019_O_242	สุนธรา สุนธร์ธารา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การใช้มอลทิทอลทดแทนน้ำตาลทรายในขนมตาล	National
14.	15.45-16.00	SSSCI2019_FT_32 SSSCI2019_O_248	ธนิดา ชาญชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	อาหารท้องถิ่นเมืองเพชร	National
15.	16.00-16.15	SSSCI2019_FT_12 SSSCI2019_P_73	นันทยาภรณ์ เมืองแดง Nanyaporn Mueangdang	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม	การทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยผงลูกจันใน ลอดช่องสิงคโปร์	National
16.	16.15-16.30	SSSCI2019_FT_31 SSSCI2019_O_244	สุนธรา สุนธร์ธารา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	การพัฒนาวาฟเฟิลเพื่อสุขภาพจากข้าวโพดออก	National
17.	16.30-16.45	SSSCI2019_FT_28 SSSCI2019_P_227	ขนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์ Khanittha Inprasit	กรมวิทยาศาสตร์บริการ	การศึกษาสมบัติสารยึดเกาะผสมระหว่างปลาย ข้าวบดกับไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงเนื้อ สัมผัสของขนมปลายข้าวแผ่นอบกรอบ	National

SsSci^{2nd} conference 2019

Conference Sessions: Sports and Health Science
Bongkotrat Room B, 2nd floor (ห้องบงกชรัตน์ ปี ชั้น 2)

Chairperson	Co-Chairperson
<p>ดร.ภคกุล สังข์สุริยะ นักวิจัยห้องปฏิบัติการอนุพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพสัตว์น้ำ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)</p>	<p>อาจารย์ ดร.คมกฤษ รัตตะมณี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา</p>

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
1.	11.15-11.30	SSSCI2019_SP_15 SSSCI2019_P_128	Churairat Srimanee	Mahidol University	Biomonitoring of metals exposure in Aranyik handicraft workers	International
2.	11.30.-11.45	SSSCI2019_SP_1 SSSCI2019_O_11	Jatuporn Ounprasertsuk	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา	บุคลิกภาพ 5 มิติ และการจัดการความขัดแย้ง ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งใน ประเทศไทย	National
3.	11.45-12.00	SSSCI2019_SP_2 SSSCI2019_O_15	Luckwirun Chotisiri	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา	The Development of Line Application for Home Visit among NCD Patients	National
4.	12.00-12.15	SSSCI2019_SP_5 SSSCI2019_O_23	Wachiaporn Chotipanut	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา	ผลของโปรแกรมความสุขต่อพฤติกรรม ส่งเสริมสุขภาพจิตผู้สูงอายุในตำบลบางนางลี่ อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม	National
12.15-13.15 Buffet Lunch, Rim Nam Terrace, 1 st floor						
5.	13.15-13.30	SSSCI2019_SP_9 SSSCI2019_O_33	ภูวสิทธิ์ ภูลวรรณ Mr.Phoowasit Phoolawan	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสกลนคร	พฤติกรรมป้องกันโรคเบาหวานของ ประชาชนกลุ่มเสี่ยงในตำบลจันทอน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร	National

No.	Time	Paper Code/ Registration Code	Name	Institute	Topic	International/ National
6.	13.30-13.45	SSSCI2019_SP_29 SSSCI2019_O_219	ดาวินี ชินวงค์ Dawinee Chinnawong	มหาวิทยาลัย ราชภัฏสุรินทร์	การศึกษาผลของตำรับยาพอกเข้าในผู้ป่วยข้อ เข้าเสื่อม ณ โรงพยาบาลสังขะและโรงพยาบาล ส่งเสริมสุขภาพตำบลม อำเภอสังขะ จังหวัด สุรินทร์	National
7.	13.45-14.00	SSSCI2019_SP_30 SSSCI2019_O_233	เอกสิทธิ์ ไชยปิ่น	มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครราชสีมา	การพัฒนารูปแบบกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพโดย กระบวนการมีส่วนร่วมของผู้สูงอายุ เทศบาล ตำบลหนองบัว อำเภอไชยปราการ จังหวัด เชียงใหม่	National
8.	14.00-14.15	SSSCI2019_SP_31 SSSCI2019_O_232	Preetiwat Wonnabussapawich	มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครราชสีมา	ผลของโปรแกรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อที่ ส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาระดับ มัธยมศึกษาจังหวัดนครราชสีมา	National
9.	14.15-14.30	SSSCI2019_SP_32 SSSCI2019_O_238	จิตติมา ลำยอง	วิทยาลัยการสาธารณสุข สิรินธร	ประสิทธิผลของรูปแบบการจัดการเรียนการ สอนโดยใช้ปัญหาเป็นหลักเรื่องการดูแลรักษา ผู้ป่วยระบบหัวใจและหลอดเลือดต่อผลสัมฤทธิ์ การเรียนรู้ ทักษะการแก้ปัญหา การทำงานเป็น ทีม และความคิดเห็นของนักศึกษา หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาปฏิบัติการ ฉุกเฉินการแพทย์ วิทยาลัยการสาธารณสุข สิรินธร จังหวัดตรัง	National
10	14.30-14.45	SSSCI2019_SP_33 SSSCI2019_O_241	อัสมาต์ ใจเที่ยง	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช	คุณภาพชีวิตและภาวะโภชนาการของเกษตรกร ชาวสวนยางพาราที่ตำบลนาเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช	National
14.45-15.00				Refreshment Break		
11.	15.00-15.15	SSSCI2019_SP_8 SSSCI2019_O_32	ทิพย์วารินทร์ เบ็ญจนิรัตน์ Tipvarin Benjanirut	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	ความต้องการและการเข้าถึงบริการด้านสุขภาพ ของผู้สูงอายุในชนบทจังหวัดสมุทรสงคราม	National

Poster Presentation

SsSci 2nd conference
2019

Phanurangsi Ballroom, 1st floor front area: หน้าห้องประชุมภาณุรังษี ชั้น 1

Conference Schedule: กำหนดการนำเสนอผลงาน

- 11.00-16.00 Poster presentation for participation
- 13.00-15.00 Poster presentation for evaluation committee (นำเสนอผลงานและการตรวจให้คะแนนโดยกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ)
- 15.00-16.00 Poster presentation awards ceremony (พิธีมอบรางวัลนำเสนอผลงานวิชาการประเภทโปสเตอร์)

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
1.	SSSCI2019_CS_22 SSSCI2019_P_142	การจำแนกนักศึกษาตามคุณลักษณะและคณะที่เรียน โดยใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ กรณีศึกษานักศึกษามหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	Computer Science and Information Technology	สิริธร เจริญรัตน์ Sirithorn Jalearnrat	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
2.	SSSCI2019_CS_27 SSSCI2019_P_159	โมเดลการทำนายพฤติกรรมความเสี่ยงการเกิดภาวะความเครียดทางการเมือง	Computer Science and Information Technology	สมจินต์ จันทระเจษฎากร Somjin Junatarajessadkorn	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
3.	SSSCI2019_CS_30 SSSCI2019_P_165	การประยุกต์วิธีการเอจิลส์สำหรับกิจกรรมในการเรียนการสอน	Computer Science and Information Technology	สกาวัฒน์ จงพัฒนานกร Sakauwrat Jongpattanakorn	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	SSSCI2019_CS_33 SSSCI2019_P_211	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายสีหมึกพิมพ์ยูวีเฟล็กโซกราฟีบนฉลากพอลิโพรพิลีนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและซอฟต์แวร์การทำนายสี	Computer Science and Information Technology	ณัฐวิทย์ โสหา Natthawut Soha	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5.	SSSCI2019_MA_4 SSSCI2019_P_78	ทัศนคติและพฤติกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีต่อการใช้บริการรถตู้โดยสารเส้นทางกรุงเทพฯ (รังสิต) – บางแสน	Mathematics and Statistics	ปรียารัตน์ นาคสุวรรณ Preyarat Naksuwan	มหาวิทยาลัยบูรพา

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
6.	SSSCI2019_MA_11 SSSCI2019_P_189	Stratified Unified Ranked Set Sampling for Asymmetric Distributions	Mathematics and Statistics	Chainarong Pianpailoon	Sakon Nakhon Rajabhat University
7.	SSSCI2019_MA_12 SSSCI2019_P_193	ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับจากคอปและลำดับพี โบนซ์ซีตต์แปลง	Mathematics and Statistics	ณัฐฉิณีย์ คงนวล Nattinee Khongnual	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช
8.	SSSCI2019_MA_13 SSSCI2019_P_205	ผลกระทบของปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อตัวแบบ สำหรับโรคมือ เท้า ปาก	Mathematics and Statistics	กิตติภัทร พลเดช Kittipat Pondach	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช
9.	SSSCI2019_PH_8 SSSCI2019_P_40	การเตรียมไม้เทียมจากพลาสติก และเส้นใย มะพร้าว	Physics and Energy	สิงหนเดช แต่งจวง Singhadej Tangjuank	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
10.	SSSCI2019_PH_11 SSSCI2019_P_64	Energy Absorption and Exposure Buildup Factors for Coconut fiber gypsum board	Physics and Energy	Kittisak Sriwongsa	มหาวิทยาลัยศิลปากร
11.	SSSCI2019_PH_12 SSSCI2019_P_65	Evaluation of radiation shielding properties for samarium bismuth borate glasses	Physics and Energy	Kittisak Sriwongsa	มหาวิทยาลัยศิลปากร
12.	SSSCI2019_PH_13 SSSCI2019_P_66	Evaluated shielding radiation and exposure build up factor for La ₂ O ₃ based glasses	Physics and Energy	Kittisak Sriwongsa	มหาวิทยาลัยศิลปากร
13.	SSSCI2019_PH_14 SSSCI2019_P_94	Energy Conservation of Split Type Air Conditioner in Mechanical Engineering Department Building of RMUTL Tak	Physics and Energy	Yuttana Sriudom	Rajamangala University of Technology Lanna Tak
14.	SSSCI2019_PH_15 SSSCI2019_P_110	การประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของ ชั้นดินเพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาล และการแก้ภัย แล้ง	Physics and Energy	ธนาวัฒน์ รังสูงเนิน Thanawat RangSungnoen	NakhonRatchasima Rajabhat University
15.	SSSCI2019_PH_16 SSSCI2019_P_111	Development of quantum mechanics learning by integrated teaching using normal scattering effects on charge transport in a metal/superconductor junction	Physics and Energy	ภาณุพัฒน์ ชัยวร Panupat Chaiworn	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
16.	SSSCI2019_PH_19 SSSCI2019_P_131	ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยชีวมวลและเครื่องอัด แห้งเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร	Physics and Energy	พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร Pongsuk Jittabut	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
17.	SSSCI2019_PH_20 SSSCI2019_P_143	อิทธิพลของการปรับสภาพทางความร้อนต่อ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของผิวพ่นเคลือบ ความร้อนของโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โม ลิบดีนัม-อะลูมิเนียม	Physics and Energy	อรัชพร ศรีจันทร์ Aradchaporn Srichen	Chiang Mai University
18.	SSSCI2019_PH_21 SSSCI2019_P_151	การเผาถ่าน วิธีดั้งเดิมของชุมชนในบริเวณอ่างเก็บ น้ำห้วยเสนง	Physics and Energy	ลำพูน เหลาราช Lumpoon Laorach	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สุรินทร์
19.	SSSCI2019_PH_22 SSSCI2019_P_154	การเตรียม เฟสโครงสร้างและสมบัติทางไดอิเล็ก ตริกของวัสดุเซรามิก Na _{1/3} Ca _{1/3} Yb _{1/3} Cu ₃ Ti ₄ O ₁₂	Physics and Energy	จุฑาทพล จำปาแถม Jutapol Jumpatam	มหาวิทยาลัยราชภัฏ สุรินทร์
20.	SSSCI2019_PH_24 SSSCI2019_P_161	โครงสร้างโพลีไดโนสคริสตัลของด้วงขาโต Carvedon serratus Olivier เพศผู้	Physics and Energy	ฐิติพร เจาะจง Thitiporn Jorjong	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม
21.	SSSCI2019_PH_26 SSSCI2019_P_167	Conductive Composite Paper from Cellulose Fiber by in situ polymerization of pyrrole	Physics and Energy	Siripassorn Sukkhawuttigit	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ รังสิต
22.	SSSCI2019_PH_28 SSSCI2019_P_195	การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัม มันต์จากกล้วยน้ำว้า โดยวิธีการกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมคาร์บอเนต	Physics and Energy	ภาคิน อินทร์ชิตจ้อย พรทิพย์ ภูมิying	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์
23.	SSSCI2019_CH_1 SSSCI2019_P_54	การใช้ตัวดูดซับแบบผสมสำหรับการเก็บตัวอย่าง สารก่อเพลิงชนิดเหลวตกค้าง	Chemistry and Forensic science	นิสาลักษณ์ ทาเครือ Nisalak Thakheru	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
24.	SSSCI2019_CH_2 SSSCI2019_P_75	การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกผสมจุลสับปะรด ด้วยการกระตุ้น โดยใช้โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์	Chemistry and Forensic science	พูนฉวี สมบัติศิริ Punchavee Sombatsiri	มหาวิทยาลัยราชภัฏ ลำปาง
25.	SSSCI2019_CH_4 SSSCI2019_P_109	Synthesis and Evaluation of Molecularly Imprinted Polymer as a Selective Material for Vanillin	Chemistry and Forensic science	วีรณัฐ คฤหานนท์ Wiranut Karuehanon	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
26.	SSSCI2019_CH_5 SSSCI2019_P_129	การปรับปรุงคุณภาพของผ้าไหมด้วยสนิมเหล็ก	Chemistry and Forensic science	วีรญา สิงคินภา Weeraya singkanipa	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
27.	SSSCI2019_CH_8 SSSCI2019_P_168	Participation of Evidence Collection in Forensic Science by the Foundation Officer	Chemistry and Forensic science	Somchart Ketpan	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
28.	SSSCI2019_CH_9 SSSCI2019_P_170	Effects of PEG-based triazolyl substituents on copper-catalyzed aerobic alcohol oxidation	Chemistry and Forensic science	ชมทิตา บ่อทรัพย์ Chomtisa Borsap	มหาวิทยาลัยมหิดล
29.	SSSCI2019_CH_10 SSSCI2019_P_178	Formulation of Calcium Tablets by Direct Compression Tableting	Chemistry and Forensic science	Auttapol Hogjalern	Chulalongkorn University
30.	SSSCI2019_CH_13 SSSCI2019_P_198	Rapid Analysis of Alpha-Mangostin Content in Mangosteen Pericarps by Near-Infrared Spectroscopy	Chemistry and Forensic science	ศุมาพร เกษมสำราญ Sumaporn Kasemsumran	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
31.	SSSCI2019_CH_15 SSSCI2019_P_208	การศึกษาองค์ประกอบเคมี และประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรพื้นบ้านต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ข้าว	Chemistry and Forensic science	วัชรภรณ์ ทาหาร Watcharaporn Thahan	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
32.	SSSCI2019_CH_16 SSSCI2019_P_209	การเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมได้จากน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคสองขั้นตอน	Chemistry and Forensic science	ภัทรฤทัย ปิญชานไรวินท์ Pattararuethai Piyachanraiwin	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
33.	SSSCI2019_CH_17 SSSCI2019_P_210	Selection of alternative commercial amine solutions for acid gases removal	Chemistry and Forensic science	Aomkwan Lueadkrungsri	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
34.	SSSCI2019_CH_18 SSSCI2019_P_216	การตรวจวัดปริมาณโปรตีนบนผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิคพื้นผิวขยายสัญญาณรามาน	Chemistry and Forensic science	Apichat Phengdaam	Prince of Songkla University
35.	SSSCI2019_BT_3 SSSCI2019_P_63	ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบของฝอยทองต่อการควบคุมไรโซปลาในเห็ดหูหนู	Biology, Biotechnology and Microbiology	Suphak Kondara สุภัค คนดารา	Pibulsongkram Rajabhat University
36.	SSSCI2019_BT_4 SSSCI2019_P_67	การศึกษาเชื้อราที่ก่อโรคเน่าในมันสำปะหลังในเขตอำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก	Biology, Biotechnology and Microbiology	อารีญา ประเสริฐกรรณ์ Arriya Prasertgun	Pibulsongkram Rajabhat University

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
37.	SSSCI2019_BT_6 SSSCI2019_P_79	การเปรียบเทียบวัสดุฝังชนิดต่าง ๆ เพื่อทำพรอน ไม้แห้งแบบสามมิติ ที่เก็บรักษาด้วยพอลิเอสเตอร์ เรซิน	Biology, Biotechnology and Microbiology	พรอนันต์ บุญก่อน Pornanan Boongorn	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
38.	SSSCI2019_BT_7 SSSCI2019_P_82	ผลของการต้มและการนึ่งต่อศักยภาพในการต้าน อนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ ผักโขม	Biology, Biotechnology and Microbiology	ชนิกานุจน์ จันทร์มาทอง Chanikan Junmatong	มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม
39.	SSSCI2019_BT_10 SSSCI2019_P_101	ผลของสารสกัดจากใบและผลตีปัสติการยับยั้ง เชื้อ <i>Penicillium digitatum</i> และ <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> สาเหตุโรคร พืช	Biology, Biotechnology and Microbiology	อังคณา เชื้อเจ็ดตน Angkana Chuajedton	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
40.	SSSCI2019_BT_13 SSSCI2019_P_124	Using ultrafiltration technique for concentrate influenza virus from the supernatant.	Biology, Biotechnology and Microbiology	ทรศนีย์ บุญยทรศนีย์ Darsaniya Punyadarsaniya	Mahanakorn University of technilogy
41.	SSSCI2019_BT_14 SSSCI2019_P_125	Screening and identification of the phytase producing bacteria isolated from natural environments and swine manure	Biology, Biotechnology and Microbiology	สงกรานต์ เชื้อครุฑ Songkran Chuakrut	Naresuan University
42.	SSSCI2019_BT_18 SSSCI2019_P_133	ผลของสารสกัดมะขามเทศต่อการยับยั้งแบคทีเรีย ก่อโรค	Biology, Biotechnology and Microbiology	หฤทัย ไทยสุชาติ Haruthai Thaisuchat	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
43.	SSSCI2019_BT_19 SSSCI2019_P_134	การศึกษาขนาดและรูปแบบของโปรตีนไวเทลลิน ในแม่พันธุ์กึ่งกุลาคาที่ได้รับอาหารผสมฮอร์โมน 17 β -estradiol	Biology, Biotechnology and Microbiology	ศรีภาพรพรณ ธาระนารถ Sripapan Tharanart	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขต จันทบุรี
44.	SSSCI2019_BT_22 SSSCI2019_P_183	ผลของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสารสกัดใบ มะรุมนในการป้องกันความเป็นพิษของเอทานอลใน ยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Biology, Biotechnology and Microbiology	วิสุตา ชุมสวัสดิ์ Wisuta Chumsawat	Mahidol University
45.	SSSCI2019_BT_24 SSSCI2019_P_201	แบคทีเรียจากลำไส้ของมดที่มีศักยภาพย่อยกลู คาแพสำหรับผลิตกาแฟหมักระดับอุตสาหกรรม	Biology, Biotechnology and Microbiology	ธีรวัฒน์ งามนอก Teerawat Ngamnok	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
46.	SSSCI2019_BT_26 SSSCI2019_P_215	ประสิทธิภาพของเจลแอดมัลติวจากสารสกัดกระเทียม และข่าลิ้งต่อการยับยั้งสี	Biology, Biotechnology and Microbiology	สุวิชญา บัวชาติ Suwichaya Buachard	มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
47.	SSSCI2019_BT_27 SSSCI2019_P_217	การสกัดคอลลาเจนชนิดที่ 2 จากเศษของครีบบล้าหมักซึ่งเป็นของเสียในอุตสาหกรรมอาหารทะเล	Biology, Biotechnology and Microbiology	Siripong Somsiriwon	Chulalongkorn University
48.	SSSCI2019_BT_30 SSSCI2019_P_223	ผลของสารสกัดหยาบจากกล้วยไม้ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด	Biology, Biotechnology and Microbiology	วิมลรัตน์ พงษ์ไตรทิพย์ Wimonrat Phottraithip	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
49.	SSSCI2019_BT_35 SSSCI2019_P_234	การศึกษาเบื้องต้นถึงความหลากหลายชนิดและสังคมพืชในป่าผลัดใบภายหลังการสัมปทานทำไม้ บริเวณป่าชุมชนบ้านทุ่งฮ้าง อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง	Biology, Biotechnology and Microbiology	ชัตนารี มีสุขโข	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
50.	SSSCI2019_EN_11 SSSCI2019_P_100	การศึกษาคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในกระบวนการแช่ฟอกเปลือกปอกระเจา	Environmental science and technology	ประภา โส๊ะสลาม Prapa Sohsalam	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
51.	SSSCI2019_EN_12 SSSCI2019_P_102	การลดฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอนด้วยการติดตั้งแผงบังแดดพร้อมพืชใบแคบและใบกว้าง	Environmental science and technology	เอกรัตน์ ปานแร่ Akarat Panrare	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
52.	SSSCI2019_EN_14 SSSCI2019_P_81	ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและคุณภาพน้ำผิวดิน ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว)	Environmental science and technology	ศิริรัตน์ จิตบรรเทา Silorat Jitbanthao	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
53.	SSSCI2019_EN_31 SSSCI2019_P_187	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและไดอะตอมในชุมชนแบบยึดเกาะ เพื่อหาแนวโน้มในการประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ	Environmental science and technology	เอกชัย ญาณะ Ekkachai Yana	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
54.	SSSCI2019_FT_2 SSSCI2019_P_25	ผลของฟอสเฟต น้ำและโซ่ขาวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูสับ	Food Science and Home Economics	มาลี ชิมศรีสกุล Malee Simsriskul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
55.	SSSCI2019_FT_4 SSSCI2019_P_31	ผลของโซเดียมแลคเตทที่มีต่อคุณภาพเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งที่ผลิตจากปลาอีสก (<i>Probarbus jullieni</i>)	Food Science and Home Economics	ปัทมา ภาสุถาน Pattama Phasuthan	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
56.	SSSCI2019_FT_6 SSSCI2019_P_41	ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกข้าวเปลือกออกจากข้าวกล้องแบบตะแกรงโยก สำหรับโรงสีข้าวชุมชน	Food Science and Home Economics	สุกัญญา ทองโยธี Sukanya Thongyothee	มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ วิทยาเขตขอนแก่น

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
57.	SSSCI2019_FT_7 SSSCI2019_P_49	การสกัดและความคงตัวของแอนโทไซยานินจาก ข้าวหอมมะลิสีน้ำตาล	Food Science and Home Economics	Wipada Siri-anusornsak วิภาดา ศิริ อนุสรณ์ศักดิ์,	Kasetsart University
58.	SSSCI2019_FT_8 SSSCI2019_P_61	การใช้หมอลดทอลดแทนน้ำตาลซูโครสใน เมอแรงค์	Food Science and Home Economics	ภรณ์ ลิ้มปิสุต Pouranee Limpisut	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
59.	SSSCI2019_FT_9 SSSCI2019_P_62	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองปราศจากน้ำมันจาก ข้าวกล้องหับทิมชุมแพ	Food Science and Home Economics	กมลทิพย์ มั่นภักดี Kamontip Manpakdee	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
60.	SSSCI2019_FT_11 SSSCI2019_P_72	Development of high anthocyanin crispy rice bar	Food Science and Home Economics	Nuttawut Lainumngan	Institute of Food Research and Product Development
61.	SSSCI2019_FT_16 SSSCI2019_P_96	การศึกษาสำหรับอาหารไทยทรงดำตามประเพณี กรณีศึกษา : ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	Food Science and Home Economics	วรรณิสา สุดวังยาง Wannisa Sutwangyang,	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล สงคราม
62.	SSSCI2019_FT_17 SSSCI2019_P_97	การศึกษาตำรับอาหารพื้นบ้านชาวไทย-ยวน กรณีศึกษา : หมู่บ้านสมอแข ตำบลสมอแข อำเภอ เมือง จังหวัดพิษณุโลก	Food Science and Home Economics	บัติตา ทับทิมเพชรราชกุล Bantita Tubtimpeachranggul	มหาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
63.	SSSCI2019_FT_24 SSSCI2019_P_185	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังปราศจากกลูเตน	Food Science and Home Economics	ปวีณ์สุดา ชีปนวัฒนา Paweesuda Keepanawattana	Kasetsart University
64.	SSSCI2019_SP_11 SSSCI2019_P_39	Effects of walking meditation and massage on neuropathic symptoms in persons with type-2 diabetic peripheral neuropathy	Sports and Health Science	พิชญา สุขไพบูลย์ Ms.Pichaya Sukphaibool	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
65.	SSSCI2019_SP_12 SSSCI2019_P_60	A Research of Model of Professional Basketball Management for Professional Basketball Players	Sports and Health Science	Jatuporn Banroengsanoh	Kasetsart University
66.	SSSCI2019_SP_13 SSSCI2019_P_113	ความรู้ ทักษะ การปฏิบัติตนในการดูแลสุขภาพ ช่องปาก และสภาวะทันตสุขภาพของนักเรียน มัธยมศึกษาตอนต้น อำเภวารินชำราบ จังหวัด อุบลราชธานี	Sports and Health Science	Banhan Aemprakhon	วิทยาลัยการสาธารณสุข สิรินธร

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
67.	SSSCI2019_SP_14 SSSCI2019_P_118	การจัดการกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับ ท้องถิ่นหรือพื้นที่ กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วน ตำบลบัวงาม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี	Sports and Health Science	Sarawut Saiboon	วิทยาลัยการสาธารณสุข สิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี
68.	SSSCI2019_SP_16 SSSCI2019_P_135	Factors Related to achievement of Athlete at Institute of Physical Education participating in the University Games of Thailand.	Sports and Health Science	Thitipong Sukdee	มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ
69.	SSSCI2019_SP_19 SSSCI2019_P_138	ความชุกของฮีโมโกลบินอีในกลุ่มชาติพันธุ์ลาวเทิง ในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว	Sports and Health Science	Amkha Sanephonasa	Chulalongkorn University
70.	SSSCI2019_SP_20 SSSCI2019_P_139	ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อยาของประชาชน ในตำบลเชียงดา อำเภอสร้างคอม จังหวัดอุดรธานี	Sports and Health Science	สรญา แสนมาโนช Soraya Saenmanot	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
71.	SSSCI2019_SP_22 SSSCI2019_P_177	The Development of Promoting Model for Quality of Life of Elderly with a Retro Dance	Sports and Health Science	Atthaphol Rodkaew	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล สงคราม
72.	SSSCI2019_SP_23 SSSCI2019_P_179	การพัฒนาโปรแกรมการเสริมสร้างการรับรู้ ความสามารถของตนเองในการป้องกันการ ตั้งครรภ์ก่อนวัยอันควร	Sports and Health Science	ชลดา กิ่งมาลา Chonlada Kingmala	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สุรินทร์
73.	SSSCI2019_SP_24 SSSCI2019_P_180	การศึกษาความเครียดและการเผชิญความเครียด ในญาติผู้ดูแลผู้สูงอายุที่เจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังใน ชุมชน	Sports and Health Science	ภาวิณี แผงสุข Pavinee Pangasuk	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สุรินทร์
74.	SSSCI2019_SP_25 SSSCI2019_P_188	ความรู้และทัศนคติต่อวิชาชีพสาธารณสุข ของ นักศึกษาสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ สุรินทร์	Sports and Health Science	นราวุธ สิ้นสุพรรณ Narawut Sinsupun	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
75.	SSSCI2019_SP_26 SSSCI2019_P_231	พฤติกรรมการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และ พฤติกรรมการสูบบุหรี่ของนักศึกษาชั้นปี 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์	Sports and Health Science	นภา วงษ์ศรี Napha Wongsri	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
76.	SSSCI2019_SP_27 SSSCI2019_P_204	Enhancement of visual perception in primary education: A case study of Mae Tha school, Lampang province	Sports and Health Science	Chatsuda Mata	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
77.	SSSCI2019_SP_28 SSSCI2019_P_218	พฤติกรรมอนามัยที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการติดเชื้อพยาธิกับภาวะโภชนาการของประชาชนโดยรอบอ่างเก็บน้ำสำคัญในจังหวัดสุรินทร์	Sports and Health Science	จีระเดช อินทเจริญสถานต์ Jeeradach Intajarurnsan	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
78.	SSSCI2019_CS_2 SSSCI2019_O_5	การพัฒนาซอฟต์แวร์อ่านบทคัดย่อรูปเล่มโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์	Computer Science and Information Technology	นิศานาถ เตชะเพชรไพบุลย์ Nisanart Tachpetpaiboon	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
79.	SSSCI2019_CS_3 SSSCI2019_O_9	การพยากรณ์ปริมาณฝุ่น PM2.5 โดยใช้วิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลกรณีศึกษา: กรุงเทพฯ เขตบางรัก	Computer Science and Information Technology	ทศภูมิ รันระนา Tusaphum Runrana	มหาวิทยาลัยสยาม
80.	SSSCI2019_PH_3 SSSCI2019_O_13	กัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาด	Physics and Energy	อมรา อธิพิงษ์ Ammara Ittipongse	Suan Sunandha Rajabhat
81.	SSSCI2019_BT_16 SSSCI2019_O_90	การใช้แอกติโนมัยซีทต้านทานแคดเมียมกับพืชร่วมกันในการส่งเสริมการบำบัดแคดเมียมในดินปนเปื้อน	Biology, Biotechnology and Microbiology	ภัสรารณณ์ ฐูปเพ็ง Patsaraporn Thooppeng	Mahidol University
82.	SSSCI2019_BT_17 SSSCI2019_O_98	ความสามารถของแอกติโนมัยซีทต้านทานแคดเมียมในการกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำและการละลายแคดเมียมในดิน	Biology, Biotechnology and Microbiology	โชตินันท์ จันประดิษฐ์ Chotinan Junpradit	Mahidol University
83.	SSSCI2019_BT_25 SSSCI2019_O_206	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านเชื้อแบคทีเรีย และด้านการเกิดไบโอฟิล์มของสารสกัดสารสกัด จ้อยฉั่วต่อเชื้อในช่องปาก	Biology, Biotechnology and Microbiology	วรพรรณณี เผ่าทองสุข Worrapanee Powtongsook	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
84.	SSSCI2019_BT_34 SSSCI2019_O_738	ผลของ Non-albicans <i>Candida</i> species ร่วมกับ <i>Streptococcus mutans</i> ต่อความสามารถในการก่อโรคฟันผุ	Biology, Biotechnology and Microbiology	วิรัชพัชร แสนเสนาะ Wirunphat Sansanoa	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
85.	SSSCI2019_FT_29 SSSCI2019_O_785	การพัฒนาคุณภาพน้ำมันปาล์มสำหรับการทอดอาหารโดยใช้สารสกัดจากสมุนไพร	Food Science and Home Economics	ปฎิญา จิยพิงศ์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ

No.	Paper Code/ Registration Code	Topic	Theme	Name	Institute
86.	SSSCI2019_SP_17 SSSCI2019_O_55	ประสิทธิผลของการสอนด้วยชุดสื่อวีดิทัศน์เรื่อง การเช็ดตัวลดไข้ โดยประยุกต์ทฤษฎีแรงจูงใจใน การป้องกันโรคของผู้ดูแลเด็กป่วยแผนกศัลยกรรม เด็ก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย	Sports and Health Science	ฐมาพร เชี่ยวชาญ Tamaporn Chaiwcharn	มหาวิทยาลัย ศรีนคริน ทรวิโรฒ

กลุ่มที่ 3

ฟิสิกส์ พลังงาน Physics and Energy

ชื่อเรื่อง	หน้า
การพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่สามารถซ่อมแซมตัวเองจากวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA) และซามาเรียมออกไซด์(Sm ₂ O ₃) ภิญญาพัชญ์ เทียมดวงตะวัน, เอกชัย วิมลมาลา, ดร.ฤทธิ มีสัตย์ และดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง	3-1
การตรวจวิเคราะห์โลหะอะมัลกัมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กุลลิตา โกละนันท์, วันวิสา สุดประเสริฐ, อรพินท์เจียรถาวร, Harry James Whitlow และฤทธิ มีสัตย์	3-11
การกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562 วิชาญ เลิศลพ	3-20
การควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบท่อนำสารทำความเย็นร่วมเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า บัณฑิต จิตต์สุภาพ และสุรชาติ เหล็กงาม	3-28
การพัฒนาเครื่องทดสอบความลาแบบหมุนตัด สนชัย สุขยอย, สุชาติ อำนัภมณี และอัศวิน ยอดรักษ	3-38
การเตรียมไมเทียมจากพลาสติก และเสนาใยมะพร้าว สิงห์เดช แดงจวง, ปญจพล เพ็ญสามารถ, สายฝน ชาลี, ชาวลิต วันเสาร์ และนพดล บุญยรัตพันธุ์	3-45
การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง กรณีศึกษา: โรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่ อภิฤดี ตันทเวชกิจ, วรณี มังคละศิริ และจิตติ มังคละศิริ	3-55
การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบแนวตั้ง โดยใช้ลมทิ้งจากระบบกำจัดฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์ พิศาล ปานสุข, วรณี มังคละศิริ และจิตติ มังคละศิริ	3-66
ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยชีวมวลและเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร	3-76

ชื่อเรื่อง	หน้า
การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์โดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ รัชนีกร ปันล่า, สุภาพ ชูพันธ์, พิพัฒน์ เรือนคำ และอัครินทร์ อินทนิเวศน์	3-87
การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมคาร์บอเนต พรทิพย์ ภูมิยิ่ง และภาคิน อินทร์ชิตจ้อย	3-96
การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์สำหรับการตรวจสอบ คุณภาพน้ำเค็ม Pich Khoem, สุกานต์ภิรมย์ ศรีวงษ์ และ รวิภัทร ลาภเจริญสุข	3-104
การออกแบบและประยุกต์ใช้เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจากพืช เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ มครินทร์ กาญจนสุด, พาสินี สุนากร และศิริเดช สุริต	3-111
การทำสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาของแผ่นเส้นใยชานอ้อยกับแบเรียมซัลเฟต โดยมีน้ำยารักษาเป็นตัวประสาน อรอนงค์ เสนาะจิต	3-121
การเปรียบเทียบศักยภาพเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ ชเนษฐ์ วิชาศิลป์	3-131
กัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาด อมรา อธิพิงษ์, ธนัฐ กรอบทอง และวิชาญ เลิศลพ	3-140
การประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินเพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาล ธนวัฒน์ รุ่งสูงเนิน	3-150
การพัฒนาการเรียนรู้วิชากลศาสตร์ควอนตัมโดยการสอนแบบบูรณาการด้วยผลกระทบของ การกระเจิงแบบปกติของสปินต่อการขนส่งอนุภาคในรอยต่อของโลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง ภาณุพัฒน์ ชัยวร และเบญญาทิพย์ ม่วงเขียว	3-159
การเตรียม เฟสโครงสร้างและสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก $\text{Na}_{1/3}/\text{Ca}_{1/3}/\text{Yb}_{1/3}/$ $\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ จุฑาพล จำปาแถม และประสิทธิ์ ทองใบ	3-170
โครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลของด้วงขาโต Carvedonserratus Olivier เพศผู้ ฐิติพร เจาจะจง, สโรชา โพธิ์อภัย, พิสิษฐ์พูลประเสริฐ, กษมะ ดุรงค์ศักดิ์ และปนัดดา เมฆโต	3-180

การพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่สามารถซ่อมแซมตัวเองจากวัสดุเชิงประกอบ
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และซาแมเรียมออกไซด์ (Sm_2O_3)
Development of Self-healing Neutron Shielding Materials Based on
Polyvinyl alcohol (PVA) and Samarium Oxide (Sm_2O_3) Composites

ภิญญาพัชญ์ เทียมดวงตะวัน¹, เอกชัย วิมลมาลา², ดร.ฤทธิ มีสัตย์³, ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง⁴

¹ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, e-mail: pinyapach.ti@live.ku.th

² กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
e-mail: ekachai.wim@kmutt.ac.th

³ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, e-mail: fscirim@ku.ac.th

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, e-mail: kiadtisak.s@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนระดับพลังงานต่ำ (Thermal neutron) ที่สามารถซ่อมแซมตัวเอง (Self-heal) เมื่อเกิดการฉีกขาดของชิ้นงานจากวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) ที่เติมสารตัวเติมซาแมเรียมออกไซด์ (Samarium Oxide; Sm_2O_3) ที่มีคุณสมบัติในการเกิดอันตรกริยากับอนุภาคนิวตรอนได้ดี เนื่องจากมีค่าภาคตัดขวางแบบดูดซับกับอนุภาคนิวตรอนสูง โดยเติม Sm_2O_3 ที่ปริมาณ 0, 4, 8 และ 12wt.% ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเติมสารตัวเติม Sm_2O_3 ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น สมบัติการต้านทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดก่อนทำการตัดเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสมดุล (%EWC) ของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลง นอกจากนี้การซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น (6 ชั่วโมง) แต่การเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมส่งผลให้ประสิทธิภาพในการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบลดลง โดยวัสดุที่มีการเติมสารตัวเติม Sm_2O_3 ปริมาณ 12wt.% และความหนาประมาณ 20 มม. มีประสิทธิภาพในการกำบังนิวตรอนได้สูงสุด ทั้งนี้ผลงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับขนย้ายต้นกำเนิดอนุภาคนิวตรอนเพื่อทดแทนวัสดุชนิดเดิมที่แตกหักหรือเกิดความเสียหายได้ง่าย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกล, อนุภาคนิวตรอน, วัสดุกำบัง, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, ซาแมเรียมออกไซด์,

ABSTRACT

This work aimed to study and to develop self-healing thermal neutron shielding materials from polyvinyl alcohol (PVA) with the addition of samarium oxide (Sm_2O_3), which could greatly interact with neutrons due to its high neutron absorption cross section. The Sm_2O_3 contents in this work were varied from 0 to 4, 8, and 12wt%, respectively. The results showed that the increase in Sm_2O_3 contents led to the increases in tensile strength and elongation at break, but the decrease in the value of percentage of Equivalent Water Content (%EWC). Furthermore, the results indicated that the increase in the healing duration time led to the increase in self-healing properties. However, the increase in Sm_2O_3 contents led to the decrease in overall self-healing properties, of which 12-wt% Sm_2O_3 with 20 mm thickness had the highest neutron shielding abilities. In summary, the outcomes of this work could be used as a basis to develop neutron transportation casks in order to replace previously used materials that are prone to be damaged, which could substantially improve safety for radiation personnel.

Keywords: mechanical property, neutron, shielding, polyvinyl alcohol, samarium oxide

บทนำ

อนุภาคนิวตรอน (n) เป็นอนุภาคทางนิวเคลียร์ที่ไม่มีประจุทางไฟฟ้า จึงทำให้อนุภาคนิวตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ดีกว่าอนุภาคที่มีประจุชนิดอื่น เช่น อนุภาคโปรตอน (p) หรืออนุภาคแอลฟา (α) ซึ่งในปัจจุบัน มีการนำอนุภาคนิวตรอนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การใช้อุภาคนิวตรอนรักษามะเร็งรังสี (Boron Neutron Capture Therapy; BNCT) (Barth et al., 1995) การถ่ายภาพแบบไม่ทำลายโดยใช้ลำอนุภาคนิวตรอน (Non-destructive neutron imaging) (Turkoglu et al., 2013) การใช้อุภาคนิวตรอนเพื่อการศึกษาและพัฒนางานวิจัยด้านวัสดุ (Muramatsu and Yoshida, 1995) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อนุภาคนิวตรอนสามารถเกิดอันตรกิริยาการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic scattering) กับอะตอมตัวกลางที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันได้ดี เช่น อะตอมของธาตุไฮโดรเจนหรือธาตุฮีเลียม เป็นต้น โดยอนุภาคนิวตรอนมีการถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอะตอมตัวกลางจนก่อให้เกิดไอออนหรืออนุมูลอิสระขึ้น ซึ่งอาจส่งผลเสียหรือผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากร่างกายมนุษย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก (มากกว่า 60%) ซึ่งอะตอมไฮโดรเจนในน้ำอาจเปลี่ยนเป็นไอออนและทำอันตรายกับเซลล์ของร่างกายได้ (Pelliccioni et al., 1998) จากตารางที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบอันตรายจากการได้รับอนุภาคนิวตรอนเทียบกับรังสีก่อไอออนประเภทอื่น โดยพิจารณาจากค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนักตามประเภทของรังสี (Radiation weighting factor) โดยที่ค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนักตามประเภทของรังสีก่อไอออนมีความเป็น Positive กับปริมาณรังสี ซึ่งอนุภาคนิวตรอนมีค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนักที่ 5-20 สูงกว่ารังสีก่อไอออนประเภทอื่น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการหาวิธีการป้องกันอันตรายหรือผลกระทบของผู้ปฏิบัติงานจากการได้รับอนุภาคนิวตรอนในปริมาณที่สูงเกินกำหนด เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย

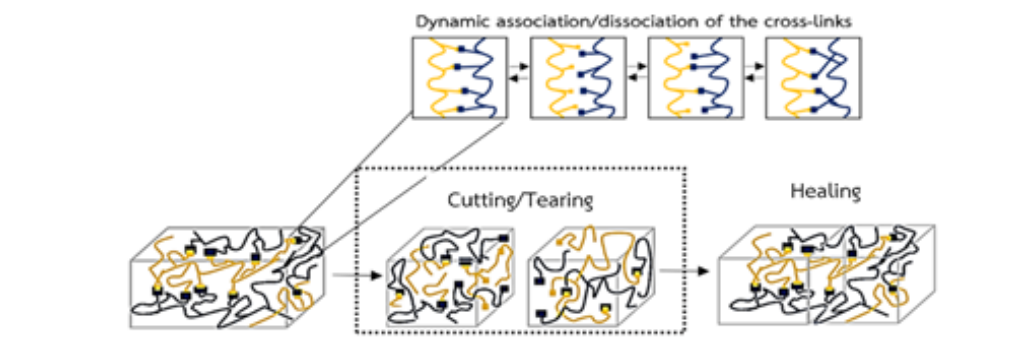
ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนักตามประเภทของรังสีก่อไอออน (Radiation weighting factor)

ชนิดของรังสีก่อไอออน	พลังงาน	ค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก
Photon, Electrons	All energy	1
Proton	< 20 MeV	5
	< 10 keV	5
	10 - 100 keV	10
	100 keV - 2 MeV	20
Neutron	2 - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5

โดยทั่วไปหลักการป้องกันอันตรายจากการปฏิบัติงานกับรังสี ผู้ปฏิบัติงานต้องยึดปฏิบัติตามกฎ “As Low As Reasonably Achievable” หรือ “ALARA” อย่างเคร่งครัด โดย ALARA ประกอบด้วยหลักการสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ เวลา (Time) ระยะทาง (Distance) และอุปกรณกับังรังสี (Shielding) (Kaplan et al., 2016) กล่าวคือ ผู้ปฏิบัติงานควรใช้เวลาปฏิบัติงานในบริเวณที่มีรังสีให้สั้นที่สุดและอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุด นอกจากนี้ ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องใช้อุปกรณกับังรังสีที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ เพื่อป้องกันการได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น โดยทั่วไปวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอน นิยมใช้วัสดุที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุไฮโดรเจนปริมาณสูง เช่น น้ำ ยาง หรือพลาสติก เป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาแผ่นกำบังอนุภาคนิวตรอนในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน เช่น การใช้วัสดุโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) ผสมกับโบรอนคาร์ไบด์ (B_4C) ปริมาณ 7, 15 และ 24 phr (part per hundred of rubber/resin) เป็นวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งผลการวิจัยพบว่า HDPE ผสม B_4C ปริมาณ 24 phr สามารถลดพลังงานของอนุภาค

นิเวศพลังงานต่ำได้สูงที่สุดและมีสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดี (Yasin and Khan, 2008) นอกจากนี้ มีการนำพาราฟินผสมกับยางมะตอยและไดโบรอนไตรออกไซด์ (B_2O_3) ที่ปริมาณ 7, 14, 21, 28 และ 35 wt.% เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนคุณภาพสูงและต้นทุนต่ำ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การเติม B_2O_3 ที่ปริมาณ 35 wt.% วัสดุมีประสิทธิภาพในการกำบังอนุภาคนิวตรอนสูงที่สุดและวัสดุสามารถทนต่อการแตกหักได้ดีกว่าวัสดุที่ไม่มีการเติมยางมะตอย (Toyen and Saenboonruang, 2017) อีกทั้งมีการนำน้ำยางพาราธรรมชาติ (Liquid natural rubber; LNR) ผสมกับ HDPE และ B_4C ปริมาณ 0-30 wt.% ผลิตเป็นวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพในการกำบังอนุภาคนิวตรอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น โดยการเติม B_4C ปริมาณ 30 wt.% สามารถลดพลังงานของอนุภาคนิวตรอนพลังงานต่ำได้สูงที่สุด (Zali et al., 2018)

แต่ทั้งนี้วัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนดังที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ วัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติ มีความซับซ้อนในด้านกระบวนการขึ้นรูป และมีการใช้สารเคมีบางชนิดที่อาจเป็นพิษกับปฏิบัติงานได้ (Incavo and Schafer, 2006) หรือวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่ผลิตจากพลาสติกเสริมสารป้องกันรังสีมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่ำ ในขณะที่วัสดุที่ผลิตจากพาราฟิน เกิดการแตกหักได้ง่าย อาจทำให้เกิดการรั่วไหลของรังสี ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพหรือคุณสมบัติพิเศษด้านการซ่อมแซมตัวเองเมื่อเกิดการแตกหักของวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอน ซึ่งสามารถลดต้นทุนและยืดอายุการใช้งานได้ อีกทั้งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับปฏิบัติงานในกรณีที่เกิดความเสียหายกับวัสดุกำบัง จึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้กระบวนการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุ อาจเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติหลังจากวัสดุเกิดความเสียหายหรืออาศัยกลไกการกระตุ้นบางอย่าง เช่น แสง ความร้อน การแช่แข็ง หรือค่า pH เป็นต้น ในการซ่อมแซมตัวเอง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการใช้ วัสดุพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) ผลิตเป็นวัสดุไฮโดรเจล (Hydrogel) ที่ความเข้มข้น 35 wt.% นำไปแช่แข็งและละลาย (Freezing and thawing) เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวางโดยการตกผลึกของพันธะไฮโดรเจน และนำมาทดสอบการซ่อมแซมตัวเอง ดังแสดงในภาพที่ 1 ด้วยกระบวนการ Constitutional dynamic chemistry (Wei et al., 2014) ผลการวิจัยพบว่า วัสดุ PVA สามารถซ่อมแซมตัวเองได้หลังการตัดหรือฉีกขาด (Cutting and Tearing) โดยเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงาน ซึ่งสมบัติความต้านแรงดึงของชิ้นงานที่ซ่อมแซมตัวเองมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างชิ้นงานก่อนการตัด (Zhang et al., 2012)



ภาพที่ 1 กระบวนการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุไฮโดรเจลบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน

นอกจากนี้ เพื่อให้วัสดุที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ มีประสิทธิภาพในการกำบังอนุภาคนิวตรอนได้ดีขึ้น จึงมีการเติมสารประกอบของธาตุที่มีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอน (Neutron absorption cross section; σ) ที่สูง เช่น ไดโบรอนไตรออกไซด์ (B_2O_3) หรือซาแมเรียมออกไซด์ (Sm_2O_3) ในวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งธาตุโบรอน (B) และธาตุซาแมเรียม (Sm) มีค่าเฉลี่ย σ สูงถึง 767 และ 5,922 barn ตามลำดับ โดยงานวิจัยที่ผ่านมา มีการผสม Sm_2O_3 ปริมาณ 21 wt.% กับ Polyimide และเติม carbon-fiber เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ พัฒนาเป็นวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนประสิทธิภาพสูง ผลการวิจัยพบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีความหนา 3 ซม. สามารถลดจำนวนอนุภาคนิวตรอนให้มีค่าเท่ากับจำนวนอนุภาคนิวตรอนในธรรมชาติ ซึ่งวัสดุที่มีการเติม Sm_2O_3 สามารถลดทอนอนุภาคนิวตรอนได้ดีกว่าวัสดุที่ไม่มีการเติม Sm_2O_3 (Wang et al., 2015)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่ผลิตจากวัสดุประเภท PVA ซึ่งมีคุณสมบัติในการซ่อมแซมตัวเองหากเกิดความเสียหายกับตัววัสดุ ผสมกับสารตัวเติม Sm_2O_3 ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอนจำนวนอนุภาคนิวตรอนให้กับวัสดุหลักได้ ที่ปริมาณ 0, 4, 8 และ 12 wt.% เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนประสิทธิภาพสูง โดยมีการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติการกำบังอนุภาคนิวตรอน (Neutron shielding properties) สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) และสมบัติการซ่อมแซมตัวเอง (Self-healing properties) ซึ่งผลงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวัสดุกำบังอนุภาคนิวตรอนที่ต้องการความยืดหยุ่นและสามารถซ่อมแซมตัวเองได้ เช่น บรรจุภัณฑ์ขนย้ายต้นกำเนิดอนุภาคนิวตรอนเพื่อใช้ทดแทนวัสดุชนิดเดิม อีกทั้งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงาน และเป็นทางเลือกในการใช้งานด้านการแพทย์ งานวิจัย งานอุตสาหกรรม ที่สามารถลดการนำเข้วัสดุป้องกันรังสีจากต่างประเทศที่มีราคาแพง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ Polyvinyl alcohol ต่อปริมาณสารตัวเติม Sm_2O_3 ที่ปริมาณต่างๆ
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมและความหนาของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 ต่อสมบัติการกำบังอนุภาคนิวตรอน
3. เพื่อศึกษาสมบัติการซ่อมแซมตัวเอง (Self-healing) และสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3

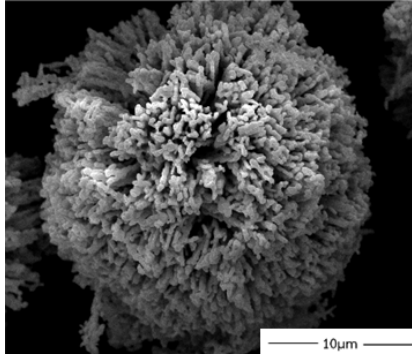
ระเบียบวิธีวิจัย

1. สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตารางที่ 2 และทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารตัวเติม Sm_2O_3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) จากบริษัท Philips รุ่น XL30 ประเทศญี่ปุ่น พบว่า สารตัวเติม Sm_2O_3 มีลักษณะอนุภาคมีผิวพรุนและหยาบ ค่อนข้างกลม ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 18.4 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 2 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบ/ สารเคมี	สมบัติ	ปริมาณที่ใช้ (wt.%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ผู้ผลิต/จำหน่าย
PVA	MW:145000 g/mol, Hydrolysis > 99%	20	0.5	Richest Group, Shanghai, China.
Sm_2O_3	99.99%	0, 4, 8 และ 12	8.9	Richest Group, Shanghai, China.
Deionized water	น้ำปราศจากไอออน	68-80	1.0	Faculty of Science Kasetsart University



ภาพที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค Sm_2O_3 ด้วยเทคนิค SEM (กำลังขยาย 5000 เท่า)

2. การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3

ทำการเตรียมสารละลาย PVA ที่ปริมาณ 20%wt โดยแช่ PVA ในน้ำ ที่อุณหภูมิ 12°C ระยะเวลา 12 ชม. จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C ระยะเวลา 1 ชม. โดยกวนสาร PVA ให้ละลายในน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน ต่อจากนั้นเติมสารตัวเติม Sm_2O_3 ที่ปริมาณต่างๆ และทำการกวนต่อจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (เวลาประมาณ 10 นาที) และนำสารละลายที่ได้เทลงแม่พิมพ์กระจกขนาด 15×15 ซม.². ความหนาชิ้นงาน 5 มม. แล้วนำแผ่นพลาสติกใสปิดทับด้านบนแม่พิมพ์กระจกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ $20\text{-}25^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 30 นาที ต่อจากนั้นนำชิ้นงานไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -30°C เป็นเวลา 1 ชม. นำชิ้นงานห่อด้วยฟิล์มพลาสติกใสและเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิห้องเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำจากตัวชิ้นงาน

3. การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3

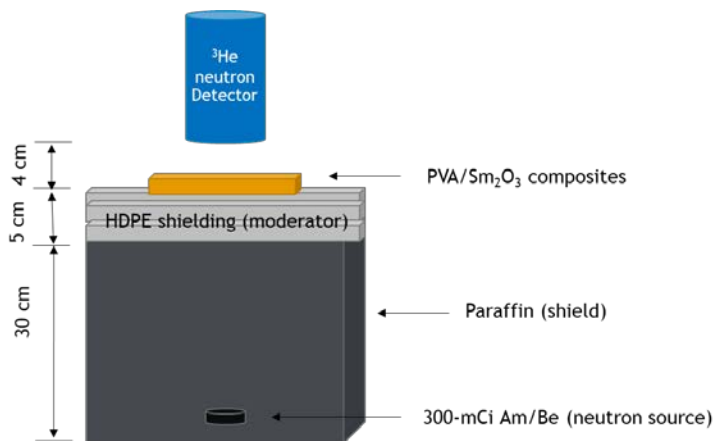
นำแผ่นวัสดุเชิงประกอบ ทดสอบลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) จากบริษัท Philips รุ่น XL30 ประเทศญี่ปุ่น และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I 5kN ประเทศญี่ปุ่น ใช้ความเร็วในการดึง 500 มม./นาที

4. การทดสอบสมบัติการซ่อมแซมตัวเอง

นำชิ้นงานทดสอบ (รูปร่างดรัมเบลล์) ที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D412) มาตัดแบ่งครึ่งบริเวณตรงกลางชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานทั้งสองส่วนวางต่อกันบริเวณรอยตัดในภาชนะปิดสนิท ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ $20\text{-}25^\circ\text{C}$) ทดสอบการเชื่อมติดที่บริเวณรอยตัด ที่เวลาทดสอบต่างๆ ดังนี้ 1 ชม. และ 6 ชม. ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการซ่อมแซมตัวเอง (บริเวณรอยต่อที่เชื่อมติดกัน) ทดสอบความแข็งแรงรอยต่อทางด้านสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและการยืดตัว ตามหัวข้อที่ 2.3

5. การทดสอบสมบัติการกำบังอนุภาคนิวตรอน

การทดสอบการกำบังอนุภาคนิวตรอน ด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยใช้หัววัดจำนวนอนุภาคนิวตรอนที่มีการเติมก๊าซฮีเลียม-3 (Helium-3) การทดสอบสมบัติการกำบังอนุภาคนิวตรอนตรวจวัดเพื่อหาอัตราส่วนของจำนวนอนุภาคนิวตรอนจากแหล่งกำเนิดอนุภาคนิวตรอน ชนิด $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ ที่ผ่าน (I) และไม่ผ่าน (I₀) การลดทอนของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 (I/I₀) ที่ปรับเปลี่ยน Sm_2O_3 ที่ปริมาณ 0, 4, 8 และ 12 wt.% และศึกษาความหนาของชิ้นงานที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 มม. ตามลำดับ โดยวางชิ้นงานห่างจากหัวตรวจวัดอนุภาคนิวตรอนประมาณ 5 ซม. ทำการเชื่อมต่อหัววัดอนุภาคนิวตรอนกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณและอุปกรณ์ประมวลผล ตรวจวัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย I/I₀ ของแต่ละชิ้นงาน



ภาพที่ 3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบตรวจวัดอนุภาคนิวตรอน

6. การวัดปริมาณน้ำสมดุล (Equivalent Water Content; EWC)

การวัดปริมาณน้ำสมดุล เป็นการตรวจสอบความสมดุลของการดูดซึมน้ำของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃ โดยเตรียมตัวอย่างชิ้นงาน ขนาด 2 × 2 ซม.². แช่ในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จนกระทั่งเกิดการดูดซึมน้ำโดยสมบูรณ์ (น้ำหนักชิ้นงานที่บวมตัวมีค่าคงที่ โดยแช่น้ำรวมทั้งหมด 8 วัน) บันทึกค่าเป็นน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นงานที่ดูดซึมน้ำ (W_s) จากนั้นนำชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบอบที่อุณหภูมิ 45°C จนกระทั่งตัวอย่างชิ้นงานมีน้ำหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลง (คงที่) ทำการบันทึกค่าน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (W_d) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสมดุล (Percentage of equilibrium water content; EWC%) อ้างอิงตามงานวิจัยของ Lin and Li, 2014. ดังแสดงในสมการที่ 1

$$EWC\% = \frac{W_s - W_d}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

ผลการวิจัย

สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่สารตัวเติม Sm₂O₃ ปริมาณต่างๆ

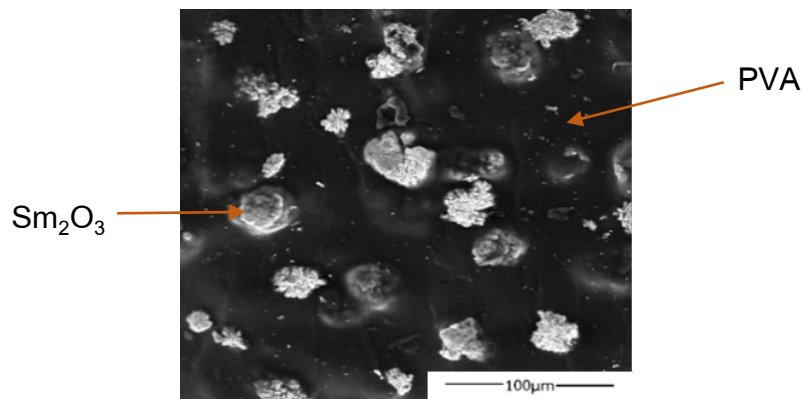
ตารางที่ 3 ผลสมบัติเชิงกลก่อนตัด และเวลาหลังการเชื่อมต่อรอยตัด และปริมาณน้ำสมดุล (%EWC) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃

ปริมาณ Sm ₂ O ₃ (wt.%)	EWC (%)	ความต้านทานต่อแรงดึง (kPa)			การยืดตัว ณ จุดขาด (%)		
		ก่อนตัด	ระยะเวลาเชื่อมต่อ		ก่อนตัด	ระยะเวลาเชื่อมต่อ	
			1 ชม.	6 ชม.		1 ชม.	6 ชม.
0	92.0±0.7	56±8.5	45 ±1	60 ±12	603±65	639±141	578±42
4	88.7±3.4	97±17	54±1	75±10	591±55	512±248	535±106
8	89.0±1.7	123±15	53 ±2	87±23	556±181	339±168	391±65
12	81.2±0.2	171±55	63 ±3	104±15	687±125	232±111	333±104

จากผลสมบัติเชิงกลก่อนตัด และเวลาหลังการเชื่อมต่อของชิ้นงาน และปริมาณน้ำสมดุล (%EWC) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃ แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่เติมสารตัวเติม Sm₂O₃ ที่ปริมาณ 4, 8 และ 12wt.% ก่อนทำการตัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ Sm₂O₃ ที่ความหยาบและ

ความพรุนของพื้นผิว จึงสามารถยึดเกาะทางกายภาพ (Physical interlocking) กับเฟสของ PVA ได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 4 นอกจากนี้สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสมดุล (%EWC) ของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น แสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมขวาง (Crosslink) ของสายโซ่ PVA เพิ่มขึ้น (Lin and Li, 2014)

ส่วนผลของสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่เติมสารตัวเติม Sm_2O_3 หลังการเชื่อมต่อที่เวลา 1 และ 6 ชั่วโมง พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสารตัวเติม Sm_2O_3 เนื่องจากการเกิดพันธะเชื่อมขวาง (Crosslink) ของสายโซ่ PVA ที่เพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวข้างต้น แต่สมบัติเชิงกลโดยรวมก็มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนตัด อีกทั้งพบว่า เวลาหลังการเชื่อมต่อที่มากขึ้น (6 ชั่วโมง) ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนในกรณีของค่าการยึดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารตัวเติม Sm_2O_3 เข้าไปขัดขวางการเชื่อมต่อของ PVA ที่เป็นเฟสหลัก (PVA matrix) ในวัสดุเชิงประกอบ (Xiaozhou et al., 2010)



ภาพที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 ด้วยเทคนิค SEM

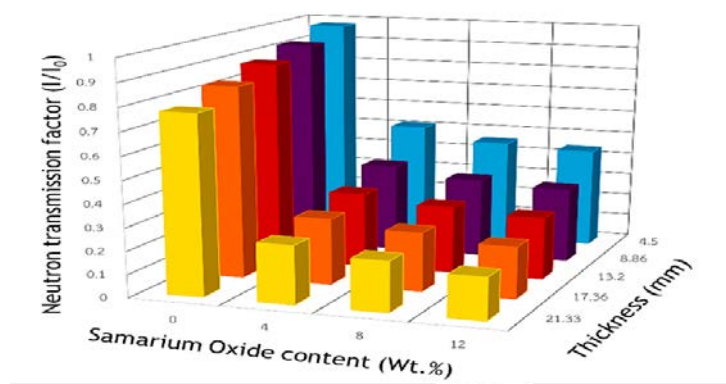
สมบัติการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่สารตัวเติม Sm_2O_3 ปริมาณต่างๆ

จากผลประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเอง ของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ประสิทธิภาพในการซ่อมแซมตัวเองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น (6 ชั่วโมง) ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณผิววัสดุเชิงประกอบที่ขาดออกจากกันมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเกิดขึ้น และมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหล่านี้ที่แพร่ผ่านบริเวณผิวหน้าของรอยต่อเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเชื่อมต่อของชิ้นงานทั้งสอง พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น อาจจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (Zhang et al., 2012) และเมื่อเติมปริมาณสารตัวเติม Sm_2O_3 พบว่าประสิทธิภาพในการซ่อมแซมตัวเองของ PVA/ Sm_2O_3 มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารตัวเติม Sm_2O_3 ที่มีค่าความเป็นผลึกสูง ทำให้ไปขัดขวางการเชื่อมต่อของ PVA ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเกิดได้ยากขึ้น (Hassan et al., 2000)

ตารางที่ 4 ผลประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3

ปริมาณ Sm_2O_3 (wt.%)	ประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเอง (%)	
	ระยะเวลาเชื่อมต่อ 1 ชม.	ระยะเวลาเชื่อมต่อ 6 ชม.
0	80	100
4	56	77
8	44	71
12	37	61

สมบัติการก้ำงอนุภาคนิวตรอนของวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃



ภาพที่ 5 ค่าการลดทอนอนุภาคนิวตรอน (I/I₀) ที่ปรับเปลี่ยนสารตัวเติม Sm₂O₃ และความหนาของวัสดุเชิงประกอบ

จากผลการทดสอบการก้ำงอนุภาคนิวตรอนของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่เติมและไม่เติมสารตัวเติม Sm₂O₃ ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติการก้ำงอนุภาคนิวตรอนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม Sm₂O₃ โดยที่วัสดุ PVA (ที่ไม่เติม Sm₂O₃) ที่ความหนาประมาณ 20 ซม. มีค่าการลดทอนอนุภาคนิวตรอน (I/I₀) เท่ากับ 0.77 และเมื่อเติมสารตัวเติม Sm₂O₃ ที่ปริมาณ 4, 8 และ 12 wt.% พบว่าค่า I/I₀ มีค่าลดลงอย่างมากตามปริมาณสารตัวเติม Sm₂O₃ ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าการลดทอน คือ 0.25, 0.21 และ 0.18 ตามลำดับ (กราฟทางด้านหน้า) และเมื่อทำการเพิ่มความหนาของวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃ ส่งผลทำให้ค่า I/I₀ มีค่าลดลงเช่นกัน (กราฟทางด้านข้าง) ในงานวิจัยนี้มีข้อสังเกตว่า ค่า I/I₀ มีค่าการลดลงที่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าผลของการเติม Sm₂O₃ ในวัสดุเชิงประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากสารตัวเติม Sm₂O₃ ซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนสูง จึงทำให้วัสดุเชิงประกอบมีนิวเคลียสของธาตุซาแมเรียมต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคนิวตรอนสามารถเข้าทำอันตรกิริยากับธาตุซาแมเรียม (Sm) ได้มากขึ้น ส่งผลทำให้จำนวนนิวตรอนที่ผ่านออกมาจากวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลง (Wang et al., 2015) นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณ Sm₂O₃ ส่งผลทำให้ค่าความหนาครึ่งค่า (Haft value layer; HVL) มีค่าลดลง ซึ่งค่า HVL บ่งบอกถึงความสามารถในการลดทอนของจำนวนอนุภาคนิวตรอนครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลความหนาของวัสดุเชิงประกอบ PVA/Sm₂O₃ ที่ทำให้จำนวนอนุภาคนิวตรอนลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น (HVL)

ปริมาณ Sm ₂ O ₃ (wt.%)	ความหนาครึ่งค่า (Haft value layer; HVL) (mm)
0	59.0
4	11.0
8	10.0
12	8.9

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยการเติมสาร Sm_2O_3 ในวัสดุเชิงประกอบ PVA สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 มีสมบัติการต้านทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบ PVA ที่เติมสารตัวเติม Sm_2O_3 ที่ปริมาณ 4, 8 และ 12wt.% ก่อนทำการตัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำสมดุล (%EWC) ของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลง
2. การซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบ PVA/ Sm_2O_3 มีประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น (6 ชั่วโมง) แต่การเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม Sm_2O_3 ทำให้ประสิทธิภาพในการซ่อมแซมตัวเองของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง
3. การเพิ่มปริมาณสารตัวเติม Sm_2O_3 ในวัสดุเชิงประกอบและความหนาของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความสามารถในการกำบังอนุภาคนิวตรอนสูงขึ้น ซึ่งวัสดุเชิงประกอบที่เติม Sm_2O_3 ปริมาณ 12wt.% และความหนาประมาณ 20 มม. สามารถลดทอนจำนวนอนุภาคนิวตรอนลงได้มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Barth, R. F., Soloway, A. H. & Fairchild, R. G. 1990. **Boron neutron capture therapy for cancer**. Scientific American, 263(4), 100-107.
- Hassan, C. M. and Peppas, N. A. (2000). **Structure and applications of poly (vinyl alcohol) hydrogels produced by conventional crosslinking or by freezing/thawing methods**. In Biopolymers PVA Hydrogels, Anionic Polymerisation Nanocomposites (pp. 37-65). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Incavo, J. A. and Schafer, M. A. 2006. **Simplified method for the determination of N-nitrosamines in rubber vulcanizates**. Analytica Chimica Acta, 557(1-2), 256-261.
- Kaplan, D. J. Patel, J. N. Liporace, F. A. and Yoon, R. S. 2016. **Intraoperative radiation safety in orthopaedics: a review of the ALARA (as low as reasonably achievable) principle**. Patient safety in surgery, 10(1), 27.
- Lin, Y. and Li, G. 2014. **An intermolecular quadruple hydrogen-bonding strategy to fabricate self-healing and highly deformable polyurethane hydrogels**. Journal of Materials Chemistry B, 2(39), 6878 - 6885.
- Muramatsu, Y. and Yoshida, S. 1995. **Determination of ^{129}I and ^{127}I in environmental samples by neutron activation analysis (NAA) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 197(1), 149-159.
- Pelliccioni, M. 1998. **Radiation weighting factors and high energy radiation**. Radiation protection dosimetry, 80(4), 371-378.
- Toyen, D. and Saenboonruang, K. 2017. **Development of paraffin and paraffin/bitumen composites with additions of B_2O_3 for thermal neutron shielding applications**. Journal of Nuclear Science and Technology, 54(8), 871-877.

- Turkoglu, D. Cao, L. and Lewandowski, R. 2013. **A low-cost neutron radiography device**. *Physics Procedia*, 43, 54-65.
- Wang, P. Tanga, X. Chai, H. Chena, D. and Qiu, Y. 2015. **Design, fabrication, and properties of a continuous carbon-fiber reinforced Sm₂O₃/polyimide gamma ray/neutron shielding material**. *Fusion Engineering and Design*. 101, 218-225.
- Wei, Z. Yang, JH. Zhou, J. Xu, F. Zrínyi, M. Dussault, PH. Osada, Y. and Chen, YM. 2014. **Self-healing gels based on constitutional dynamic chemistry and their potential applications**. *Chemical Society Reviews*. 43(23), 8114-8131.
- Yasin, T. and Khan, M. N. 2008. **High density polyethylene/boron carbide composites for neutron shielding**. *e-Polymers*. 8(1), 1-7
- Zali, N. M., Yazid, H. and Ahmad, M. H. A. R. M. 2018. **Neutron shielding behavior of thermoplastic natural rubber/boron carbide composites**. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 298(1), 012-018.
- Zhang, H. Xia, H. and Zhao, Y. 2012. **Poly(vinyl alcohol) Hydrogel Can Autonomously Self-Heal**. *ACS Macro Letters*. 1(11), 1233-1236.

การตรวจวิเคราะห์โลหะอะมัลกัมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กุลลิตา โกละนันท์¹, วันวิสา สุตประเสริฐ¹, อรพินท์ เจียรถาวร², Harry James Whitlow³, ฤทธิ มีสัจย์¹

¹ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ Louisiana Accelerator Center, Department of Physics, University of Louisiana
email: fscirim@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อะมัลกัมเป็นวัสดุทางทันตกรรมที่ใช้ในการอุดฟันมากกว่า 150 ปี การใช้วัสดุอะมัลกัมยังมีข้อถกเถียงในเรื่องความปลอดภัยประเด็นที่ว่าธาตุองค์ประกอบจากอะมัลกัมสามารถหลุด และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ เมื่อเร็วๆ นี้คณะผู้วิจัยได้เสนอรายงานการศึกษาการแพร่กระจายของปรอทไปสู่เนื้อฟัน และรากฟันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการกระตุ้นการปล่อยรังสีเอกซ์ด้วยลำอนุภาคขนาดเล็ก (μ PIXE) พบว่าไม่มีหลักฐานแสดงการแพร่ของปรอทไปสู่เนื้อฟัน และรากฟัน อย่างไรก็ตามพบว่าการสะสมของโลหะบางชนิดในบริเวณพื้นที่ที่อะมัลกัมสัมผัสกับอาหาร นี่เป็นหลักฐานสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าการหลุดของโลหะบางชนิดที่เคลื่อนย้ายออกจากอะมัลกัม เป็นผลมาจากการสึกกร่อน และการละลายออกมากับน้ำลาย ภูมิภาคของธาตุมีความสำคัญต่อการหลุดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอะมัลกัม งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการศึกษาภูมิภาคของธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอะมัลกัมจำนวน 14 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ศึกษาพื้นผิว และธาตุองค์ประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่มีการวิเคราะห์ธาตุ

ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ตัวอย่างฟันที่มีอะมัลกัมเป็นตัวอย่างที่ได้จากผู้ป่วยอายุ 30-50 ปี และถูกนำออกจากร่างกายด้วยเหตุผลทางการแพทย์ ตัวอย่างเหล่านี้ถูกทำความสะอาด ตัด และขัด เพื่อใช้สำหรับในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของอะมัลกัมเป็นแบบทรงลูกบาศก์ มีองค์ประกอบของปรอทที่อยู่ในรูปของโลหะผสม แต่ไม่พบปรอทในรูปแบบปรอทอิสระ และมีการสะสมของบางธาตุบริเวณอะมัลกัมที่ใช้สำหรับการบัดเคี้ยว และบริเวณอะมัลกัมที่เป็นรอยต่อกับเนื้อฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดีบุกและสังกะสี บ่งชี้ว่ามีการหลุดของโลหะบางชนิดอาจเกิดจากการใช้งานของอะมัลกัม

คำสำคัญ: อะมัลกัม, เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Dental Amalgam Analysis using X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscope

Kullita Kolanan^{1,a}, Wanwisa Sudprasert^{1,b}, Orapin Chienthavorn^{2,c}, Harry James Whitlow^{3,d}, Ridthee Meesat^{1,e}

¹ Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University

² Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

³ Louisiana Accelerator Center, Department of Physics, University of Louisiana

E-mail; ^aithemeo@windowslive, ^bfsciwasu@ku.ac.th, ^cfsciopc@ku.ac.th, ^dhxw1673@louisiana.edu, ^efscirim@ku.ac.th

Abstract

Amalgam is a dental restorative material, which has been used for more than 150 years. However, the controversial issues regarding the dental amalgam safety are the possibility of the releasing of element fillings and absorbing in the patient's body. In the past, we investigated and reported the metal amalgam distribution in extracted tooth samples using micro Particle Induce X-ray Emission (μ PIXE), of which the results suggested that the Hg-amalgam did not show evidence of Hg diffusion through the enamel and tooth tissue. However, the results indicated that some other elements were observed to be localized at biting area, which suggested that other elements could be released from the amalgam, mainly caused by erosion and dissolution from saliva. Furthermore, we found that the phases of the metal amalgam could also be an important factor in the releasing of these elements. In this study, we focused on the investigation of phase analysis of 14 dental amalgam samples using X-ray Diffraction (XRD) and surface analysis using Scanning Electron Microscope (SEM) that was equipped with Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDX). The dental amalgam specimens were extracted from patients, who were 30-50 years old. The tooth samples were cleaned, sectioned, polished, and analyzed using XRD and SEM for phase and surface analysis of the metal amalgam samples. The results from XRD analysis revealed that amalgam samples had cubic lattice structures, while Hg was in form of metal alloys (free Hg was not found). Moreover, the results of SEM confirmed that some metals, especially tin (Sn) and Zinc (Zn), could be migrated to the biting areas and interface areas of amalgam and tooth tissue. These evidences and overall results could be used to conclude that some metals had the possibility to be released from amalgam samples.

Keywords: Amalgam, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscope

บทนำ

ปัญหาสุขภาพในช่องปากเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญของมนุษย์ เนื่องจากก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย และคุณภาพชีวิตของบุคคล และครอบครัว ตามสถิติของประเทศไทยผู้มีปัญหาสุขภาพฟันในกลุ่มวัยรุ่นมีประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ และมีประชากรที่ต้องทำการรักษาฟันอย่างน้อย 1 ซี่ต่อคน (กระทรวงสาธารณสุข, 2560) แสดงว่าประชากรเกือบทุกคนต้องมีฟันที่ต้องทำการรักษาทางทันตกรรม ซึ่งการรักษาที่นิยมใช้กันมาอย่างยาวนาน คือ การใช้วัสดุในการอุดฟัน ที่เรียกว่า อะมัลกัม อะมัลกัมเป็นโลหะผสมที่ถูกหลอมรวมเข้ากับปรอทที่ถูกนำมาใช้ทางทันตกรรมไม่น้อยกว่า 170 ปี (Bharti et al., 2010) เนื่องจากราคาไม่แพง ใช้งานได้ง่าย แข็งแรง ทนทาน และมีสมบัติทางด้านกราด้านแบคทีเรีย จึงทำให้เป็นโลหะผสมที่ถูกใช้งานทางด้านทันตกรรมมาจนถึงปัจจุบันนี้ (Rathore et al., 2012)

อะมัลกัมหรือโลหะผสมนี้ มีส่วนประกอบของโลหะหลากหลายชนิด เช่น เงิน ดีบุก สังกะสี ปรอท และโลหะอื่น ๆ ซึ่งการพัฒนาส่วนประกอบได้มีอย่างต่อเนื่อง (Ngim et al., 1992) เพื่อให้เกิดความปลอดภัยของคนที่ต้องใช้การรักษาทางทันตกรรมด้วยการอุดฟันให้มากขึ้น ปัจจุบันอะมัลกัมที่ถูกใช้งานทางทันตกรรมส่วนใหญ่จะถูกทำให้อยู่ในรูปที่พร้อมจะใช้งาน โดยถูกบรรจุอยู่ในแคปซูล ทำให้สามารถใช้งานได้สะดวก และอีกทั้งยังสามารถลดการได้รับปรอทของผู้ปฏิบัติงาน และผู้ป่วย อะมัลกัมโดยทั่วไปจะมีปรอทผสมอยู่ประมาณครึ่งหนึ่งโดยน้ำหนัก จากการที่อะมัลกัมมีส่วนผสมของปรอทนี้ จึงทำให้เกิดเป็นข้อถกเถียงกันเกิดขึ้นถึงความปลอดภัยของแพทย์ เจ้าหน้าที่ และผู้ที่รับการรักษาทางทันตกรรมมาโดยตลอด อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบของห้องปฏิบัติ และเครื่องมือ ทำให้ทันตแพทย์ และเจ้าหน้าที่ได้รับความปลอดภัยมากขึ้น จากการที่ ได้รับไอจากปรอทในระดับปริมาณที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานในอดีต และระดับปริมาณความเข้มข้นของปรอทยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรม แต่สำหรับในกรณีของผู้ที่มีโลหะชนิดนี้ติดอยู่ในช่องปาก ตลอดเวลา และจำเป็นที่จะต้องสัมผัสกับโลหะชนิดนี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้แล้ว ย่อมเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเรื่องความปลอดภัยจากโลหะผสมชนิดนี้ นอกจากนี้ยังมีรายงานที่บ่งชี้ให้เห็นได้ชัดเจนว่าปรอทจากอะมัลกัม และโลหะอื่น ๆ ที่ถูกใช้ผสมเข้าด้วยกัน ที่ใช้ในการรักษาฟันสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ร่างกายได้ (Koral, 2013)(Richardson et al., 2011) โลหะเหล่านี้จะค่อยๆ หลุดออกมาปะปนกับน้ำลายจากการที่ใช้น้ำที่มีอะมัลกัมติดอยู่ในการบดเคี้ยวอาหาร ซึ่งการบดเคี้ยวมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุโลหะที่เป็นส่วนประกอบเข้าสู่ร่างกายได้ การที่ร่างกายจะต้องได้รับอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานที่ชี้ให้เห็นว่าปรอทจากอะมัลกัมยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ ถึงแม้ว่าจะได้รับในปริมาณที่น้อยมาก ๆ ถึงระดับนาโนโมลก็ตาม และนอกจากนี้การสูดไอจากปรอทหากได้รับในปริมาณที่สูงในเลือดยังทำให้สามารถเสียชีวิตได้ (Ngim et al., 1992)(Koral, 2013)

การแพร่กระจายของโลหะจากอะมัลกัมไปสู่เนื้อฟัน และร่างกายนั้น เมื่อไม่นานมานี้คณะผู้วิจัยได้รายงานการใช้เทคนิค Micro particle-induced X-ray emission (μ PIXE) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของธาตุในตัวอย่างฟันที่ได้รับการรักษาด้วยอะมัลกัม และถูกนำออกจากร่างกายผู้ป่วยที่มีอายุ 30-50 ปี ด้วยเหตุผลทางการแพทย์ (Meesat et al., 2017) วิธีการ μ PIXE เป็นการใช้ลำอนุภาคโปรตอนยิงไปที่ตัวอย่าง โดยแบ่งพื้นที่ส่วนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เป็นส่วนอะมัลกัม ส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน รังสีเอกซ์เฉพาะของธาตุที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของโปรตอนสามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และปริมาณ วิธีการนี้สามารถใช้สำหรับศึกษาการแพร่ของโลหะที่อยู่ในอะมัลกัมไปยังเนื้อฟัน และรากฟันได้ รายงานนี้ไม่พบหลักฐานที่แน่นอนหาเพียงพอที่แสดงการแพร่ของปรอทไปยังเนื้อฟัน และรากฟัน อย่างไรก็ตามได้ตรวจพบการสะสมของธาตุ Sn ที่สะสมอยู่ตรงบริเวณอะมัลกัมที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยว ซึ่งมีการสะสมมากกว่าบริเวณอื่นๆ ของวัสดุอะมัลกัม โดยปกติแล้วธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอะมัลกัมควรพบการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ ดังนั้นจึงเป็นหลักฐานอย่างหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการหลุดของโลหะที่เป็นองค์ประกอบของธาตุบางชนิดในพื้นบริเวณอะมัลกัมที่สัมผัสกับอาหาร และน้ำลายโดยตรง (Meesat et al., 2017) คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้จำนวนตัวอย่างฟันที่มีจำนวนมากขึ้น พบว่าได้ผลในทำนองเดียวกัน และยังอีกพบว่าการสะสมของธาตุบางชนิดในบริเวณที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดีบุกพบในบริเวณที่เป็นที่สัมผัสกับอาหาร และพบด้วยว่าสังกะสีสะสมอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟัน และอะมัลกัม (Sudprasert et al., 2018) การแพร่ และการสะสมของธาตุต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับวัฏภาค (phase) หรือสภาวะของธาตุต่างๆ ที่ประกอบอยู่ในอะมัลกัม กล่าวคือในกรณีที่โลหะต่างๆ อยู่ในรูปของโลหะผสมความเป็นพิษจะน้อยกว่าโลหะที่อยู่ในรูปโลหะอิสระ (Jaishakar et al., 2014) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค μ PIXE ไม่

สามารถบอกเฟสของโลหะธาตุต่างๆ ได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญกับตรวจวัด phase ของธาตุต่างๆ ที่อยู่ในอะมัลกัม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอท โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วย XRD และ SEM-EDX

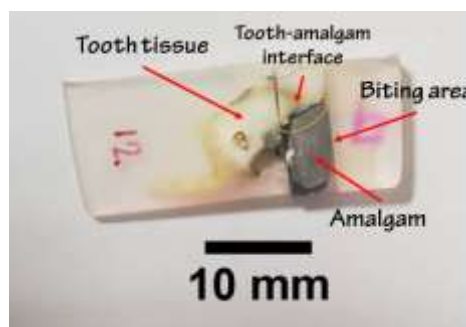
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดที่มีการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน เพื่อศึกษาวิวัฒนาการ (phase) ของธาตุ และการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในวัสดุอะมัลกัม โดยใช้ตัวอย่างฟันที่ได้จากผู้ป่วย และถูกนำออกจากช่องปากด้วยเหตุผลทางการแพทย์

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างฟันที่ใช้สำหรับการวิจัยมีจำนวนทั้งหมด 14 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างที่ผ่านการรักษาทางทันตกรรม ด้วยการใช้เป็นวัสดุอุดฟัน ตัวอย่างฟันเหล่านี้นำออกจากผู้ป่วยที่มีอายุ 30-50 ปี ด้วยเหตุผลทางการแพทย์ ตัวอย่างถูกทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น ด้วยแปรงสีฟันใหม่ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกภายนอก ตัวอย่างฟันถูกยึดด้วย epoxy resin และถูกตัดแนวขวางด้วยเครื่องตัดใบมีดเพชรรอบต่ำ จากนั้นตัวอย่างถูกขัดด้วยเครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ตัวอย่างประกอบด้วยส่วนที่เป็นอะมัลกัม รอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน แสดงในภาพที่ 1 มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โครงการวิจัยนี้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หมายเลข COE No. COE59/001



ภาพที่ 1 ภาพตัวอย่างฟันตัดขวางแสดงส่วนที่เป็นอะมัลกัม ส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน

ที่มา : ภาพถ่ายโดย นางสาวกุลลิตา โกละนนท์ เมื่อวันที่ 23 เดือน กันยายน พ.ศ. 2561

2. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางรังสี

2.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)

การวัดตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ รุ่น Brand: Bruker, Model: Bruker D8 Advance (Voltage 40 kV, Current 40 mA, Cu anode, $K\alpha$ at wavelength 1.544 Å, beam size 1x1 cm²) ที่มุม 5 – 80 องศา ด้วย step size 0.02 องศา และ step time 0.5 วินาที ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยตรวจวัดตัวอย่างฟันบริเวณพื้นที่ของอะมัลกัม เพื่อตรวจสอบชนิดของสารประกอบ และโครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง

2.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray fluorescence analysis: SEM-EDX)

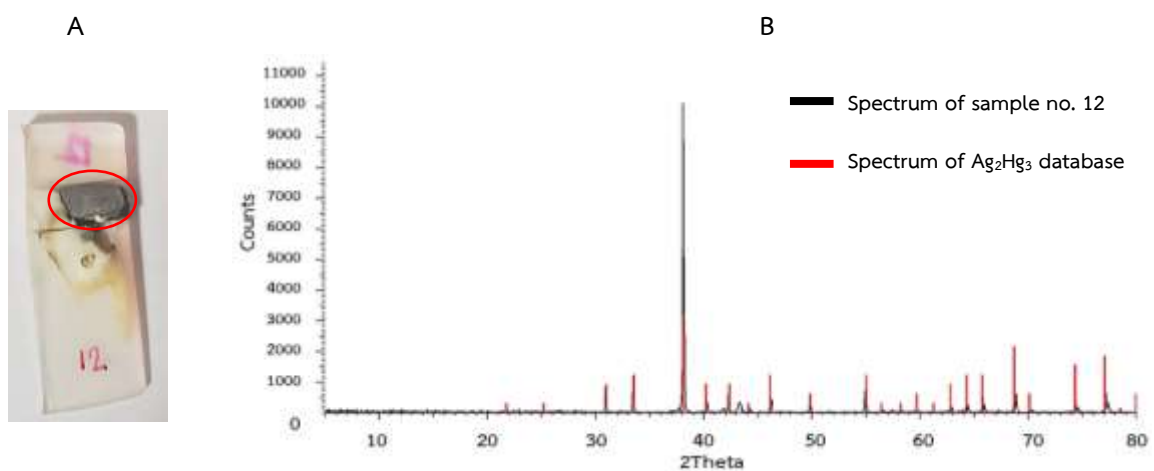
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดที่มีการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเป็นเครื่อง Philips รุ่น XL30 ประเทศญี่ปุ่น ที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดย

ตรวจวัดตัวอย่างฟันตัดขวางแสดงส่วนที่เป็นอะมัลกัม ส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน เพื่อตรวจสอบพื้นที่ผิวหน้าของตัวอย่าง โดยศึกษาลักษณะสัญญาณ ชนิดของธาตุ และการกระจายตัวของโลหะ

ผลการวิจัย

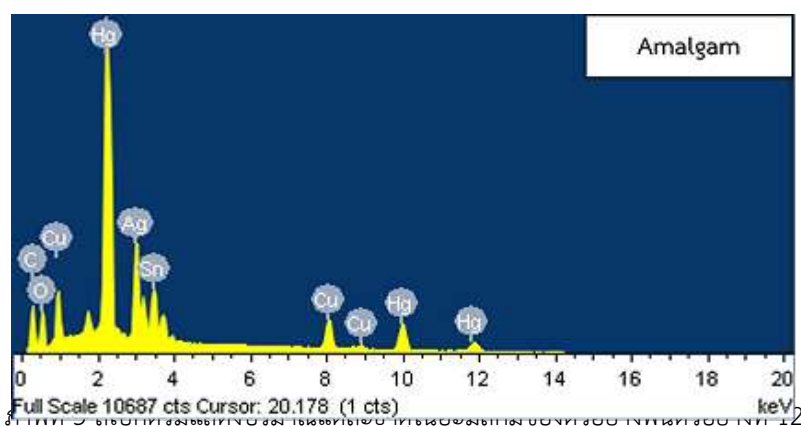
1. ผลการวิเคราะห์จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์ตัวอย่างอะมัลกัมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทำให้ทราบถึงวิภาคของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอะมัลกัม ตัวอย่างฟันที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2A ผลของการวิเคราะห์แสดงในรูปของสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่มุม 2θ โดยการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ได้จากฐานข้อมูลเฟสของธาตุต่างๆ ผลการวิเคราะห์ phase ด้วย XRD แสดงตามตารางที่ 1 แสดงในรูปแบบของร้อยละประกอบเฉพาะส่วนที่เป็นปรอท วิภาคของปรอทที่ตรวจพบเป็นปรอทที่อยู่ในรูปแบบของโลหะผสม และไม่พบปรอทที่อยู่ในรูปของปรอทอิสระ โครงสร้างของอะมัลกัมอยู่ในลักษณะแบบลูกบาศก์ (Cubic) ส่วนสเปกตรัมของธาตุต่างๆ แสดงในภาพที่ 2B พบว่าลักษณะรูปแบบของสเปกตรัมมีลักษณะตรงกับสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจาก SEM-EDX แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 (A) ภาพตัวอย่างฟันตัดขวางแสดงส่วนที่เป็นอะมัลกัม รอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน วงกลมสีแดง แสดงบริเวณอะมัลกัมที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

(B) ผลการวิเคราะห์จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แสดงในรูปแบบสเปกตรัมของตัวอย่างฟัน



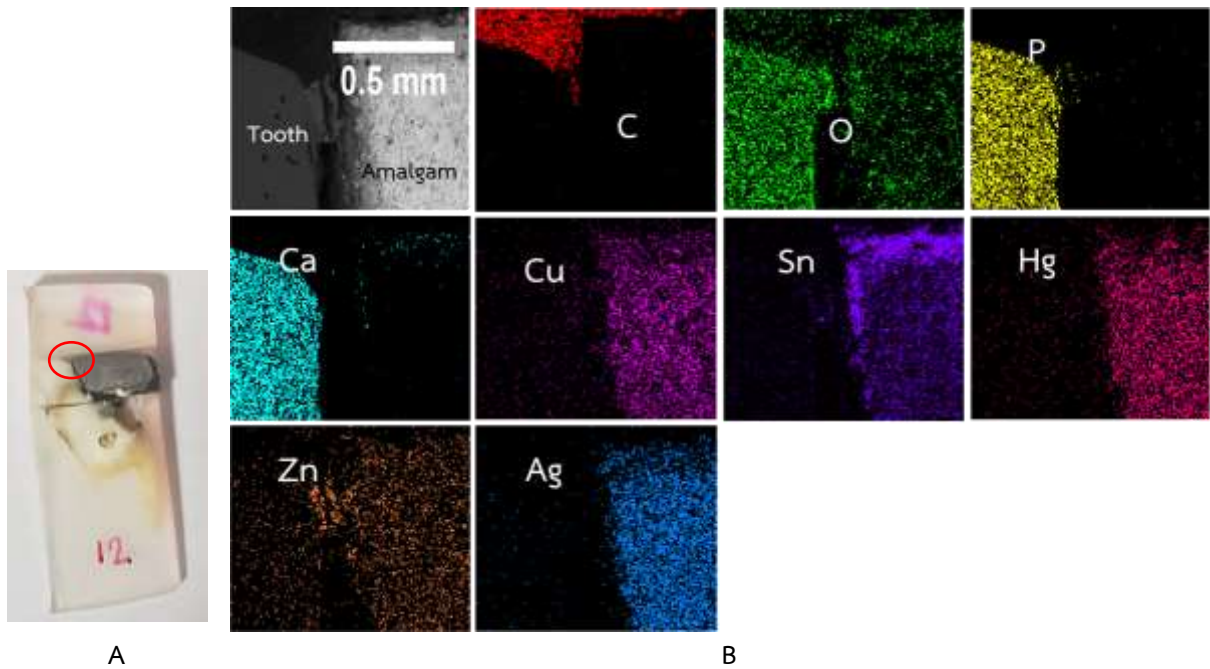
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แสดงองค์ประกอบของธาตุในอะมัลกัมเฉพาะส่วนที่เป็นปรอทที่อยู่ในรูปแบบของโลหะผสมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

% phase of Amalgam

Sample No.	Ag ₃ Hg ₂	Ag ₁₃ Hg ₇	Ag ₂ Hg ₃	(Ag ₁₁ Hg ₉) _{0.1}	(Ag ₇ Hg ₃) _{0.4}	Ag ₁₁ Hg _{0.9}	HgAg ₉
1	47.5	4.3	-	-	3	-	-
2	34.3	3.8	27.3	-	-	-	-
3	31.8	5.1	35.7	-	-	-	-
4	24.0	3.8	15.2	-	-	-	-
5	-	-	54.2	2.8	4.6	-	-
7	27.6	2.5	57.0	-	-	-	-
8	36.6	1.3	14.2	-	-	23.6	-
9	-	-	97.1	-	-	-	-
11	-	1.6	79.9	0.7	-	-	-
12	-	-	99.4	-	-	-	-
13	-	-	7.2	-	-	27.7	-
14	-	8.6	78.2	5.5	-	-	-
15	-	-	4.9	4.5	5.3	19.9	-
17	17.8	1.9	-	0.9	-	-	9.1

2. ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดที่มีการวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM-EDX)

การถ่ายภาพด้วย SEM-EDX ใช้สำหรับการพิจารณาองค์ประกอบของธาตุต่างๆ บริเวณที่เป็นเนื้อฟัน และที่เป็นอะมัลกัม พื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและอะมัลกัม แสดงในภาพ 4A (วงกลมสีแดง) ผลการวิเคราะห์บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างฟันที่วิเคราะห์เชิงคุณภาพ และแสดงการกระจายตัวของแต่ละธาตุ เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างฟันหมายเลข 12 แสดงในภาพที่ 4B พบธาตุดังนี้ คาร์บอน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม ทองแดง ดีบุก พรอท สังกะสี และเงิน แทนด้วยสีแดง สีเขียว สีเหลือง สีฟ้า สีม่วงอ่อน สีม่วงเข้ม สีชมพู สีส้ม และสีน้ำเงิน ตามลำดับ พบว่าธาตุต่างๆ ในตัวอย่างฟันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หากพิจารณาที่ภาพการกระจายตัวของดีบุก สามารถสังเกตเห็นความหนาแน่นของดีบุกที่มีการสะสมเป็นจำนวนมากบริเวณอะมัลกัมในพื้นที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยวหรือการสัมผัสกับอาหารโดยตรง และบริเวณรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน นอกจากนี้หากพิจารณาที่ธาตุ สังกะสี พบว่าที่บริเวณรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟันมีการสะสมของสังกะสี ที่มากกว่าบริเวณอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ของ Sn และ Zn นี้สามารถตรวจพบได้ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างฟันอื่นๆ

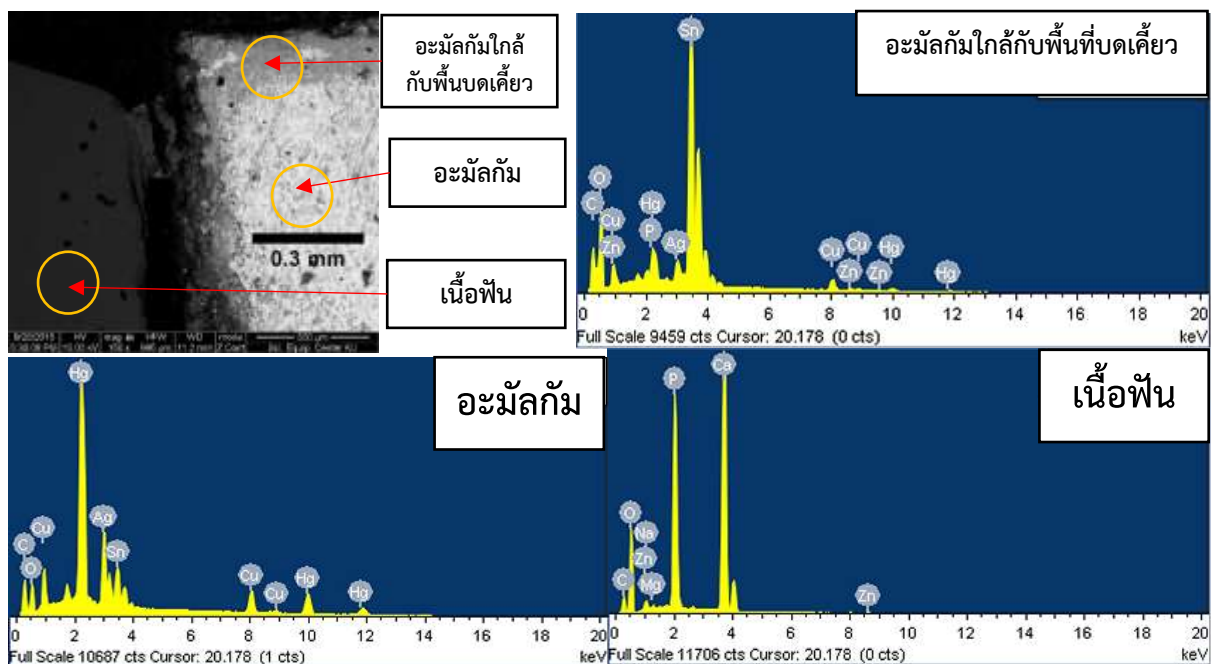


ภาพที่ 4 (A) ภาพตัวอย่างพื้นตัดขวางแสดงส่วนที่เป็นอะมัลกัม รอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน วงกลมสีแดง แสดงบริเวณอะมัลกัมที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (B) ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงการกระจายตัวของธาตุของตัวอย่างพื้นตัวอย่างที่ 12

การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอกซ์สามารถแสดงในภาพที่ 5 ผลจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ ตามตำแหน่งภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วยบริเวณที่มีการสะสมของดีบุกเป็นจำนวนมากที่ได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วย SEM-EDX กำหนดให้พื้นที่ที่ใช้การวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 พื้นที่ คือ 1. บริเวณอะมัลกัมใกล้กับส่วนที่จับบดเคี้ยว 2. บริเวณที่เป็นอะมัลกัมตรงกลางชั้นของวัสดุ และ 3. บริเวณที่เป็นเนื้อฟัน พบว่าในส่วนบริเวณที่ 1 ประกอบไปด้วยธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี เงิน ดีบุก และปรอท ส่วนบริเวณที่ 2 ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท และ ส่วนบริเวณที่ 3 ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และสังกะสี

จากผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณสามารถแสดงในรูปแบบร้อยละของน้ำหนักของธาตุ แสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าบริเวณอะมัลกัมที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยว และบริเวณรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน พบว่ามีโลหะต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอะมัลกัม มีดีบุกมากที่สุด ส่วนผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เป็นอะมัลกัมพบว่ามีปริมาณของปรอทมากที่สุด แต่บริเวณเนื้อฟันไม่พบว่ามีโลหะที่เคลื่อนย้ายจากอะมัลกัมเข้าสู่เนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งธาตุคาร์บอน และออกซิเจนอาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพื้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทั้งหมด 14 ตัวอย่าง ได้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ มีการสะสมของโลหะบางชนิดบริเวณอะมัลกัมที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยว และบริเวณพื้นที่ที่ใกล้กับบริเวณรอยต่อระหว่างอะมัลกัมและเนื้อฟัน



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงสัญญาณและสเปกตรัมแสดงปริมาณแต่ละธาตุของตัวอย่างฟันตัวอย่างที่ 12 วงกลมสีเหลืองแสดงพื้นที่วิเคราะห์ใกล้กับส่วนที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยว (Area 1) พื้นที่ที่เป็นอะมัลกัมตรงกลางชิ้นตัวอย่าง (Area 2) และส่วนที่เป็นเนื้อฟัน (Area 3)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตัวอย่างฟันในรูปแบบร้อยละของน้ำหนักของธาตุตัวอย่างฟันตัวอย่างที่ 12

อะมัลกัมใกล้กับพื้นที่บดเคี้ยว		อะมัลกัม		เนื้อฟัน	
Element	Weight%	Element	Weight%	Element	Weight%
C	8.32	C	11.04	C	11.17
O	29.89	O	10.79	O	43.64
P	0.61	Cu	7.96	Na	0.66
Cu	3.76	Ag	15.85	Mg	0.23
Zn	1.05	Sn	10.46	P	15.65
Ag	2.34	Hg	43.89	Ca	27.94
Sn	48.76			Zn	0.72
Hg	5.26				

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์อะมัลกัมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าตัวอย่างฟันมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างแบบลูกบาศก์ (Cubic) และปรอทอยู่ในรูปแบบของโลหะผสม ไม่พบปรอทในรูปแบบอิสระ บ่งชี้อย่างชัดเจนว่าไม่มีสารปรอทในรูปแบบอิสระในวัสดุอุดฟัน และเนื้อฟัน

จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบของอะมัลกัมประกอบไปด้วยปรอท และโลหะอื่นๆ เช่น เงิน สังกะสี ดีบุก เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีสารผสมของดีบุกและสังกะสี อยู่บริเวณอะมัลกัมที่ใช้สำหรับการบดเคี้ยว และบริเวณของอะมัลกัมที่เชื่อมต่อกับบริเวณเนื้อฟัน แต่ไม่พบว่ามีปรอท และโลหะอื่นๆ มีการเคลื่อนย้ายจากอะมัลกัมเข้าสู่เนื้อฟัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพ และพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางการยุทธศาสตร์การวิจัย และนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562 ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณสถานที่สำหรับการทำวิจัย ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป และศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข 2560. รายงานผลการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากระดับประเทศ ครั้งที่ 8 ประเทศไทย พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ: ท.เวชวิธี

Bharti, R., Wadhvani, K.K., Tikku, A.P. and Chandra, A. 2010. **Dental amalgam: An update**. Journal of Conservative Dentistry: JCD. 13(4): 204-208.

Jaishankar M., Tseten T., Anbalgan N., Mathew B. B., and Beeregowda K. N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary Toxicology. 7(2): 60-72.

Koral, SM. 2013. **Mercury from dental amalgam: exposure and risk assessment**. Compend Contin Educ Dent. 34(2): p. 138-40, 142, 144 passim.

Meesat, R., Sudprasert, W., Guibert, E., Wang, L., Chappuis, T. and Whitlow, H.J. 2017. **Micro-PIXE study of metal loss from dental amalgam**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 404: 106-109.

Ngim, C.H., Foo, S.C., Boey, K.W. and Jeyaratnam, J. 1992. **Chronic neurobehavioural effects of elemental mercury in dentists**. British Journal of Industrial Medicine. 49(11): 782-790.

Rathore, M., Singh, A. and Pant, V.A. 2012. **The Dental Amalgam Toxicity Fear: A Myth or Actuality**. Toxicology International. 19(2): 81-88.

Richardson, G.M., Wilsonb, R., Allardc, D., Purtilld, C., Doumaa, S. and Gravière, J. 2011. **Mercury exposure and risks from dental amalgam in the US population, post-2000**. Sci Total Environ. 409(20): 4257-4268.

Sudprasert, W., Meesat, R., Whitlow, H.J., Udeogu, H., Armin, B., Vera, D. and Deoli, N. 2018. **Investigation of mercury pathways from dental amalgam by micro-PIXE**. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B. 15: 123-128.

การกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ

นักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562

วิชาญ เลิศลพ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

wichan.le@ssru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ต้องการประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์และศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ทางกรในวิชาฟิสิกส์ 1ของนักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้รับการสอนโดยการกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา 2562มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาโดยจุดประสงค์ เพื่อประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562และเพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา 2562ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่ 1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีการศึกษา 2562

ผลการวิจัยพบว่า

1.คะแนนประเมินการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562เมื่อเทียบกับเกณฑ์ ผลการประเมินเป็นที่น่าพอใจมาก

2.ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยภาพรวมค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนคะแนนก่อนเรียน และเมื่อพิจารณาเป็นรายคนทุกคนมีคะแนนสูงกว่า

คำสำคัญ : การสอนโดยการกำหนดปัญหาในการจัดการเรียนรู้,ประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์,ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Problem Determination for Student Research to Develop Academic Effect of First Year Students in Applied Physics, Academic Year 2019

Wichan Lertlop

Faculty of Science and Technology Suan Sunandha Rajabhat University

wichan.le@ssru.ac.th

Abstract

This research wanted to evaluate the learning scores in physics and to study the achievement of the first year students in applied physics in the study of physics 1 of the first year physics students in Applied Physics taught by The Defining problems for first year students in Applied Physics, academic year 2562, Suan Sunandha Rajabhat University by evaluating the learning of physics of first year students in applied physics, academic year 2019, and to study the nursing achievement of the year 1 Department of Applied subject, academic year 2562, used in this research is the 1st year physics student, Bangkok branch. Phat Suan Sunandha Academic Year 2562

The research found that

1. Physics learning scores of first year students in applied physics, academic year 2562, compared to the evaluation criteria is very satisfactory.

2. Learning Achievement of 1st Year Students in Applied Physics, Academic Year 2562, after studying higher than before with pictures, accumulated reward points higher than before the previous grades and when considering each and every person with a higher score

Key words: Teaching by defining problems in learning management, evaluating learning scores in physics, learning achievement

บทนำ

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีความสำคัญยิ่งวิชาหนึ่งเป็นพื้นฐานในการสร้างนวัตกรรม เทคโนโลยีแขนงต่างๆ หากแต่การตื่นตัวในการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาจะอยู่ในระดับต่ำจึงควรหาแนวคิดแนวทางการจัดการเรียนการสอน จากงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนที่แตกต่างจากการบรรยายเดิมๆ นักศึกษามีการพัฒนาพฤติกรรมและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น_ดงงานวิจัยของ วิชาญ เลิศลพ(2560) เรื่องการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในวิชาฟิสิกส์ 1ของนักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้รับการสอนโดยการสร้างเงื่อนไขในการจัดการเรียนรู้_ผลการวิจัยพบว่า1.นักเรียนที่ได้รับการวางเงื่อนไขก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันโดยหลังวางเงื่อนไขนักเรียนมีคะแนนพฤติกรรมสูงกว่าก่อนการวางเงื่อนไข 2.ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในการเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 ของนักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้รับการสอนโดยการสร้างเงื่อนไขในการจัดการเรียนรู้เทียบกับเกณฑ์ 66 คะแนนคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่า66คะแนน นอกจากนี้นักศึกษาที่เรียนวิชาฟิสิกส์1นั้นมีประสบการณ์ในการเรียนเนื้อหาทั้งหมดมาตั้งแต่มัธยมศึกษาตอนปลาย เพียงแต่มีความละเอียดมากขึ้นอีกระดับหนึ่ง หากดำเนินการสอนแบบเดิมๆอาจทำให้นักศึกษาเกิดความเบื่อหน่าย ไม่รู้สึกตื่นตัวที่จะเรียนรู้ จึงควรที่จะเลือกที่จะจัดกระบวนการเรียนรู้ให้นักศึกษาเกิดความสนุกในการศึกษา มีการค้นหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ เนื่องจากมีสื่อมากมายทั้งอินเทอร์เน็ตและเอกสารต่างๆ ประกอบกับทำให้นักศึกษามีเวลาในการศึกษา ไตร่ตรองพิจารณา คิดวิเคราะห์และสามารถประมวลสรุปนำเอาองค์ความรู้ที่ได้มาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆได้

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.เพื่อประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา2562
- 2.เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา2562

วิธีการดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีการศึกษา 2562

เครื่องมือ

- 1.ประเด็นของปัญหาที่กำหนดให้นักศึกษาคิดหาคำตอบ
- 2.แบบประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา2562

- 3..แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์1

วิธีการดำเนินการ

- 1.บอกคำอธิบายรายวิชาและบอกประเด็นปัญหา รวมทั้งขอขายให้ไปศึกษา ทดสอบก่อนเรียน
- 2.ให้นักศึกษาเตรียมเขียนคำตอบของปัญหามาส่งพร้อมทั้งให้คะแนน
- 3.ให้นักศึกษาบันทึกคลิปการนำเสนอสิ่งที่ได้ศึกษามาพร้อมทั้งส่งให้อาจารย์ทางอีเมลพร้อมทั้งให้คะแนน
- 4.นำคลิปมาเปิดในห้องเรียนเพื่อให้แต่ละคนได้พิจารณา
- 5.อาจารย์สรุปประเด็นมโนทัศน์ของแต่ละเรื่องในตอนท้าย
- 6.ทำซ้ำเช่นนี้จนครบทุกเรื่อง
- 7.ทดสอบหลังเรียนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อแปลความ
2. นำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา2562เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อแปลความ

ผลการวิจัย

การกำหนดปัญหาให้นักศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงตามลำดับ ดังนี้

การนำเสนอผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์1และผลสัมฤทธิ์คะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์1

ประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์1

ประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์1ของนักศึกษาที่ครอบคลุมเรื่องความถูกต้องของมโนทัศน์ และการแก้ปัญหาโดยแบบประเมินคะแนนการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์1 นักศึกษาแสดงตามตาราง

ประเมินคะแนนการเรียนรู้อาชีพฟิสิกส์1

คนที่	คะแนนการประเมินการเรียนรู้อาชีพฟิสิกส์1			
	ความถูกต้อง	การแก้ปัญหา	ผลรวม (20คะแนน)	แปลงคะแนนเต็ม เป็น10คะแนน
1	7.0	7.0	14.0	7.0
2	8.0	8.0	16.0	8.0
3	8.0	8.0	16.0	8.0
4	9.0	8.0	17.0	8.5
5	7.0	7.0	14.0	7.0
6	8.0	7.0	15.0	7.5
7	8.0	8.0	16.0	8.0
8	9.0	8.0	17.0	8.5
9	8.0	7.0	15.0	7.5
10	8.0	8.0	16.0	8.0
เฉลี่ย	8.0	7.6	15.6	7.8

จากตารางจะพบว่าคะแนนประเมินการเรียนรู้อาชีพฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์
ประยุกต์ปีการศึกษา2562เมื่อเทียบกับเกณฑ์ผลการประเมินเป็นที่น่าพอใจมาก

ผลสัมฤทธิ์ในรายวิชาฟิสิกส์1

ผลสัมฤทธิ์คะแนนการเรียนรู้อาชีพฟิสิกส์1ของนักศึกษาสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562
ก่อนเรียนและหลังเรียนแสดงตามตาราง

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562

คนที่	ผลสัมฤทธิ์ในรายวิชาฟิสิกส์1	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	25	34
2	23	36
3	27	38
4	24	38
5	25	38
6	24	38
7	27	37
8	22	37
9	21	36

10	22	39
เฉลี่ย	24	37.1

จากตารางจะพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยภาพรวมค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนคะแนนก่อนเรียน และเมื่อพิจารณาเป็นรายคนทุกคนมีคะแนนสูงกว่า

สรุปผลการวิจัย

1.คะแนนประเมินการเรียนรู้อิฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562เมื่อเทียบกับเกณฑ์ผลการประเมินเป็นที่น่าพอใจมาก

2.ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยภาพรวมค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนคะแนนก่อนเรียน และเมื่อพิจารณาเป็นรายคนทุกคนมีคะแนนสูงกว่า

อภิปรายผล

คะแนนประเมินการเรียนรู้อิฟิสิกส์ของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562เมื่อเทียบกับเกณฑ์ผลการประเมินเป็นที่น่าพอใจมาก เนื่องจากนักศึกษาต้องตอบประเด็นปัญหาทำให้ต้องมีการศึกษาเรื่องราวต่างๆจนเข้าใจในทศน์ก่อน จึงจะนำความรู้ความเข้าใจมาตอบปัญหาและแก้ปัญหาได้ เพราะทุกปัญหาต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในการประกอบกรคิดไตร่ตรองด้วยสอดคล้องกับ ยศวีร์ อิมอโนทัย เรื่องการพัฒนาการเรียนรู้อิฟิสิกส์โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem Base Learning : PBL)ในรายวิชาการออกแบบการประเมินผลจากการศึกษาพบว่าการศึกษาของนักศึกษาในรายวิชาการออกแบบการประเมินผลภายหลังการพัฒนาการเรียนการสอนโดยใช้ปัญหาเป็นฐาน(PBL)พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่จำนวน 11 คนได้ค่าคะแนนอยู่ระหว่าง 60-74คะแนนคิดเป็นร้อยละ 42.3 รองลงมาได้ค่าคะแนนระหว่าง 55-59 คะแนน จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 34.6

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่1สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ปีการศึกษา2562หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยภาพรวมค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนคะแนนก่อนเรียนและเมื่อพิจารณาเป็นรายคนทุกคนมีคะแนนสูงกว่าทั้งนี้เนื่องมาจากนักศึกษามีช่วงเวลาในการศึกษาและทำความเข้าใจมากพอในการเรียนรู้ จึงเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพขณะเดียวกันนักศึกษายังได้สอบทานความรู้จากการเรียนรู้มาด้วยตนเองกับที่อาจารย์สรุปให้ เมื่อเกิดข้อสงสัยนักศึกษาก็สามารถสอบถามเอาความเข้าใจที่ถูกต้องและชัดเจนได้ สอดคล้องกับ วันดี ต่อเพ็ง (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก เรื่องโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก เรื่องโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวกับเกณฑ์ร้อยละ 60 ผลการศึกษาพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลักสูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลักสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. ควรส่งเสริมการเรียนการสอนแบบนี้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์โดยกำหนดประเด็นปัญหาให้นักศึกษาได้คิด ได้ค้นคว้าทำความเข้าใจ เพราะจะทำให้ศึกษามีเวลามากพอในการพิจารณา ไตร่ตรองจะทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง นอกจากนี้จะส่งผลเป็นลักษณะที่ดีในการดำเนินชีวิตในการแก้ปัญหาต่างๆ

2. ต้องปรับกระบวนการทัศนในการเรียนรู้ของทั้งนักศึกษาและอาจารย์ให้เห็นคุณค่าของการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นการเรียนรู้อย่างแท้จริง สามารถนำองค์ความรู้และกระบวนการเรียนรู้ไปใช้ได้จริง

บรรณานุกรม

ทิตนา แชนมณีและ คณะ. (2544). วิทยาการด้านการคิด. กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

ทีศนา แคมมณี. (2545). ศาสตร์การสอน.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยศวีร์ อิมอโนทัย.(2554).การพัฒนาการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem Base Learning : PBL)

ในรายวิชาการออกแบบการประเมินผล.กรุงเทพฯ : คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏ

สวนดุสิต

วิชาญ เลิศลพ.(2560). เรื่องการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกรเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการในวิชาฟิสิกส์ 1ของ

นักศึกษาฟิสิกส์ชั้นปีที่1 สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้รับการสอนโดยการสร้างเงื่อนไขในการจัดการเรียนรู้.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ

สวนสุนันทา.

วันดี ต่อเที่ยง.(2553). ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ 1.กรุงเทพฯ : ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัศึกษามหาวิทยาลัย

ศรีนครินทรวิโรฒ.

การควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบท่อนำสารทำความเย็นร่วมเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

บันทอร์ จิตต์สุภาพ¹ สุรชาติ เหล็กงาม²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

¹email: bantorn@eng.buu.ac.th

²email: surachat@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการนำเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 2 ชุด ที่ใช้งานอยู่ในห้องเดียวกัน โดยทั่วไปจะถูกต่อท่อนำสารทำความเย็นของแต่ละชุดแยกเป็นอิสระจากกัน การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเกิดจากการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุดรวมกัน ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบปรับปรุงให้มีการนำท่อนำสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุดมาต่อแบบขนานร่วมกัน จากนั้นพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งหมดขึ้นมาใหม่เพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายนอกห้องกับค่าอัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้า วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ทำการปรับปรุงระบบให้เป็นแบบท่อนำสารทำความเย็นร่วม ออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานขึ้นมาใหม่ และทำการทดลองระบบที่ปรับปรุงใหม่เทียบกับระบบเดิมจำนวน 5 ครั้ง ผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่าภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิภายนอกห้องเฉลี่ย 31.14 องศาเซลเซียส ระบบที่ปรับปรุงใหม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศลงได้เฉลี่ยร้อยละ 15.15 และค่าอัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับค่าของอุณหภูมิภายนอกห้อง ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือควรใช้ขนาดกำลังการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ห้องปรับอากาศ เพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, ท่อนำสารทำความเย็นร่วม, ไมโครคอนโทรลเลอร์, การประหยัดพลังงานไฟฟ้า

Common Refrigerant Pipes Air Conditioners Controlling for Electrical Energy Saving

Bantorn Chitsupap^{1,a} Surachat Lekngam^{2,b}

¹Department of Electrical Engineering, Burapha University, Chonburi, Thailand

²Department of Electrical Engineering, Burapha University, Chonburi, Thailand

E-mail: ^abantorn@eng.buu.ac.th, ^bsurachat@eng.buu.ac.th

Abstract

This paper presents the method to use two sets of split type air conditioners that are used in the same room, and their refrigerant pipes are independent installation. The total of electrical energy consumption is sum of energy for two sets of air conditioners. Objectives of the research: researchers modified the systems to be common refrigerant pipes and developed the new control systems for electrical energy saving, to study the relation of outdoor temperature and value of electrical energy saving. The research methodologies: to study the structure and operations of split type air conditioners, to modify the systems to be common refrigerant pipes and develop the new control systems, to tested new systems compared with old systems for five times. The research results: under condition of the average outdoor temperature are 31.14 Celsius degrees, the new system can decrease the average of electrical energy consumption to percentage of 15.15 and value of electrical energy saving is direct vary to outdoor temperature. The research suggestion: to use the proper total cooling power of air conditioners with area of the room for the most of electrical energy saving.

Keywords: Split Type Air Conditioners, Common Refrigerant Pipes, Microcontroller, Electrical Energy Saving.

บทนำ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioners) ตามปกติจะถูกติดตั้งส่วนที่เป็นคอยล์เย็น (Evaporator) ไว้ภายในห้องที่ต้องการปรับอากาศ อีกส่วนหนึ่งคือคอยล์ร้อน (Condenser) และคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะถูกติดตั้งไว้ภายนอกห้อง สำหรับห้องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่มาก อาจต้องใช้เครื่องปรับอากาศที่มีจำนวนมากกว่า 1 ชุดขึ้นไป ตัวอย่างเช่นถ้าใช้เครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ชุด ตอนติดตั้งจะถูกต่อท่อนำสารทำความเย็นหรือท่อน้ำยาของแต่ละชุดเป็นอิสระแยกจากกัน เวลาเปิดใช้งานก็ต้องใช้พลังงานไฟฟ้ารวมสูงสุดตามข้อกำหนดคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศทุกชุด

บทความวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการนำท่อน้ำยาของเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ชุดมาต่อแบบขนานร่วมกัน และพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งหมดใหม่ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งระบบควบคุมนี้จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ แล้วนำไปทดสอบกับเครื่องปรับอากาศจริง เพื่อจะหาผลลัพธ์ที่ได้ว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศลงได้มากน้อยเพียงใด โดยบทความส่วนต่อไปเป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย การทดลองและผลการทดลอง สรุปและอภิปรายผลการทดลองตามลำดับ

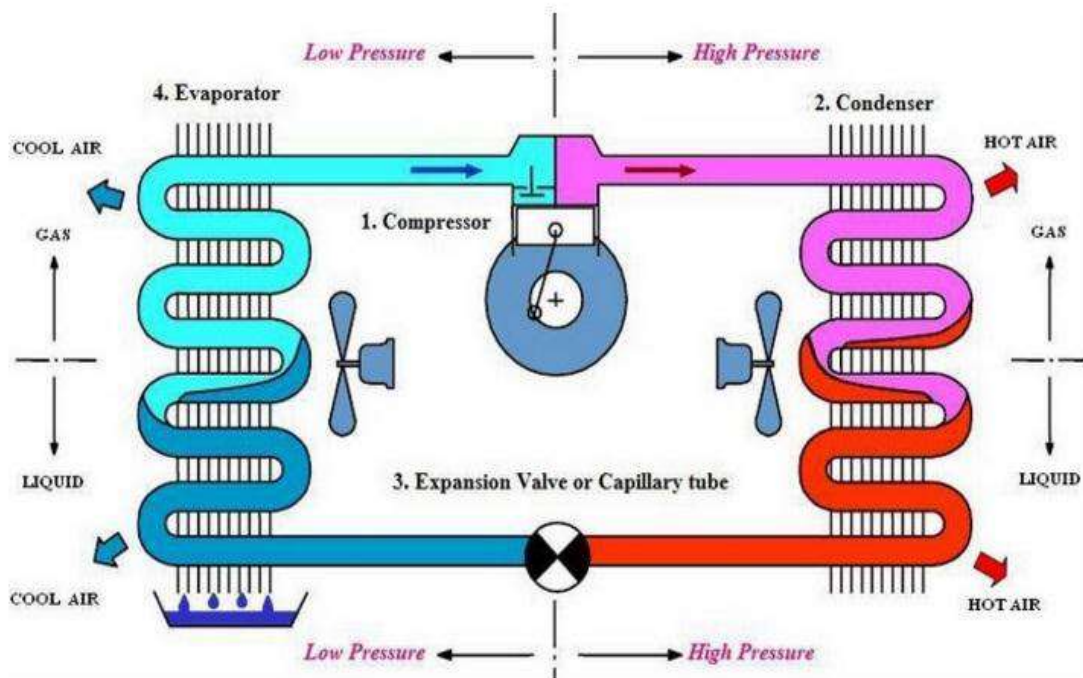
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงให้มีการนำท่อนำสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 2 ชุดมาต่อแบบขนานร่วมกัน และพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศขึ้นมาใหม่ เพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อทำการศึกษถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายนอกห้องกับค่าอัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ในภาพที่ 1 (ธัญชนก โตศิริ และคณะ, 2559) เป็นโครงสร้างและการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศคือการนำเอาความร้อนจากห้องที่ต้องการทำความเย็น โดยทั่วไปคือภายในอาคาร



ภาพที่ 1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
ที่มา : ธัญชนก โตศิริ และคณะ. (2559)

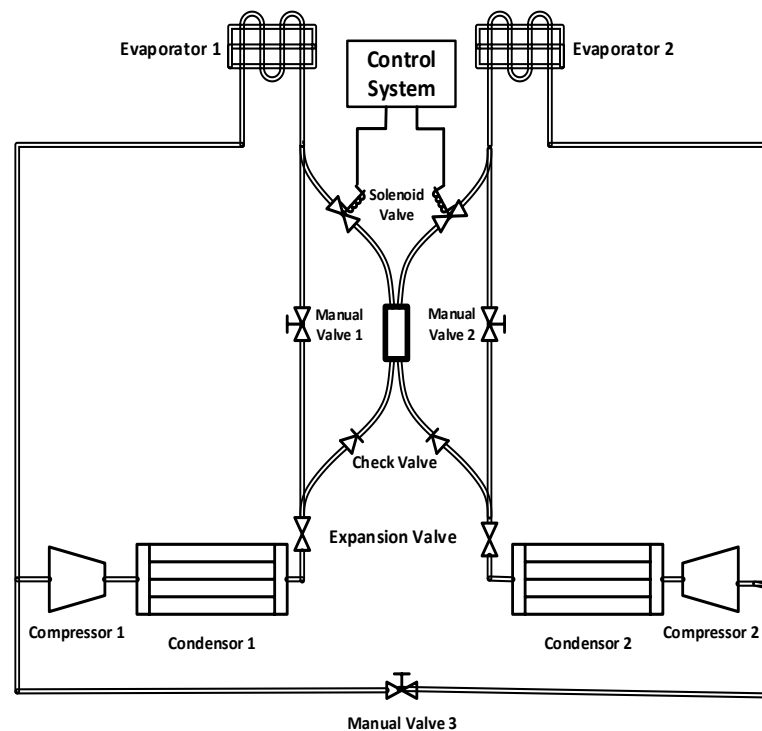
ถ่ายเทไปสู่ที่ซึ่งไม่ต้องการทำความเย็น โดยผ่านตัวกลางคือสารทำความเย็นหรือน้ำยาแอร์ (Refrigerant) เริ่มต้นจากคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดน้ำยาที่เป็นไอจากคอยล์เย็น (Evaporator) ไอสารทำความเย็นที่ดูดเข้ามาจะมีความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำด้วย ไอน้ำยาจะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์โดยผ่านทางท่อดูด จากนั้นคอมเพรสเซอร์จะอัดน้ำยาที่เป็นไอนี้ให้มีความดันสูงขึ้น และขณะที่ไอมีความดันสูงขึ้นก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น การที่ไอน้ำยาที่มีความดันสูงขึ้นนี้จะมีผลให้จุดเดือดสูงขึ้นด้วย จากนั้นไอน้ำยาจะถูกดันออกจากท่อทางส่งแล้วส่งผ่านไปยังคอยล์ร้อนหรือคอนเดนเซอร์ (Condenser) ซึ่งมีหน้าที่รับเอาไอน้ำยาไว้ และระบายความร้อนออกจากไอน้ำยาผ่านตัวกลางซึ่งปกติคืออากาศ ไอน้ำยาจะมีอุณหภูมิลดลงจนควบแน่นเป็นของเหลว แต่ยังคงมีความดันสูงและอุณหภูมิสูง สารทำความเย็นจะถูกส่งไปอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve) ซึ่งมีหน้าที่ลดความดันน้ำยาก่อนเข้าคอยล์เย็น จะมีผลให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อไหลเข้าคอยล์เย็นก็จะรับความร้อนผ่านตัวกลางซึ่งปกติคืออากาศ มีผลให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอ ไอสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำและไหลเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการเพิ่มความดันต่อไป

2. การปรับปรุงระบบท่อน้ำยาทำความเย็นและการออกแบบสร้างระบบควบคุม

ระบบท่อน้ำยาของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 2 ชุด ที่ใช้งานอยู่ในห้องเดียวกัน ตามปกติจะต่อแยกกันอย่างเป็นอิสระ แต่ผู้วิจัยจะนำเสนอวิธีการนำท่อน้ำยาทั้ง 2 ชุด มาต่อแบบขนานร่วมกันจากนั้นทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ควบคุมการทำงานร่วมกันของเครื่องปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 การปรับปรุงระบบท่อน้ำยาทำความเย็น

ในการปรับปรุงระบบท่อน้ำยาจะใช้วิธีการนำท่อน้ำยาช่วงที่ต่อระหว่างอุปกรณ์ลดความดันกับคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุดมาต่อแบบขนานร่วมกันดังภาพที่ 2 จากภาพถ้าต้องการให้ระบบทำงานในโหมดปกติ (Normal Mode) ซึ่งท่อน้ำยาของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุด ถูกแยกเป็นอิสระต่อกัน จะต้องทำการเปิดวาล์วแบบควบคุมด้วยมือ (Manual Valve)



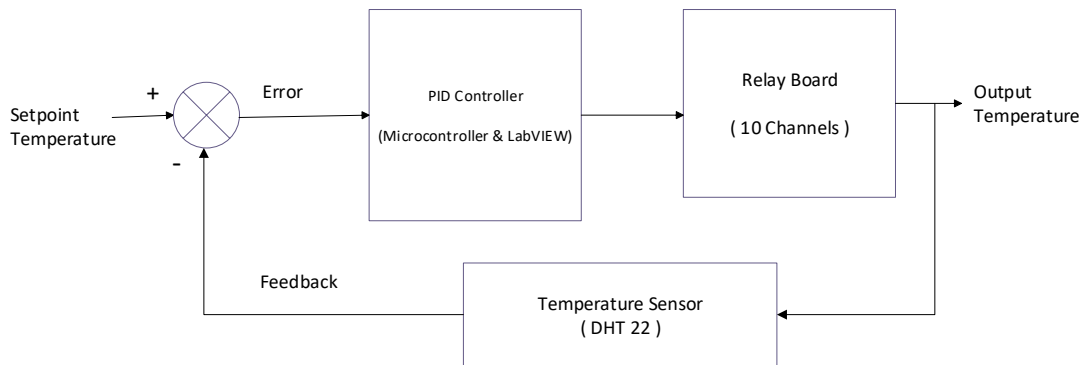
ภาพที่ 2 การปรับปรุงระบบให้เป็นแบบท่อน้ำยาทำความเย็นร่วม

ที่มา : สุรชาติ เหล็กงาม (2561)

ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ส่วนตัวที่ 3 และโซเลนอยด์วาล์วทั้งหมดต้องทำการปิดไว้ ถ้าต้องการให้ระบบทำงานในโหมดพีไอดี (PID Mode) ซึ่งท่อน้ำยาของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุด ถูกเชื่อมต่อแบบขนานร่วมกัน จะต้องทำการปิดวาล์วแบบควบคุมด้วยมือตัวที่ 1 และ 2 ส่วนตัวที่ 3 และโซเลนอยด์วาล์วทั้งหมดต้องทำการเปิดไว้

2.2 การออกแบบสร้างระบบควบคุม

การออกแบบสร้างระบบควบคุมจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังภาพที่ 3 โดยส่วนที่เป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative:PID) ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO (Arduino, 2019) ทำงานร่วมกับโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอดีจะนำไปเชื่อมต่อกับบอร์ดรีเลย์ ซึ่งต้องใช้รีเลย์จำนวน 10 ตัว โดยแบ่งเป็นการใช้เพื่อควบคุมการเปิดและปิดคอมเพรสเซอร์ 2 ตัว และควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์

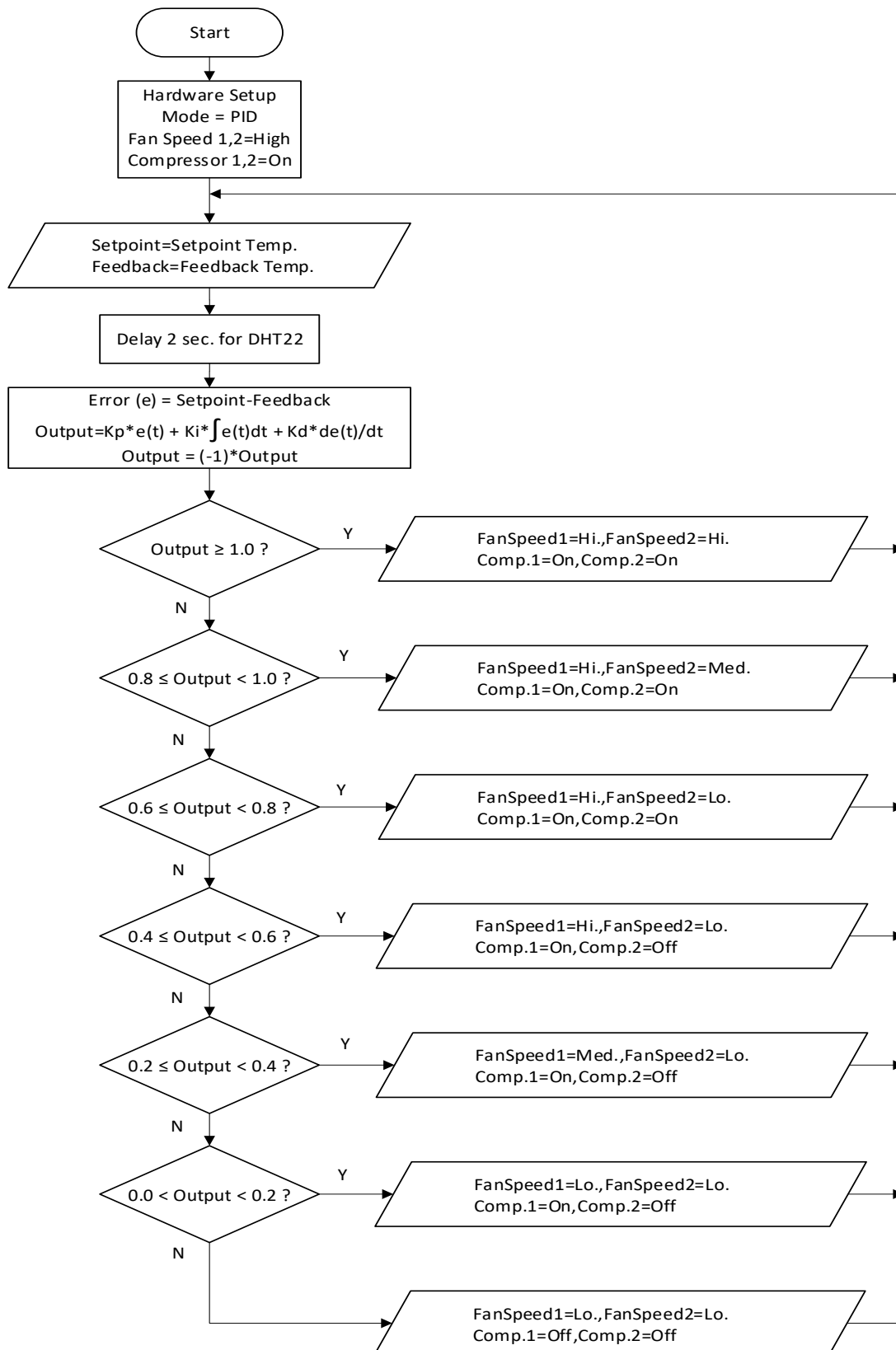


ภาพที่ 3 การออกแบบสร้างระบบควบคุม
ที่มา : บัณฑิต จิตต์สุภาพ (2561)

วาล์ว 2 ตัว และควบคุมระดับความเร็วของพัดลมที่ตัวคอยล์เย็นอีก 6 ตัว ซึ่งระดับความเร็วมี 3 ระดับคือ ระดับสูง (High) ระดับกลาง (Medium) และระดับต่ำ (Low) สำหรับระบบควบคุมที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาใช้ในการทดลองจริงเป็นดังภาพที่ 4 ในส่วนของซอฟต์แวร์ได้ทำการเลือกใช้โปรแกรมแล็บวิว เนื่องจากจะมีฟังก์ชันพีไอดีสำเร็จรูปให้ใช้งานแล้ว ยังมีฟังก์ชันสำหรับการแสดงรูปภาพพอลิโทรมิห้องซึ่งใช้ในการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงอีกด้วย ผังงาน (Flowchart) ที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ระบบควบคุมที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาใช้ในการทดลอง
ที่มา : ภาพถ่ายโดย บัณฑิต จิตต์สุภาพ เมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2562



ภาพที่ 5 ผังงานที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม
 ที่มา : บัณฑิต จิตต์สุภาพ (2561)

จากภาพที่ 5 ในช่วงเริ่มต้นจะมีการกำหนดค่าให้กับระบบฮาร์ดแวร์ คือให้ทำงานในโหมดพีไอดี กำหนดค่าความเร็วของพัดลมที่คอยล์เย็นทั้ง 2 ตัวเป็นระดับสูง และเปิดให้คอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ตัวเริ่มทำงาน จากนั้นจะเข้าสู่วงรอบหลักของโปรแกรม โดยเริ่มจากการอ่านค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Setpoint) และค่าอุณหภูมิห้องปัจจุบัน (Feedback) จากนั้นหน่วงเวลานาน 2 วินาทีสำหรับการทำงานของตัวรับรู้ (Sensor) รุ่น DHT22 (Aosong, 2019) ต่อไปหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจากสมการที่ (1)

$$\text{Error (e)} = \text{Setpoint} - \text{Feedback} \quad (1)$$

ขั้นตอนต่อไปคำนวณหาค่าเอาต์พุต (Output) ที่ได้จากตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยใช้สมการที่ (2) (Dorf & Bishop, 2001)

$$\text{Output}(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) dt + K_d * de(t)/dt \quad (2)$$

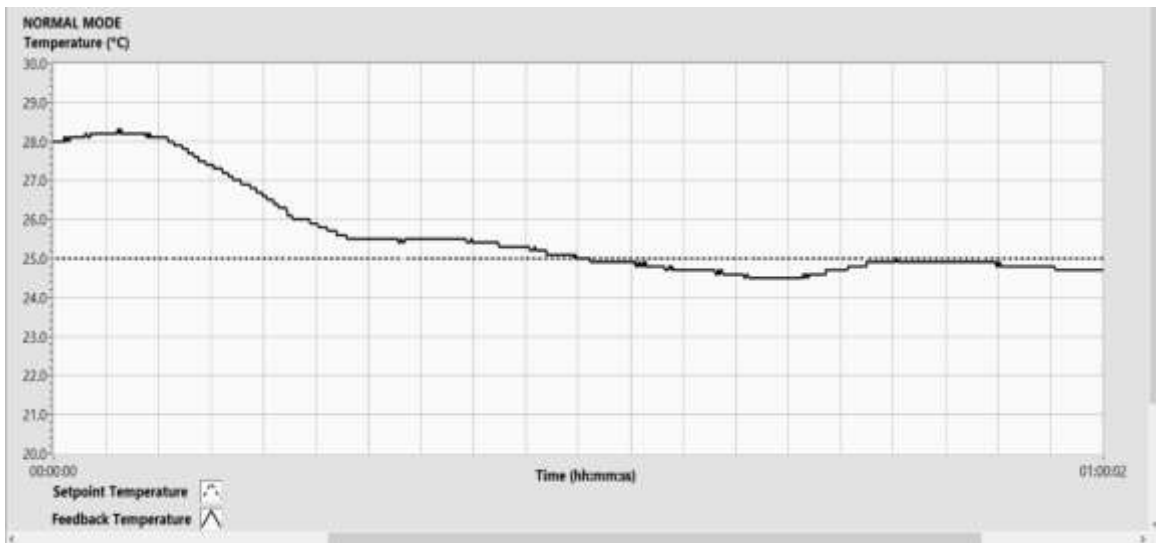
เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นค่าเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบจึงนำไปคูณด้วยลบหนึ่งเพื่อทำให้มีค่าเป็นบวก จะได้สะดวกในการนำไปใช้งานต่อ จากนั้นนำค่าเอาต์พุตไปทำการตรวจสอบจำนวน 7 ระดับ คือถ้าค่าเอาต์พุตลดลง ระบบจะควบคุมให้เครื่องปรับอากาศกำลังการทำงานความเย็นลงไปด้วย เมื่อค่าเอาต์พุตลดลงจนเป็นศูนย์ แสดงว่าอุณหภูมิภายในห้องเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ระบบจะควบคุมให้ความเร็วของพัดลมที่คอยล์เย็นทั้ง 2 ตัวอยู่ในระดับต่ำ และปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ตัว จากนั้นจะวนกลับไปจุดเริ่มต้นของวงรอบหลักของโปรแกรมอีกครั้งหนึ่ง เป็นเช่นนี้ตลอดเวลา เมื่อเขียนโปรแกรมด้วยแล็บวิวตามผังงานที่อยู่ในภาพที่ 5 แล้วจะต้องใช้โปรแกรม LINUX (Sutee, 2017, pp. 48-56) ซึ่งเป็นเครื่องมือเสริมเพื่อให้โปรแกรมแล็บวิวสามารถเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

การทดลองและผลการทดลอง

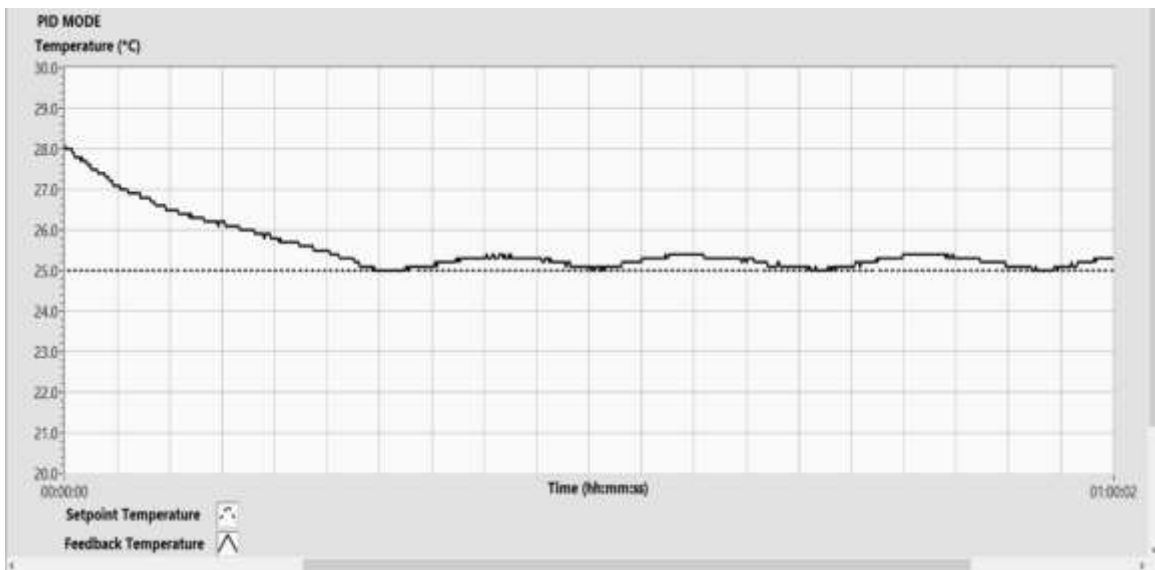
การทดลองระบบทั้งในโหมดปกติและโหมดพีไอดี จะดำเนินการภายในห้องที่มีขนาดกว้าง 5.37 เมตร ยาว 7.41 เมตร หรือมีพื้นที่เท่ากับ 39.79 ตารางเมตร และใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีขนาด 24,000 BTU สำหรับการทดลองระบบในโหมดพีไอดี การปรับจูนค่าอัตราการขยายหรือค่า K จะใช้วิธีการของ Ziegler-Nichols (Co & Tomas, 2004) ซึ่งจากการทดลองค่าที่ใช้ได้คือ $K_p=0.45$, $K_i=0$, $K_d=0$ จะเห็นได้ว่าสามารถใช้ตัวควบคุมแบบพีซินิดเดียวได้ เนื่องจากโครงสร้างของระบบไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน และอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า อีกอย่างหนึ่งเป็นข้อจำกัดในการอ่านค่าอุณหภูมิของตัวรับรู้รุ่น DHT22 คือจะใช้เวลาในการอ่านค่าแต่ละค่านาน 2 วินาที และตัวรับรู้นี้ถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งตรงจุดกึ่งกลางของห้อง สำหรับวิธีการทดลองจะดำเนินการทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งทำการทดลองระบบทั้ง 2 โหมดในวันเดียวกัน

1. การทดลองควบคุมอุณหภูมิของห้องให้ได้ค่าตามที่กำหนด

การทดลองหัวข้อนี้จะตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และทำการทดลองระบบทั้ง 2 โหมด คือ โหมดปกติที่ท่อน้ำยาของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ชุดแยกกันอย่างอิสระ และโหมดพีไอดีที่ท่อน้ำยาถูกต่อแบบขนานร่วมกัน โดยจะใช้เวลาในการทดลองโหมดละ 1 ชั่วโมง ซึ่งการทดลองทั้ง 5 ครั้งจะได้รูปกราฟค่าของอุณหภูมิห้องคล้ายคลึงกันดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7



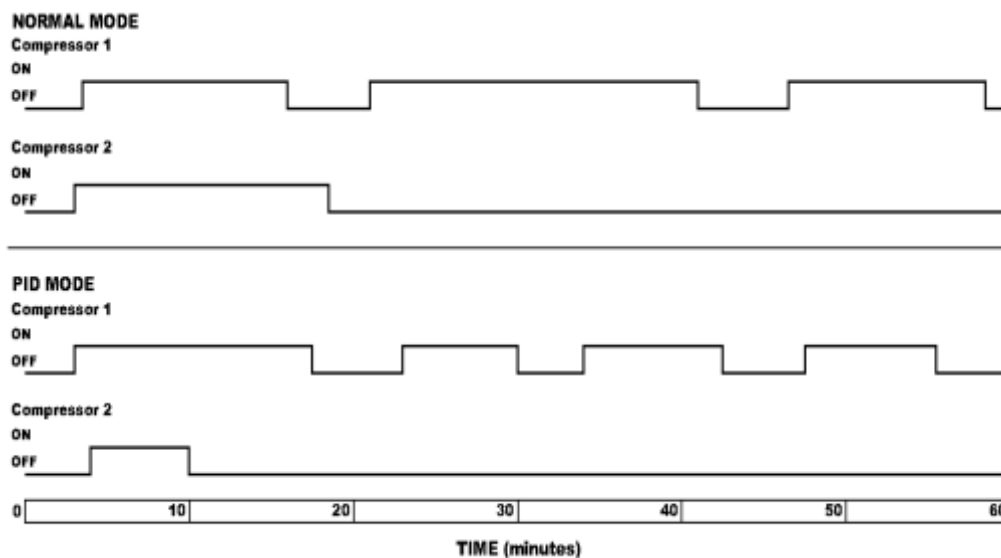
ภาพที่ 6 ค่าของอุณหภูมิห้องเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานในโหมดปกติ
ที่มา : บัณฑิต จิตต์สุภาพ (2562)



ภาพที่ 7 ค่าของอุณหภูมิห้องเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานในโหมดพีไอดี
ที่มา : บัณฑิต จิตต์สุภาพ (2562)

2. การทดลองควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ชุด

การทดลองในหัวข้อที่ 2 นี้จะมีรายละเอียดเหมือนกับการทดลองหัวข้อที่ 1 แต่จะเป็นการบันทึกผลการควบคุมการเปิด (On) และปิด (Off) การทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ชุด ซึ่งผลการทดลองจะเป็นดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ชุด
ที่มา : บัณฑิต จิตต์สุภาพ (2562)

3. การทดลองหาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

การทดลองหัวข้อนี้จะมีรายละเอียดเหมือนกับการทดลองหัวข้อที่ 1 แต่จะเป็นการบันทึกผลค่าของอุณหภูมิภายนอกห้อง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	อุณหภูมิภายนอกห้อง (°C)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในโหมดปกติ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในโหมดพีไอดี (kWh)	ค่าการประหยัด พลังงานไฟฟ้า (%)
1	28.30	1.82	1.57	13.74
2	29.90	2.10	1.81	13.81
3	31.50	1.91	1.62	15.18
4	32.70	2.21	1.85	16.29
5	33.30	1.91	1.59	16.75
ค่าเฉลี่ย	31.14	1.99	1.69	15.15

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองหัวข้อที่ 1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิของห้องให้ได้ค่าตามที่กำหนด จากภาพที่ 6 และภาพที่ 7 จะเห็นว่าตอนเริ่มต้นในโหมดพีไอดี อุณหภูมิห้องจะลดลงมายังค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้คือ 25 องศาเซลเซียส ได้เร็วกว่าโหมดปกติ และในวงรอบต่อไปก็เป็นเช่นเดียวกัน แสดงว่าโหมดพีไอดีมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิห้องได้ดีกว่าโหมดปกติ

การทดลองหัวข้อที่ 2 การทดลองควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 2 ชุด จากภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาของการทดลอง 1 ชั่วโมง ระยะเวลารวมในการเปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศชุดที่ 1 ในโหมดพีไอดี มีค่าน้อยกว่าโหมดปกติ จึงมีผลทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ สำหรับการที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศชุดที่ 2 จะถูกเปิดการทำงานเฉพาะในช่วงแรกของทั้ง 2 โหมดนั้น เนื่องจากขนาดห้องปรับอากาศที่ใช้ทดลองมีพื้นที่ 39.79 ตารางเมตร และขนาดกำลังการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรวมที่เหมาะสมสำหรับห้องที่โดนแสงแดดคือค่า 30,000 BTU (อินย์ซนิก โดศิริ และคณะ, 2559) แต่การทดลองนี้ใช้เครื่องปรับอากาศมีขนาดรวม 48,000 BTU จึงเป็นข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของการจัดหาขนาดห้องและขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกัน

การทดลองหัวข้อที่ 3 การทดลองหาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากตารางที่ 1 ข้อมูลผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง จะถูกเรียงจากครั้งที่มีค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ไปยังครั้งที่มีค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จะเห็นได้ว่าภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิภายนอกห้องเฉลี่ย 31.14 องศาเซลเซียส ระบบที่ปรับปรุงใหม่นี้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศลงได้เฉลี่ยร้อยละ 15.15 และค่าอัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิภายนอกห้อง คือถ้าอุณหภูมิภายนอกห้องสูงขึ้น จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงมากขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือควรใช้ขนาดกำลังการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ห้องปรับอากาศ เพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ.13/2560

เอกสารอ้างอิง

อินย์ซนิก โดศิริ, ยุทธนา สังข์ทอง, และเพชรพร ไมตรีจิตต์. (2559). *แบบจำลองระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบ*

คอมเพรสเซอร์ร่วม (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี

Arduino. (2019). *Arduino UNO Technical Specifications*. Retrieved January 5, 2019, from <https://www.arduino.cc>

Aosong. (2019). *Digital-output relative humidity & temperature sensor data sheets*. Retrieved January 12, 2019, from <http://www.aosong.com>

Dorf, C., & Bishop, H. (2001). *Modern Control Systems*. Prentice-Hall.

Sutee. (2017). Vertical take-off controlling with PID controller via LabVIEW software., *Semiconductor electronics plus*, vol. 441, 48-56.

Co & Tomas. (2004). *Ziegler-Nichols Closed Loop Tuning*. Retrieved January 19, 2019, from <http://www.chem.mtu.edu>

การพัฒนาเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัด

สนชัย สุขย้อย^{1,a,*}, สุชาติ อำนัภมณี^{2,b}, อัศวิน ยอดรักษ์^{1,c}

¹ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ และโลหิติกส์

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.ประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

email: ^asonchai.s@eng.kmutnb.ac.th, ^bsuchat.a@eng.kmutnb.ac.th, ^caswin.y@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัด เพื่อให้ได้มีเครื่องทดสอบความล้าใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ สามารถทดสอบชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 8-12 มิลลิเมตรได้ และความเร็วรอบของการหมุนขึ้นทดสอบประมาณไม่เกิน 3000 รอบต่อนาที ในการสร้างเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัดนี้ จะมีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และแสดงผลต่างๆเช่น จำนวนรอบของชิ้นทดสอบจะถูกนับจำนวนรอบด้วยเซนเซอร์สำหรับการนับจำนวนรอบ และจะส่งผลมาที่ตัวแสดงผลที่ติดอยู่บนอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเซนเซอร์สำหรับตัดการทำงานของชุดมอเตอร์ เมื่อทำการหมุนขึ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน โดยจะมีชุดแสดงผลเวลาเพื่อแจ้งเวลาที่ใช้ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มหมุนขึ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันด้วย

ในขั้นตอนการทดสอบนี้จะใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ในแต่ละชิ้นจะทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าที่ออกมาที่มีความถูกต้องมากที่สุด ชิ้นทดสอบจะถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบความล้าโดยตัวจับยึดชิ้นทดสอบที่ติดอยู่กับเพล่าที่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับ และที่ปลายอีกด้านของชิ้นทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดอุปกรณ์เพิ่มภาระให้กับชิ้นทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าชิ้นทดสอบที่รับภาระน้อยจะต้องใช้จำนวนรอบในการหมุนมากเพื่อจะทำการขึ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน และถ้าจำนวนรอบความเสียหายของชิ้นทดสอบเกินหนึ่งล้านรอบก็จะหยุดการทดสอบ

คำสำคัญ:การทดสอบความล้าจำนวนรอบความเสียหายชิ้นงานทดสอบ

Development of A Rotary-Bending Fatigue Tester

Sonchai Sukyoy^{1, a}, Suchat Aumnakmanee^{2, b}, Aswin Yodrux^{1, c}

¹Department of Materials Handling and Logistics Engineering,

²Department of Materials and Production technology Engineering,

Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB),
1518 Pracharat 1 Road. Wongsawang, Bangsue, Bangkok, 10800, Thailand.

E-mail; ^asonchai.s@eng.kmutnb.ac.th, ^bsuchat.a@eng.kmutnb.ac.th, ^caswin.y@eng.kmutnb.ac.th

Abstract

The objective of this research was to development of a rotary bending fatigue tester apparatus. Study of damage due to fatigue, and for students to have a fatigue testing used in the study. Test specimen with a diameter between 8-12 mm. and speed of rotation of the specimen does not exceed about 3000 rpm. Motors and control equipment, such as the number of cycles of the specimen is counted by counter. Sensors for cutting operations (limit switch. When rotating test piece until piece fell apart. A time indicator to report the total elapsed time from the start of rotation until the test piece of the specimen fell apart too.

In the process of this test, using specimens with a diameter of 8 mm. Each testing must be carried out continuously to obtain an accurate value. The specimen will be installed into the test by the clamping fatigue test and side of the specimen is mounted on Load kits. The results of the experiment showed that the specimen. Less load to require a number of cycles in the rotation, so as to make the test pieces fell apart. If the number of tests over a million cycles, it will stop.

Keywords: fatigue testing; fatigue life; specimen

บทนำ

นับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันความเสียหายเนื่องจากภาวะที่เปลี่ยนแปลงหรือภาวะที่กระทำซ้ำๆที่เรียกว่าการแตกหักเนื่องจากความล้า (fatigue) ก็ยังเป็นปัญหาที่วิศวกรต้องเผชิญ แม้จะมีการพัฒนาความรู้ และแนวทางการออกแบบใหม่ๆ ขึ้นมามากมายแต่ความเสียหายก็ยังปรากฏอยู่ในสภาพการใช้งานทางกลและโครงสร้างต่างๆทั้งที่เคลื่อนไหวและหยุดนิ่งเกือบทั้งสิ้นจะถูกกระทำโดยการเปลี่ยนภาวะ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจจะเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการรับภาระ ความบกพร่องจากการติดตั้ง เช่นการไม่สมดุล การเยื้องศูนย์ หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม โดยชิ้นส่วนโครงสร้างไม่ได้เคลื่อนไหวก็ได้ อันได้แก่เฟือง เพลาส่งกำลัง สลัก เป็นต้นจากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปัญหาความล้าจะเกิดขึ้นได้กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทำให้การศึกษาเรื่องความล้าจึงมีความสำคัญมากในการทำนายอายุความล้าของชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆนั้น สิ่งหนึ่งที่มีผลต่อความแม่นยำในการทำนายก็คือความเหมาะสมในการจำลองสภาวะของภาระในสภาพการใช้งานจริงมายังสภาวะของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ แต่เนื่องจากการระบุลักษณะของภาระแบบแอมพลิจูดคงที่นั้นจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรแอมพลิจูดภาระทำให้เกิดปัญหาว่าจะต้องกำหนดภาระกับชิ้นงานเท่าใดจึงจะให้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ใกล้เคียงที่สุด เพราะส่วนใหญ่แล้วเราไม่สามารถจะทำการทดสอบที่ภาระเท่ากับของจริงได้ซึ่งจะสามารถประเมินอายุของชิ้นส่วนได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการบำรุงรักษาและด้านการผลิตเพราะสามารถวางแผนการทำงานล่วงหน้าได้ เช่นการบำรุงรักษาประจำปี และการวางแผนการผลิต เป็นต้น (วันทนาเกิดนิยม และอัศวิน ยอดรัตน์, 2552) การล้าเป็นรูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุมากที่สุด และน่าสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นรูปแบบการเสียหายที่มีแรงเค้นมากกว่ากระทำกับวัสดุในค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้มาก โดยจากข้อมูลที่มีการสำรวจ พบว่าการเสียหายด้วยตัวรูปแบบดังกล่าวคิดเป็นประมาณ 90% ของการแตกหักของวัสดุทั้งหมด การที่ชิ้นงานรับแรงซ้ำไปซ้ำมาหรือเป็นคาบ (Cyclic Load) ส่งผลให้เกิดรอยร้าวขึ้น รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ภายในชิ้นงาน จนในที่สุดชิ้นงานจะเหลือพื้นที่ในการรับแรงเพียงเล็กน้อย และเกิดการแตกหักทันทีทันใดเมื่อได้รับความเค้นเพียงเล็กน้อย ความเสียหายเนื่องจากการล้าจึงเป็นอันตรายมาก (สยาม แก้วคำไสย์, 2553) การที่มีเครื่องทดสอบความล้าจะทำให้เราเลือกวัสดุที่นำมาทำการออกแบบ ชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรซึ่งการสร้างเครื่องทดสอบความล้านี้มีประโยชน์และแม่นยำพอที่จะนำมาใช้ในการเลือกวัสดุซึ่งปัจจุบันในการทดสอบความล้าก็ยังขาดเครื่องทดสอบที่ใช้ซึ่งมีราคาแพงและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนดัด ศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนดัด โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกลเพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการวิศวกรรม
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล และทดสอบความล้าของวัสดุทดสอบเหล็กเกรด st37 ด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนดัด

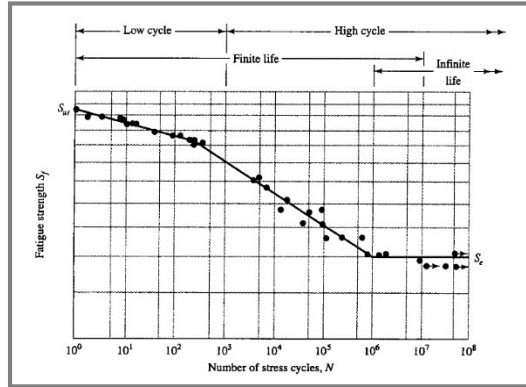
ระเบียบวิธีวิจัย

ในการออกแบบที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายนั้น โดยปกติแล้วความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนจะไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุถ้าเป็นวัสดุประเภทเหนียวเราจะสนใจค่าความต้านทานแรงดึงคลาก (Yield Strength) เพราะที่ค่านี้นี้โลหะจะเริ่มต้นเปลี่ยนรูปร่างถาวรอันจะทำให้ชิ้นส่วนเกิดการเสียหาย จากการทดสอบการล้าของวัสดุโลหะที่มีรอบอายุการใช้งานต่ำประมาณ 10^3 ถึง 10^6 รอบ สามารถประเมินอายุการใช้งานได้จาก สมการทั่วไปของความล้าดังสมการที่ (1) (Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett., 2011)

$$S_f = a \cdot N_f^b \quad (1)$$

เมื่อ a, b = ค่าคงที่เนื่องจากการล้า, S_f = ความต้านทานการล้า, N_f = จำนวนรอบการล้า,

ความสัมพันธ์ของ Stress เทียบกับจำนวนรอบของการรับโหลดซ้ำๆ ที่นำไปสู่ความเสียหายหรือที่เรียกว่า S-N Curve แสดงดังภาพที่ 1 โดย S-N Curve ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Low Cycle และ High Cycle โดยทั่วไป Low Cycle กำหนดที่ต่ำ 10,000 Cycle ตามรูป ลักษณะของเส้นกราฟจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ เมื่อเราได้ข้อมูล S-N Curve เราจะใช้ข้อมูลนี้ไปเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ต่อไป

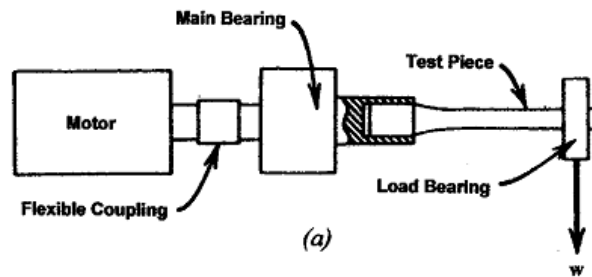


ภาพที่ 1 แผนภาพ S-N ของโลหะ

ที่มา : Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett. (2011)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

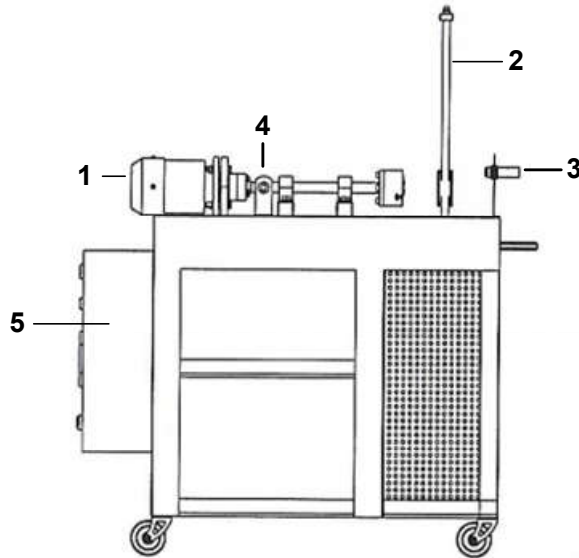
การทดสอบความล้าก็มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะความเค้นเปลี่ยนแปลงที่ทดสอบแต่วิธีที่ทดสอบได้สะดวกและนิยมซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้คือวิธีการทดสอบความล้าของ Wöhler แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งเรียกตามลักษณะการจับยึดชิ้นทดสอบ คือปลายของชิ้นทดสอบข้างหนึ่งจะถูกจับบนหัวจับที่หมุน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะมีแรงกด (H. O. Fuchs and R. I. Stephens, 1980) ดังนั้นเมื่อชิ้นทดสอบเปลี่ยนกลับไปกลับมาจะระหว่างความเค้นดึงกับความเค้นอัดการทดสอบวิธีนี้ใช้ทดสอบกับวัสดุหลายประเภทและที่ระดับความเค้นต่าง ๆ กัน หลักการทำงานของเครื่องทดสอบความล้าก็คือ การให้ปลายของชิ้นงานทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับมอเตอร์เพื่อให้เกิดการหมุน ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะประกอบเข้ากับ Bearing และรับแรงจากตุ้มน้ำหนักเมื่อชิ้นงานหมุนจะทำให้จุดบนผิวชิ้นงานได้รับแรงดึงและแรงกดสลับกันไปทำให้เกิดความล้าภายในชิ้นงานจากนั้นทำการพล็อตข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดังกล่าว



ภาพที่ 2 การทดสอบความล้าแบบ Wöhler

ที่มา : H. O. Fuchs and R. I. Stephens (1980)

โครงสร้างของเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัด (Rotary bending fatigue tester machine) แสดงภาพที่ 3 ตามมาตรฐาน JIS Z2274 (JIS Z 2274, 1978) สามารถที่จะเป็นแนวทางในการกำหนดอุปกรณ์หลักๆ ของเครื่องทดสอบความล้า (Fatigue test machine) ได้ดังนี้คือชุดมอเตอร์ขับ (Driving unit) ชุดรับภาระ (Loading unit) ชุดเซนเซอร์หยุดทำงานอัตโนมัติ (Automatic stopping unit) ชุดเซนเซอร์นับจำนวนรอบ (Counting unit)



1) ชุดมอเตอร์ขับ 2) ชุดรับภาระ 3) ชุดเซนเซอร์หยุดทำงานอัตโนมัติ 4) ชุดเซนเซอร์นับจำนวนรอบ 5) ชุดควบคุมหลัก
ภาพที่ 3 โครงสร้างของเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัด

วัสดุทดลองและวิธีการวิจัย

สำหรับชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบความล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัดนี้ คือวัสดุเหล็ก St37 ชิ้นงานมีความยาว 170 มิลลิเมตรทำการกลึงลดขนาดตามมาตรฐาน JIS Z2274 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตรงกึ่งกลางเท่ากับ 8 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบจริงแสดงดังภาพที่ 4 กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนชุดขับเคลื่อนครั้งที่ 2800 รอบต่อนาที กำหนดภาระที่กระทำและปรับเปลี่ยนภาระที่กระทำที่ปลายคานเพื่อนำไปพล็อตกราฟ S-N Curve ต่อไป



ภาพที่ 4 ชิ้นงานทดสอบเหล็ก St37 ตามมาตรฐาน JIS Z2274

ผลการวิจัย

1. การทดสอบคุณสมบัติทางกลของเหล็ก St37

ผลการทดสอบค่า Yield Strength และค่า Tensile Strength ของเหล็ก St37 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่า Yield Strength และ ค่า Tensile Strength ของเหล็ก St37

คุณสมบัติทางกล	ชิ้นงานทดสอบเหล็ก St37			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ค่า Yield Strength (MPa)	455	430	449	445
ค่า Tensile Strength (MPa)	677	673	679	676
ค่า Elongation (%)	20.3	18.0	19.3	19.2

ผลการทดสอบการวัดชั้นแข็งลึกของเหล็ก St37 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองวัดชั้นแข็งลึกของเหล็ก St37

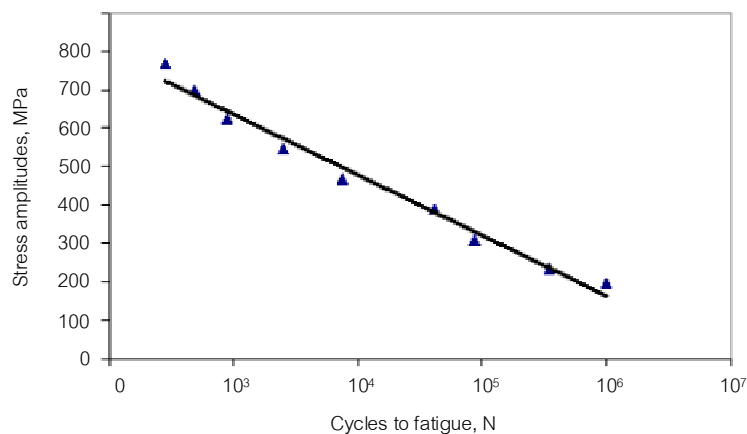
วัสดุทดสอบ	ผลการทดสอบวัดชั้นแข็งลึก (HRB)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก St37	91.2	92.0	92.3	91.7	91.8

2. การทดสอบความล้า

การทดสอบความล้าของเหล็ก St37 ด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบโมเมนต์ดัดโดยการปรับเปลี่ยนน้ำหนักจนกระทั่งเกิดความเสียหายของวัสดุทำให้สามารถทราบแนวโน้มความเสียหายจากผลการทดสอบความล้าถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและจำนวนรอบที่เสียหายของชิ้นทดสอบถูกแสดงไว้ในภาพที่ 5

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความล้าของวัสดุทดสอบเหล็ก St37

น้ำหนัก (kg)	Stress amplitude (MPa)	Cycles to fatigue, N (รอบ)			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
10	195.17	1000000	1000000	1000000	1000000.00
15	234.00	385362	245697	419457	350172.00
20	209.66	55321	112858	93565	87248.00
25	390.00	45995	55297	22583	41291.67
30	468.00	6363	7786	8334	7494.33
35	546.00	3789	1499	2206	2498.00
40	624.00	918	858	891	889.00
45	699.08	377	588	480	481.67
50	767.00	258	315	274	282.33



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความล้าของเหล็ก St37

ตารางที่ 4 แสดงสมการความสัมพันธ์ของความล้าจากผลการทดสอบของเครื่องทดสอบที่พัฒนาขึ้นมา

วัสดุทดสอบ	สมการความสัมพันธ์ของความล้า	ค่า R-squared
เหล็ก St37	$Y = 1951.5 x^{-0.163}$	$R^2 = 0.9885$

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัดสำหรับห้องปฏิบัติ จากการวิจัยพบว่าสามารถทดสอบชิ้นงานเหล็ก St37 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 8 มิลลิเมตรได้ และความเร็รรอบของการหมุนขึ้นทดสอบประมาณไม่เกิน 3000 รอบต่อนาที ในการสร้างเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัดนี้ จะมีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และแสดงผลต่างๆเช่น จำนวนรอบของชิ้นทดสอบจะถูกนับจำนวนรอบด้วยเซนเซอร์สำหรับการนับจำนวนรอบ และจะส่งผลมาที่ตัวแสดงผลที่ติดอยู่บนอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเซนเซอร์สำหรับตัดการทำงานของชุดมอเตอร์ เมื่อทำการหมุนขึ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน โดยจะมีชุดแสดงผลเวลาเพื่อแจ้งเวลาที่ใช้ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มหมุนขึ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันด้วย

ในขั้นตอนการทดสอบนี้จะใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ในแต่ละชิ้นจะทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าที่ออกมาที่มีความถูกต้องมากที่สุด ชิ้นทดสอบจะถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบความล้าโดยตัวจับยึดชิ้นทดสอบที่ติดอยู่กับเพลามีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับ และที่ปลายอีกด้านของชิ้นทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดอุปกรณ์เพิ่มภาระให้กับชิ้นทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าชิ้นทดสอบที่รับภาระน้อยจะต้องใช้จำนวนรอบในการหมุนมากเพื่อจะทำให้ชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน และถ้าจำนวนรอบความเสียหายของชิ้นทดสอบเกินหนึ่งล้านรอบก็จะหยุดการทดสอบ

ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบหาความล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนตัด ชิ้นทดสอบ ขนาด และผิวชิ้นงาน จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานอย่างเคร่งครัดเพื่อให้ได้ค่าแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนส่งเสริมงานวิจัยสายสนับสนุนวิชาการประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ 61-07-20-21

เอกสารอ้างอิง

- วันทนาเกิดนิยม และอัศวิน ยอดรักษ์. (2552). การคาดการณ์ความเสียหายของรางรถไฟภายใต้แรงกระช้ำรอบจากผลการวิเคราะห์ของไฟไนต์เอลิเมนต์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสยาม, 10(2), 36-25.
- สยาม แก้วคำไสย์. (2553). รูปแบบความเสียหายของวัสดุ : การล้า (Fatigue) .[ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562]. จาก : <http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/06/fatigue.html>
- H. O. Fuchs and R. I. Stephens. (1980). **Metal Fatigue in Engineering**. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- JIS Z 2274: 1978. (1978). **Method of Rotating Bending Fatigue Testing of Metals**. Japanese Industrial Standards: Tokyo, Japan.
- Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett. (2011). **Shigley's Mechanical Engineering Design**. 9thed. New York : McGraw-Hill Companies, Inc.

การเตรียมไม้เทียมจากพลาสติก และเส้นใยมะพร้าว

สิงหนเดช แดงจวง, ปัญจพล เพ็ญสามารถ, สายฝน ชาลี, เขาวลิต วันเสาร์,

นพดล บุญยรัตพันธุ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จ.อุดรดิตถ์

e-mail: newton2509@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตและศึกษาวัสดุไม้พลาสติกคอมโพสิต (WPCs) ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) และเส้นใยมะพร้าว เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้ง เส้นใยมะพร้าวถูกเก็บรวบรวมจากท้องถิ่นในจังหวัดอุดรดิตถ์ โดยจะนำ LLDPE และเส้นใยมะพร้าวมาผสมกันในอัตราส่วน 100:0 95:5 90:10 และ 85:15 โดยน้ำหนัก ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ในเตาอบไฟฟ้า หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ทดสอบหาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงดึง และ แรงกระแทกตามมาตรฐานของ ASTM ผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ของไม้พลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง และแรงกระแทก มีค่าลดลงตามปริมาณสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของเส้นใยมะพร้าว

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก, LLDPE, เส้นใยมะพร้าว, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติเชิงกล

Preparation of Artificial Wood From Plastic and Coir Fiber

singhadej tangjuank¹, panjapon pearsamart¹, sayfon chalee¹, chaowarit wansao¹
noppadol bunyarattaphan¹,

¹Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand
E-mail; newton2509@yahoo.com

Abstract

This research was preparing of wood plastic composites (WPCs) material from linear low density polyethylene (LLDPE) and coir fiber to obtain an environmentally friendly artificial wood for structural application. Coir fiber was collected from a local in Uttaradit province. The wood plastic composites mixtures were pretreated at various weight ratios of LLDPE and coir fiber which were 100:0, 95:5, 90:10, and 85:15. The mixed materials were manufactured by flat-pressed method at temperatures 170 °C for 40 mins in an electric oven. The density, water absorption, tensile and impact strength of the WPCs samples produced were determined according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) method. The experimental results were found that water absorption and density increased whereas tensile strengths and impact strengths decreased by the ratio of coir fiber which increased.

Keywords: wood plastic composites, LLDPE, coir fiber, physical properties, mechanical properties

บทนำ

วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก (wood plastic composites : WPCs) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างมากมาใน ปัจจุบันทั่วโลก ทั้งในยุโรป อเมริกา หรือแม้แต่ในเอเชียรู้จักในชื่อทั่วไปว่า “ไม้เทียม” โดยไม้พลาสติกเป็นการนำเอาความรู้ของ วงการไม้ และวงการพลาสติกมารวมกันทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง การ นำไปใช้หลักๆของ WPCs ก็คือ อุตสาหกรรมยานยนต์ ด้านโครงสร้างสำหรับการก่อสร้างที่อยู่อาศัย เฟอร์นิเจอร์ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและ สินค้าอุปโภคบริโภค (Clemons, 2002, Garcia et al., 2009 และ Stark et al., 2010) โดยทั่วไปแล้วไม้ซึ่งประกอบด้วยไฟเบอร์จะใช้เป็นวัสดุเสริมแรง (reinforcing material) นอกจากการใช้ไม้เป็นวัสดุเสริมแรง แล้ว จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการประยุกต์ใช้วัสดุอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสนำมาสร้างไม้เทียม เช่น ฟางข้าวสาลี ฟางลินิน ช้างข้าวโพด ก้านพริกไทย ก้านดอกทานตะวัน เปลือกถั่วลิสง หญ้า เป็นต้น (Buyuksari et al., 2010, Bektas et al., 2005, Nemli et al., 2009) ส่วนพลาสติกเป็นองค์ประกอบหลักหรือ เมทริกซ์ (matrix) หากมองในภาพรวมแล้วการเพิ่ม ไม้ลงไปในพลาสติกเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่ต้องการใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมี กระบวนการผลิต สารเติมแต่งที่เลือกใช้ และสัดส่วนของไม้และพลาสติก ต่างก็มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้ พลาสติกทั้งสิ้น พลาสติกมีหลายประเภท ได้แก่พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีน (PE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิแลคติก แอซิด (PLA) และพอลิสไตรีน (PS) เป็นต้น แต่พลาสติกที่นิยมมาใช้ทำ WPCs กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่พลาสติกประเภท PP PE และ PVC พลาสติกเหล่านี้เป็นเทอร์โมพลาสติก เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมตัวเป็นของเหลวหนืดและกลายเป็นของแข็ง เมื่อปล่อยให้เย็นลง จากสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถเติมวัสดุอื่น ๆ ลงไปผสมกับพลาสติกก่อนการขึ้นรูปเพื่อออกแบบเป็น ผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบ (composite) โดยมีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้เช่น สามารถทนทานต่อแสงแดดและฝน มีสีสันทน ลวดลายหลากหลาย หรือสามารถทาสีได้ตามความต้องการ ปลอดภัยจากการรุกรานของปลวก เป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น และมีน้ำหนักเบาขึ้น เป็นต้น (Pascal et al., 2004, Najafi et al., 2006) ประกอบกับปัจจุบันทั่วโลกมีการใช้ไม้ในการทำ โครงสร้างสำหรับการก่อสร้างที่อยู่อาศัย และเฟอร์นิเจอร์ ปริมาณมากทั้งนี้เนื่องจากไม้มีความสวยงาม มีความแข็งแรง แต่มี ข้อเสียบางประการ เช่นผุง่าย ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม ดูดความชื้นได้ดี ถูกทำลายง่ายจากปลวกและมอด ทำให้ไม้มีอายุการ ใช้งานจำกัด บางชนิดมีราคาแพง จึงทำให้มีการตัดไม้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นไม้มีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว และส่งผล กระทบให้เกิดภาวะโลกร้อน และเช่นเดียวกันก็มีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมัน พืช ภูเขาพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชน ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากการใช้งานแล้ว กลายเป็นขยะจำนวนมาก โดยชนิดของพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ได้แก่ พลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE), Low Density Polyethylene (LLDPE, LDPE) และ Polypropylene (PP) เหล่านี้ทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อโลก และปัญหาต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกวัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลิต WPCs. จากเส้นใยมะพร้าวมาใช้แทนไม้จริงในการเป็น ส่วนประกอบของไม้เทียม จึงช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า และเป็นการเพิ่มทางเลือกอีกทางหนึ่งของการใช้ไม้เทียมเป็นวัสดุที่ นำมาใช้ทดแทนไม้ได้ เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส และเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมากในท้องถิ่นของ ประเทศไทย การนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าเส้นใยมะพร้าวให้นำมาใช้ประโยชน์ให้หลากหลายขึ้น สำหรับ พลาสติกใช้พลาสติกประเภทความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene; LLDPE) หรือถ่วงย่น ได้แก่ ถุงพลาสติกใส่อาหาร ใส่ผลไม้ และพวกถุงหิ้วใส่ของต่างๆ ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน และทิ้งเป็นขยะที่ สลายตัวช้ามากเป็นหลายร้อยปี และกำจัดได้ยากเป็นการสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง การนำพลาสติกมาใช้เป็น ส่วนประกอบของไม้เทียมจึงเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกและเพิ่มมูลค่าในการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ ประโยชน์ได้อีกได้อีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของ WPCs. จาก LLDPE และเส้นใยมะพร้าว มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนระหว่าง LLDPE และเส้นใยมะพร้าว ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของ WPCs
2. เพื่อใช้เส้นใยมะพร้าว และ LLDPE ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการลดขยะจากพลาสติก และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้
3. เพื่อนำเส้นใยมะพร้าวและLLDPE มาผลิตเป็นไม้เทียมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

ระเบียบวิธีวิจัย

สาระสำคัญจะเป็นการกล่าวถึงกระบวนการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะเริ่มต้นจากวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองเริ่มตั้งแต่กระบวนการการผสมวัสดุด้วยเครื่องผสม ตามอัตราส่วนที่กำหนด เมื่อได้วัสดุผสมแล้วจึงนำไปเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือ กระบวนการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยการอัดแผ่น (flat-pressed method) เมื่อได้ชิ้นงานแล้วจึงนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 LLDPE ได้มาจากถุงพลาสติกที่หาซื้อจากร้านสรรพสินค้า แล้วนำมาตัดย่อยก่อนเข้าเครื่องปั่นเพื่อให้วัสดุมีขนาดเล็กกลงโดย LLDPE จะทำหน้าที่เป็นส่วนของเมทริกซ์ให้กับวัสดุเชิงประกอบ

1.2 เส้นใยมะพร้าวได้จากท้องถิ่นในจังหวัดอุดรดิตถ์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น โดยเส้นใยมะพร้าวจะทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ

1.3 เครื่องปั่นใช้เป็นเครื่องผสมเพื่อให้วัสดุเข้าผสมรวมตัวกันตามอัตราส่วนที่ต้องการ และมีขนาดเล็กพอที่สามารถนำไปหลอมเบื้องต้น และทำเป็นชิ้นงานได้

1.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

1.5 แบบพิมพ์ขึ้นงาน

1.6 เตารอบไฟฟ้า

1.7 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) ใช้ทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง

1.8 เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Basic Pendulum Impact, BPI) ทดสอบการดูดซับพลังงานกระแทกโดยการทดลองเป็นแบบ Izod

1.9 ถูมือกันความร้อนใช้สำหรับหยิบชิ้นงานหรือแม่พิมพ์ขณะที่มีอุณหภูมิสูง

2. การขึ้นรูปขึ้นงาน

นำวัสดุ LLDPE และ เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการผสมในอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 แล้วใส่แบบพิมพ์เพื่อขึ้นรูปโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเตารอบไฟฟ้า เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มา ตัดตามขนาดมาตรฐาน ASTM ต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล

3. การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

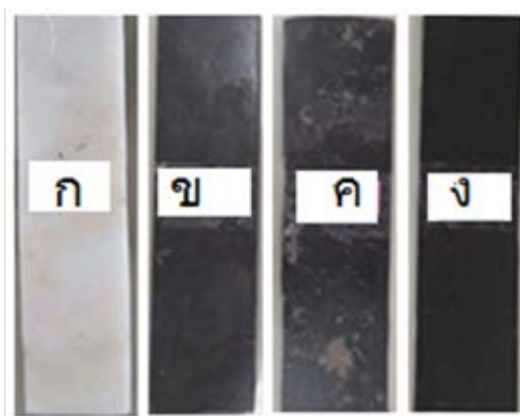
การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพประกอบด้วย การหาค่าความหนาแน่น ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D792 และการทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570

4. การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแรงดึง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 และแรงกระแทกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256

ผลการวิจัย

WPCs. เตรียมที่อัตราส่วน LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100 :0 , 95:5, 90:10, 85:15 นำมาอัดขึ้นรูปโดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดแผ่น ในแบบพิมพ์ขนาด 8 x 30 x 0.4 เซนติเมตร ได้ชิ้นงานดังภาพที่ 1 และถูกนำมาทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล ได้ค่าต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 1



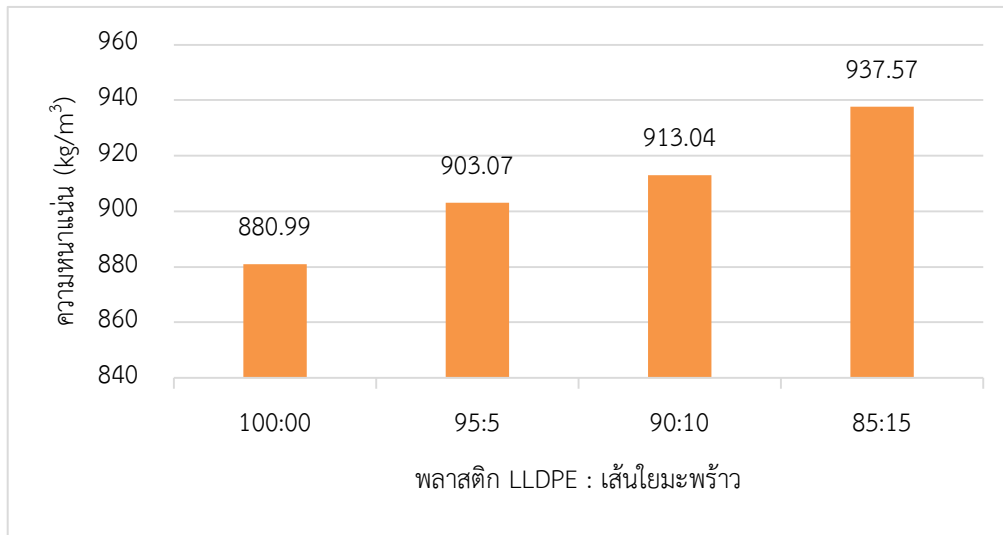
ภาพที่ 1 ชิ้นงานที่เตรียมจากการขึ้นรูป LLDPE : เส้นใยมะพร้าว ก.100 :0 ข. 95:5 ค. 90:10 ง. 85:15

ตารางที่ 1 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกลของ WPCs.

LLDPE : เส้นใยมะพร้าว	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การดูดซึมน้ำ (%)	แรงดึง (MPa)	แรงกระแทก (KJ/m ²)
100:0	880.99	0.00	169.00	40.75
95:5	903.07	0.30	16.60	14.71
90:10	913.04	0.38	15.84	13.44
85:15	937.57	0.93	8.22	10.36

1. ความหนาแน่น

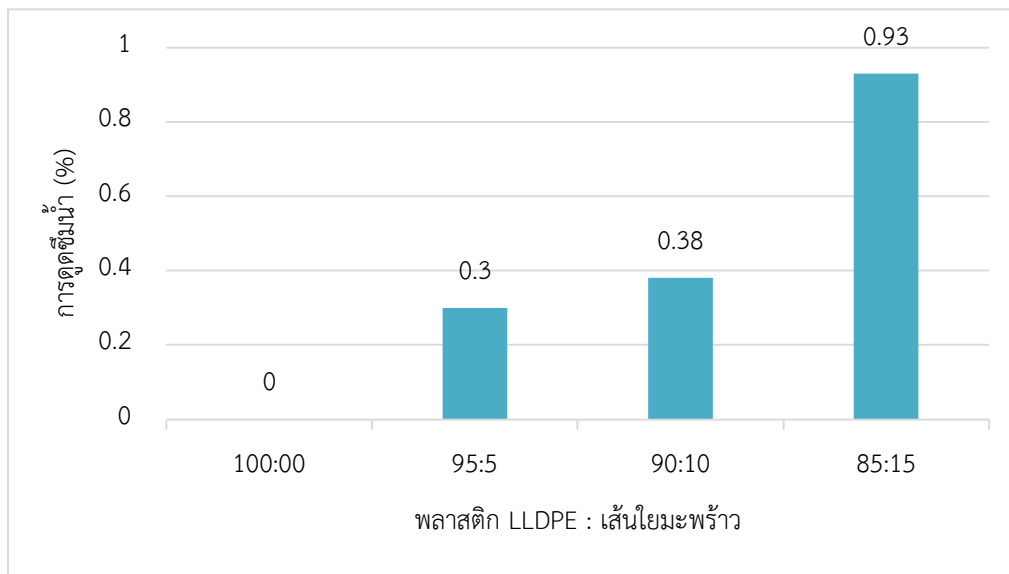
การทดสอบความหนาแน่น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D792 พบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2. โดยที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีความหนาแน่น 880.99, 903.07, 913.04, 937.57 kg/m³ ตามลำดับ



ภาพที่ 2 การทดสอบความหนาแน่นของ WPCs

2. การซึมน้ำ

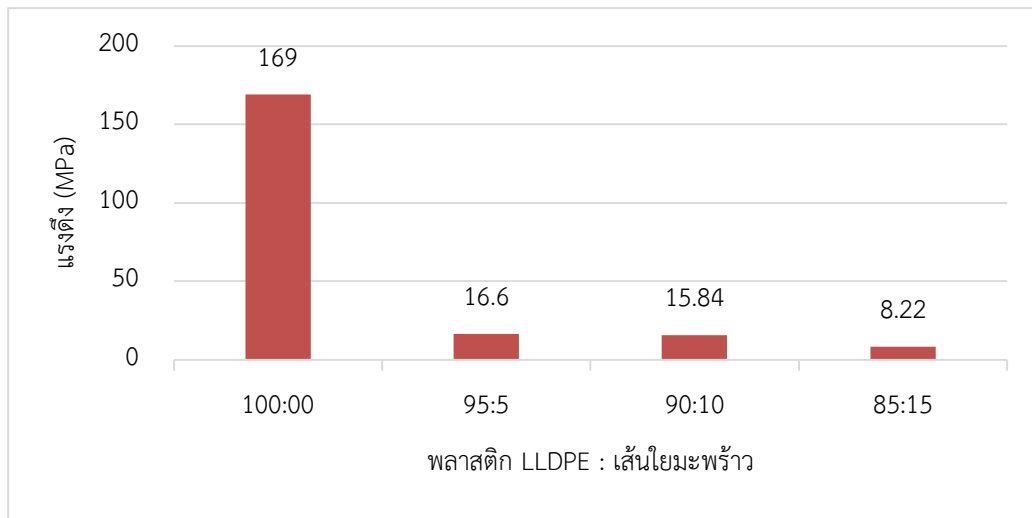
สำหรับการทดสอบการซึมน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การซึมน้ำ ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3. โดยที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว = 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีค่าเปอร์เซ็นต์การซึมน้ำ 0, 0.30, 0.38 และ 0.93 % ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การทดสอบการซึมน้ำของ WPCs.

3. ความแข็งแรงดึง

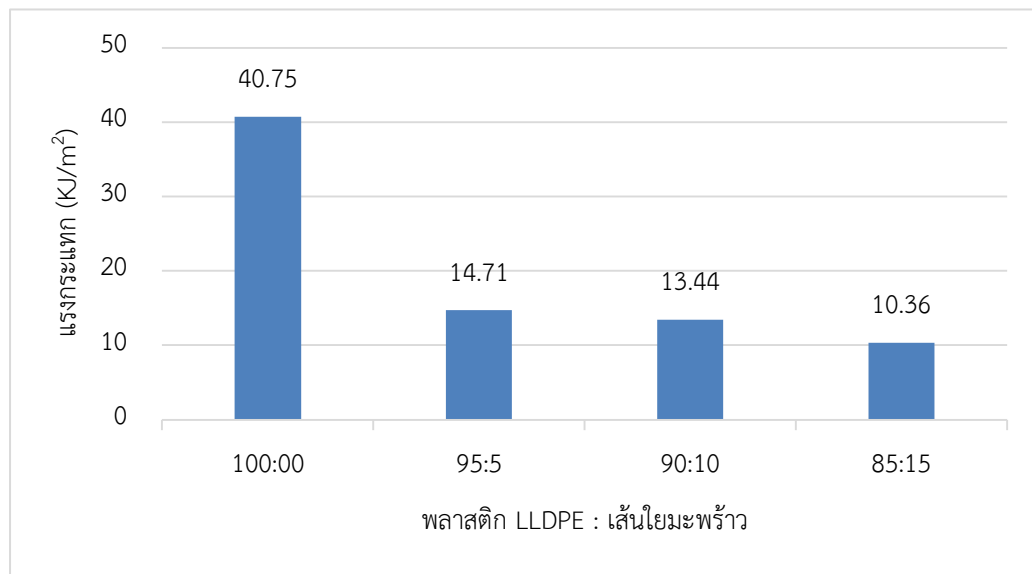
การทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4 โดยที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีค่าความแข็งแรงดึง 169, 16.60, 15.84, และ 8.22 MPa ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การทดสอบความแข็งแรงดึงของ WPCs.

4. แรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 พบว่าค่าแรงกระแทกของชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 5 โดยที่ พลาสติก LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0 , 95:5 , 90:10 , 85:15 มีค่าแรงกระแทก 40.75, 14.71, 13.44 และ 10.36 kJ/m² ตามลำดับ



ภาพที่ 5 การทดสอบแรงกระแทกของ WPCs.

สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น โดยที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีความหนาแน่น 880.99, 903.07, 913.04, 937.57 kg/m³

ตามลำดับ แสดงว่าขณะที่ LLDPE หลอมละลายปริมาณของเส้นใยมะพร้าวจำนวนมากเข้าไปแทรก และสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์มีมากขึ้น จึงทำให้รูพรุนหรือช่องว่างในพอลิเมอร์เมทริกซ์มีจำนวนลดลง ดังนั้นชิ้นงานจึงมีความหนาแน่นมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Mohammed et al., (2013) และ Kazayawoko et al., (1999) ที่พบว่าระหว่างการขึ้นรูป WPCs. ที่อุณหภูมิสูง ไฟเบอร์ธรรมชาติ (ผงซีลี้อย) จะปลดปล่อยไอน้ำขณะที่พลาสติกสลายตัวจะให้การประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย และนำไปสู่การเกิดช่องว่างภายใน และรูพรุน และเช่นเดียวกับ Chen et al., (2006) เตรียม WPCs. จากพลาสติกความหนาแน่นสูง (HDPE) และอนุภาคไม้ที่เหลือทิ้ง รายงานว่าอนุภาคของไม้ที่เล็กๆเช่นผงซีลี้อยจะทำให้พื้นผิว WPCs. บางขึ้น และทำให้เกิดอัตราส่วนการอัดแน่นได้สูงกว่าจึงเป็นผลให้ WPCs มีความหนาแน่นสูงขึ้น

สำหรับการทดสอบการซึมน้ำพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น โดยที่ LLDPE :เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีค่าเปอร์เซ็นต์การซึมน้ำ 0, 0.30, 0.38 และ 0.93 % ตามลำดับ จากรายงานการวิจัยของ Clemons, (2002) กล่าวว่าองค์ประกอบของไม้โดยธรรมชาติแล้วเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน จัดเป็นหมู่หมู่ไฮดรอกซิลซึ่งพร้อมที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้เป็นอย่างดีโดยเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับโมเลกุลน้ำ ดังนั้นเมื่อเส้นใยมะพร้าวไม่มีปริมาณมากขึ้นจึงมีปริมาณพันธะมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถดูดซับน้ำได้เป็นอย่างดีในระหว่างการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำเช่นเดียวกันผลนี้สอดคล้องกับการรายงานการวิจัยของ Xiang et al., (2014), Chen et al., (2016), Rahman et al., (2013) และ Adhikary et al., (2008) ที่เตรียมวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติก และอนุภาคไม้

การทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกพบว่าค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น โดยที่ LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 มีค่าความแข็งแรงดึง 169, 16.60, 15.84, และ 8.22 MPa ตามลำดับ จากรายงานการวิจัยของ Shibata et al., (2002) และ Rahman et al., (2013) กล่าวว่าอนุภาคไม้ซึ่งก็เป็นไฟเบอร์ (fiber) และตามปกติจะมีคามอดูลัสสูงกว่าพอลิเมอร์หรือเมทริกซ์อยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อวัสดุ WPCs. ได้รับแรงเค้น (stress) จะทำให้การส่งผ่านความเค้นระหว่าง 2 ภูมิภาค ก็คือ อนุภาคไม้ และ เมทริกซ์ ได้ไม่ดีทำให้เกิดช่องว่างที่บริเวณรอยต่อระหว่างภูมิภาคจึงเป็นจุดเริ่มของการแตกหัก ดังนั้นเมื่อเส้นใยมะพร้าวปริมาณมากขึ้นจึงทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของภูมิภาคเมทริกซ์ จึงมีรอยต่อภูมิภาคหรืออินเตอร์เฟซที่ไม่แข็งแรงเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การต้านแรงดึงลดลง นอกจากนี้เส้นใยมะพร้าวที่แทรกตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ปริมาณมากทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายโอนความเค้นระหว่างไฟเบอร์ (เส้นใยมะพร้าว) และเมทริกซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ความแข็งแรงดึงลดลง ผลนี้สอดคล้องกับการรายงานการวิจัยของ Xiang et al., (2014) ที่เตรียมวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติกความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และ ฝั่มบด (wood flour)

การทดสอบแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกพบว่าค่าแรงกระแทกของชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น โดยที่ พลาสติก LLDPE : เส้นใยมะพร้าว 100:0 , 95:5 , 90:10 , 85:15 มีค่าแรงกระแทก 40.75, 14.71, 13.44 และ 10.36 kJ/m² ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวที่แทรกตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ปริมาณมากทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศมากขึ้น (เส้นใยมะพร้าวเป็นเซลลูโลสจึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี) และสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในเส้นใยมะพร้าวแทนที่จะมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายเซลลูโลสด้วยกันเองจึงทำให้มีช่องว่างเล็กๆเกิดขึ้นระหว่างไฟเบอร์และเมทริกซ์ และก่อให้เกิดจุดแตกหักเล็กๆ (microcracks) เกิดขึ้นใน WPCs. เมื่อมีแรงมากระแทกจึงมีผลทำให้มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกมีค่าลดลง ผลนี้สอดคล้องกับการรายงานการวิจัยของ Xiang et al. (2014) และนอกจากนี้จากการวิจัยของ Chen et al., (2006), Raj et al., (1998) และ Rahman et al., (2013) พบว่าการกระจายตัวที่ไม่เป็นระเบียบของวัสดุเซลลูโลสจะส่งผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกลของ WPCs. กล่าวคือเมื่อวัสดุเซลลูโลสมีปริมาณมากขึ้นความสามารถในการเชื่อมต่อนของเมทริกซ์ก็จะลดลงมากขึ้น จึงส่งผลให้ WPCs. เกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ยังต้องมีข้อปรับปรุง และการทดสอบอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อให้การวิเคราะห์ผลที่ครอบคลุมเพียงพอ และให้ งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำในอนาคตดังนี้

1. ในงานนี้การเตรียมอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบ 3 อัตราส่วนยังไม่ครอบคลุมพอ ควรจะเพิ่มอัตราส่วนขึ้น เป็น 5 อัตราส่วน จึงจะได้ผลการเปรียบเทียบที่ครอบคลุมและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. ควรมีการวิเคราะห์ Thermogravimetric เพื่อจะได้ผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ องค์ประกอบ ขณะเมื่อได้รับความร้อน

3. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติการต้านการลามไฟ โดยการเติมสารหน่วงไฟชนิดต่างๆ และสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ความชื้น การหดตัว ความต้านทานการตัดโค้ง ความแข็งแรง การทนไฟ ความเป็นฉนวน การนำความร้อน ความ ยืดหยุ่นของตะปูเกลียว เป็นต้น เพื่อจะได้ข้อมูลการวิจัยไม้เทียมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

ดังนั้นในการวิจัยการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก (WPCs) หรือไม้เทียมในครั้งนี้อยู่โดยการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งทำให้ประหยัดพลังงาน และลดมลภาวะ นอกจากนี้การใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นองค์ประกอบของ ไม้เทียม จึงเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไม้เทียม และยังสามารถนำไปใช้ในทาง อุตสาหกรรมด้านโครงสร้างในการก่อสร้าง และเฟอร์นิเจอร์ หรืออื่นๆ ที่ใช้แทนไม้ธรรมชาติได้อย่างดีและเพิ่มรายได้ทาง เศรษฐกิจอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์สำหรับสถานที่ในการทำวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยผ่านมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับผลการวิเคราะห์ สมบัติเชิงกล จนโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Adhikary, KB., Pang, S., Staiger, MP.(2008). Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Compos Part B* 39, 807
- Bektas, I., Guler, C., Kalayciolu, H., Mengeloglu, F., Nacar, M. (2005). The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and poplar wood (*Populus alba* L.). *J Compos Mater* 39, 467.
- Buyuksari, U., Ayrilmis, N., Avci, E., Koc, E. (2010). Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones. *Bioresour Technol* 101, 255.
- Chen, HC., Chen, TY., Hsu CH. (2006). Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. *Holz Roh Werkst* 64, 172.
- Clemons, C. (2002). Wood-plastic composites in the United States: the interfacing of two industries. *Forest Prod J* 52, 10.
- Garcia, M., Hidalgo, J. (2009). Garmendia I. Wood-plastics composites with better fire retardancy and durability performance. *Compos A* 40, 1772.

- Kazayawoko, M., Balatincez JJ., Matuana, LM. (1999). Surface modification and adhesion mechanisms in wood fiber–polypropylene composites. *J Mater Sci* 34(24), 6189.
- Mohammed, A., Maher, M. (2013). Palm leave and plastic waste wood composite for out-door Structures. *Construction and Building Materials* 47, 1431.
- Najafi, SK., Tajvidi, M., Chaharmahli, M. (2006). Long-term water uptake behavior of lignocellulosic- high density polyethylene composites. *J Appl Polym Sci* 102, 3907.
- Nemli, G., Demirel, S., Gümükaya, E., Aslan, M., Acar, C. (2009). Feasibility of incorporating waste grass clippings (*Lolium perenne* L.) in particleboard composites. *Waste Manage* 29, 1129.
- Pascal KD., Jiang, H., Cui W., Freed J., Matuana, LM. (2004). Properties of wood plastics composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. *Compos Part A* 35, 347.
- Rahman, KS., Islam, MN., Rahman, MM., Hannan, MO., Dungani, Khalil HPS. (2013). Flat- pressed wood plastic composites from coir fiber and recycled polyethylene terephthalate (PET): physical and mechanical properties. *SpringerPlus* 2, 629.
- Raj, RG., Kokta, BV., Maldas, D., Daneault, C. (1998). Use of wood fibers in thermoplastics. VII. The effect of coupling agents in polyethylene- wood fiber composites. *J Appl Polym Sci* 37, 10893
- Shibata, M., Takachiyo, K., Ozawa, K., Yosomiya, R., Takeishi, H. (2002). Biodegradable polyester composites reinforced with short abaca fiber. *J Appl Polym Sci* 85, 129.
- Stark, NM., White, RH., Mueller, SA., Osswald, TA. (2010). Evaluation of various fire retardants for use in wood flour– polyethylene composites. *Polym Degrad Stab* 95, 1903.
- Xiang, L., Bingrong, L., Zhidan, L., Langhuan, H., Shaozao, T., Xiang, C. (2014). The utilization of bamboo charcoal enhances wood plastic composites with excellent mechanical and thermal properties, *Materials and Design*. 53, 419.

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง กรณีศึกษา: โรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่

อภิฤดี ตันทเวทิกิจ^{1,a}, วรณี มังคละศิริ^{1,b}, จิตติ มังคละศิริ^{2,c}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

email: ^aapirudee.t@gmail.com, ^bpworanee@engr.tu.ac.th, ^cjitti_mungkalasiri@nstda.or.th

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อการประกอบกิจการในหลายๆภาคส่วน ด้วยเหตุนี้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงออกพระราชกฤษฎีกาส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 เพื่อกำหนดให้โรงงานและอาคารควบคุม ดำเนินการจัดการพลังงานอย่างเป็นขั้นตอนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการลดใช้พลังงานและลดต้นทุนการประกอบกิจการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อโรงพยาบาลในการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงอีกด้วย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่แห่งหนึ่งและนำมาวิเคราะห์ประเมินหาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อกำหนดมาตรการที่ใช้เงินลงทุนและไม่ใช้เงินลงทุนในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุนเกิดจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของบุคลากร ลดเวลาการทำงานของอุปกรณ์เครื่องจักร ลดจำนวนของอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็น การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการเดินเครื่องจักร จะทำให้เกิดผลประหยัด 1,798,355.05 kWh/ปี คิดเป็น 8.60% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า และมาตรการที่ใช้เงินลงทุนเกิดจากการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง จะทำให้เกิดผลประหยัด 8,533,149.68 kWh/ปี คิดเป็น 40.82% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า

คำสำคัญ: การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, ผลประหยัดพลังงาน, โรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่, เงินลงทุน

Evaluation of Energy Conservation Potential in Air Conditioning and Lighting Systems

Case Study: Large Government Hospital

Apirudee Tentawechakit^{1, a}, Woranee Mungkalasiri^{1, b}, Jitti Mungkalasiri^{2, c}

¹Faculty of Engineering, Thammasat University, Bangkok, Thailand

²National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Klong Luang, Pathumthani, Thailand

E-mail; ^aapirudee.t@gmail.com, ^bpworanee@engr.tu.ac.th, ^cjitti_mungkalasiri@nstda.or.th

Abstract

The energy crisis impact to business operations in many sectors. For this reason, the Department of Alternative Energy Development and Efficiency has issued the Energy Conservation Promotion Act (revision 2) B.E. 2550 (2007) to make designated factories and designated buildings perform energy management in a step-by-step for maximum energy efficiency. For achieves the goal of reducing energy use and reducing operating costs.

This research aims to present energy conservation solution that are beneficial in a large government hospital in the maximum efficient use of energy and energy costs reduction, by collecting energy consumption data, evaluating energy conservation potential. Non-investment measures and investment measures was defined in order to improve air conditioning systems and lighting systems. The result reveals that most non-investment measures come from changing personnel behaviors, reducing the working time of machine equipment, reducing the number of unnecessary devices, adjusting the operating time. These measures result in energy saving 1,798,355.05 kWh/year, accounting for 8.60% of electricity consumption. Furthermore, investment measures come from the use of new technology to apply, modify major equipment with high efficiency. These measures result in energy saving 8,533,149.68 kWh/years, accounting for 40.82% of electricity consumption

Keywords: evaluation of energy conservation potential, energy saving, large government hospital, investment

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ และการขับเคลื่อนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น สัดส่วนการพึ่งพามีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจในประเทศ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงการจัดการพลังงานในอนาคต ด้วยวิกฤตการณ์พลังงานนี้ ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเม็ดเงินจำนวนมากในการจัดการแหล่งพลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการผลิตและการใช้พลังงานภายในประเทศ นอกจากนี้ราคาพลังงานที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เป็นภาระต่อผู้ใช้พลังงาน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการประกอบกิจการของทุกภาคส่วน อย่างไรก็ตามรัฐบาลเล็งเห็นว่า ในอนาคตปัญหาเรื่องราคาพลังงาน การแย่งชิงทรัพยากรพลังงานระหว่างประเทศ และปัญหาสิ่งแวดล้อม จะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งท้ายที่สุดก็จะส่งผลกระทบต่อสวัสดิภาพของประชาชนและความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2554 – 2573 กระทรวงพลังงาน, 2554) ทำให้ผู้เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนจำเป็นต้องหันมาให้ความสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับการดำเนินกิจการ

ภาคอาคารธุรกิจถือเป็นภาคเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนของประเทศ อีกทั้งยังมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “อาคารประเภทโรงพยาบาล” ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาคารที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงเป็นลำดับต้นของกลุ่มอาคารธุรกิจ เนื่องจากมีการให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง เป็นส่วนใหญ่ และมีการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองต่อกิจกรรมการให้บริการทางการแพทย์ ตลอดจนถึงอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ แก่ผู้เข้ามาใช้บริการ อีกทั้งยังมีแนวโน้มการเพิ่มของอัตราความต้องการใช้พลังงานตามการเติบโตทางเศรษฐกิจและความต้องการบริการด้านสาธารณสุขของประเทศ (เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) อาคารประเภทโรงพยาบาล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) จากข้อมูลโรงพยาบาลของรัฐและเอกชนในประเทศไทยมีทั้งหมด 1,323 แห่ง แบ่งเป็นโรงพยาบาลของรัฐ 1,015 แห่ง และเป็นโรงพยาบาลของเอกชน 308 แห่ง (จำนวนโรงพยาบาลของรัฐและเอกชน สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล องค์การมหาชน, 2560) ในอนาคตคาดว่าโรงพยาบาลจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของประชากร เพื่อรองรับการให้บริการด้านสาธารณสุข ซึ่งการเพิ่มขึ้นของโรงพยาบาลจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ จากการศึกษางานวิจัยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง (เทอดไทย นาครักษ์, 2554, ชมพูนิกข์ นามสุวรรณ, 2557) พบว่า สามารถทำให้เกิดผลประหยัดได้จริงและเป็นประโยชน์ต่อโรงพยาบาลในการนำไปประยุกต์ใช้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร ประเภทโรงพยาบาลกรณีศึกษา โรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 เพื่อประเมินศักยภาพและวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในโรงพยาบาล พร้อมทั้งค้นหามาตรการที่ใช้เงินลงทุนและไม่ใช้เงินลงทุนในระบบที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และศึกษาผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยการประเมินระยะเวลาคืนทุนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้เงินลงทุน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อค้นหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่
2. เพื่อศึกษาผลตอบแทนความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยการประเมินระยะเวลาคืนทุนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่
3. เพื่อให้คำแนะนำและนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่

ระเบียบวิธีวิจัย

1. สํารวจและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ข้อมูลอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงพยาบาล โดยทำการศึกษาตั้งแต่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 ธันวาคม 2561 และใช้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี พ.ศ.2561 ในการเปรียบเทียบร้อยละผลประหยัดที่เกิดขึ้น
2. วิเคราะห์และประเมินหาสัดส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องจักรที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานในโรงพยาบาล
3. วิเคราะห์และประเมินหาค่าศักยภาพแนวทางมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้เงินลงทุนและไม่ใช้เงินลงทุนในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง โดยในแต่ละระบบจะพิจารณา ดังนี้

ระบบปรับอากาศ

(1) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$COP = \frac{Q (kW)}{W (kW)}$$

(2) ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$EER = \frac{Q (btu/hr)}{W (Watt)}$$

(3) ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$\text{ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น} = \frac{kW}{TON}$$

(4) กฎของเครื่องสูบน้ำ Affinity Law หรือ Pump Law สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล (Q)} &\propto \text{ความเร็วรอบ}^1 (N) \\ \text{เฮด (H)} &\propto \text{ความเร็วรอบ}^2 (N) \\ \text{กำลังงาน (P)} &\propto \text{ความเร็วรอบ}^3 (N) \end{aligned}$$

เมื่อ

Q	คือ	อัตราการไหล (lite/s หรือ Gallons Per Minute: GPM)
N	คือ	ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (RPM)
H	คือ	เฮดหรือแรงดัน (m)
P	คือ	กำลังไฟฟ้า (kW หรือ Hp)

ระบบแสงสว่าง

(1) ความส่องสว่าง (Illuminance) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$\text{Illuminance} = \frac{\text{Luminous Flux (lm)}}{\text{Area (m}^2\text{)}}$$

(2) ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ (คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

$$\text{Luminous Efficacy} = \frac{\text{Luminous Flux (lm)}}{\text{Area (Watt)}}$$

4. วิเคราะห์และประเมินผลประหยัดการลดใช้พลังงาน รวมไปถึงผลตอบแทนความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน วิเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PP) และการวิเคราะห์ผลประหยัดจะใช้อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ พ.ศ.2558-2560 เท่ากับ 3.74 บาท/kWh ในการประเมินค่าใช้จ่ายต้นทุนด้านพลังงาน วิเคราะห์โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ผลประหยัดที่เกิดขึ้น (บาท/ปี)} = \text{พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (บาท/ปี)} - \text{พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง (บาท/ปี)}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน Payback Period (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุน (บาท)}}{\text{ผลประหยัดที่เกิดขึ้น (บาท/ปี)}}$$

5. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัย

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลของรัฐ พบว่า ระบบปรับอากาศจะมีนัยสำคัญที่สุด เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงถึง 62% ระบบแสงสว่าง 20% และระบบอื่นๆ 18% ตามลำดับ ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานในโรงพยาบาลจึงมุ่งเน้นไปที่ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง เนื่องจากมีศักยภาพสูงในการอนุรักษ์พลังงาน และเห็นผลอย่างเป็นรูปธรรม

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุน ในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่

ระบบปรับอากาศ

มาตรการที่ 1 ปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศจาก 23 เป็น 25 องศาเซลเซียส

โรงพยาบาลมีการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ในพื้นที่สำนักงานและแผนกต่างๆ จำนวนหลายชุดและมีการเปิดใช้งานเป็นเวลาโดยเฉลี่ย 16 ชั่วโมงต่อวัน 260 วันต่อปี จากการตรวจสอบการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ พบว่า มีการตั้งอุณหภูมิของ Thermostat โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 23°C ซึ่งจะทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ไม่ค่อยตัดการทำงาน เกิดการสูญเสียพลังงานในระบบเกินความจำเป็น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศด้านคอยล์เย็น จะทำให้ค่า COP ดียิ่งขึ้น (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) กระทรวงพลังงาน, 2553) ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้โดยที่เปอร์เซ็นต์คอมเพรสเซอร์จะลดลงมีการตัดต่อมากขึ้น ซึ่งสามารถประหยัดพลังงาน 890,595.35 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 3,330,826.62 บาท/ปี

มาตรการที่ 2 ลดชั่วโมงการเปิดเครื่องปรับอากาศ 1.15 ชั่วโมง เวลา 11.45 -13.00 น. ฝ่ายสำนักงาน

โรงพยาบาลมีการใช้เครื่องปรับอากาศ มากกว่า 1,000 เครื่อง ในส่วนสำนักงาน ซึ่งเปิดใช้งานตั้งแต่เวลา 8.30-16.30 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน 260 วันต่อปี จากการเก็บข้อมูลพบว่าลักษณะการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนสำนักงาน มีการเปิดใช้ตลอดช่วงเวลาทำงาน ถึงแม้ในขณะที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานในช่วงพักเที่ยง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น ดังนั้น แนวทางการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมปิดเครื่องปรับอากาศ 1.15 ชั่วโมง ช่วงพักเที่ยง สามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ 164,377.67 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 614,772.49 บาท/ปี

มาตรการที่ 3 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำและกำหนดเวลาเปิดใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 550 ตัน อาคาร C

อาคาร C มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประเภทเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 550 ตัน จะสลับกันเปิดใช้งาน วันละ 1 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 365 วันต่อปี จากการสำรวจ เก็บข้อมูลพบว่ามีการปรับตั้งค่าน้ำเย็นอยู่ที่ 44°F ตลอดเวลาการทำงาน และในพื้นที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ย 22-24°C ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศให้อยู่ในช่วง 25-26°C ได้โดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงเวลา 8.00 น. - 18.00 น. อยู่ที่ 46°F และช่วงเวลา 18.00 น. - 08.00 น. อยู่ที่ 48°F เป็นการปรับเปลี่ยนเวลาการเดินเครื่องจักรให้เหมาะสม ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศด้านคอยล์เย็น จะทำให้ค่า COP ดียิ่งขึ้น (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) กระทรวงพลังงาน, 2553) ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 273,627.12 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,023,365.43 บาท/ปี

มาตรการที่ 4 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำของเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 100 ตัน อาคาร B

อาคาร B มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 100 ตัน จะสลับกันเปิดใช้งาน วันละ 1 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 365 วันต่อปี จากการสำรวจมีการปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นต่ำกว่าความจำเป็น โดยพื้นที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 23-24°C ทำให้สูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเพิ่มขึ้น จาก 44°F เป็น 45°F ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศด้านคอยล์เย็น จะทำให้ค่า COP ดียิ่งขึ้น (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) กระทรวงพลังงาน, 2553) จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 8,825.70 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 33,008.12 บาท/ปี

ระบบแสงสว่าง

มาตรการที่ 1 ลดเวลาการทำงานของระบบแสงสว่าง 1 ชั่วโมงต่อวัน

โรงพยาบาลมีการใช้งานระบบแสงสว่างในส่วนสำนักงานเป็นจำนวน มากกว่า 10,000 หลอด เปิดใช้งานตั้งแต่ 8.30-16.30 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน 260 วันต่อปี จากการเก็บข้อมูลพบว่าลักษณะการใช้งานระบบแสงสว่างส่วนสำนักงาน มีการเปิดใช้งานตลอดช่วงเวลาทำงาน ถึงแม้ในขณะที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานในช่วงพักเที่ยง ดังนั้นแนวทางการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมปิดไฟ 1 ชั่วโมง ช่วงพักเที่ยง จะสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ 272,209.60 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,018,063.90 บาท/ปี

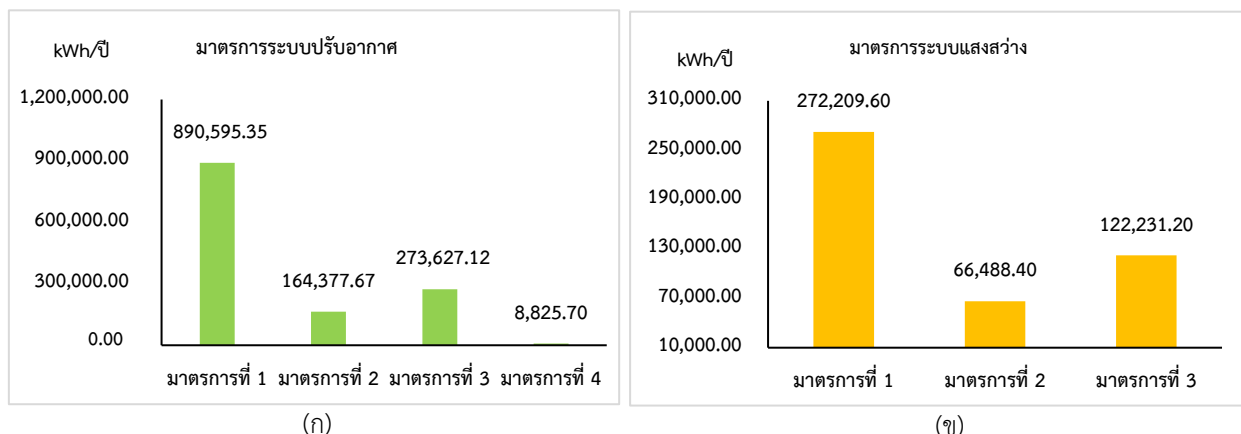
มาตรการที่ 2 ลดเวลาการทำงานของหลอดไฟที่ไม่จำเป็นในอาคารลานจอดรถ ใช้แสงธรรมชาติแทนการใช้หลอดไฟ

ในอาคารจอดรถของโรงพยาบาล จำนวน 6 ชั้น มีการใช้ระบบแสงสว่าง จำนวน 648 หลอด เปิดใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี จากการสำรวจเก็บข้อมูลอาคารจอดรถเป็นอาคารที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติส่องผ่านในบางพื้นที่รอบกรอบอาคาร ซึ่งมีศักยภาพความสว่างมากพอโดยที่ไม่จำเป็นต้องเปิดไฟ ดังนั้นแนวทางการปรับลดเวลาการทำงานของหลอดไฟรอบกรอบอาคารที่แสงสว่างจากธรรมชาติสามารถส่องผ่านได้ จากเดิมเปิด 24 ชั่วโมงต่อวัน ลดเหลือ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 330 หลอด จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 66,488.40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 248,666.62 บาท/ปี

มาตรการที่ 3 ลดจำนวนการทำงานของหลอดไฟที่เกินความจำเป็น ในบริเวณโรงอาหาร

โรงอาหารในโรงพยาบาล มีการใช้งานระบบแสงสว่าง จำนวน 105 หลอด เปิดใช้งานตั้งแต่เวลา 5.30 - 19.30 น. เป็นเวลา 14 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี โดยการติดตั้งหลอดไฟลูออเรสเซนต์ เรียงติดกันเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น

ดังนั้นแนวทางการลดจำนวนโหลดไฟที่ไม่จำเป็น จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 122,231.20 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 457,144.69 บาท/ปี



ภาพที่ 2 ผลประหยัดของมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุน (ก) ระบบปรับอากาศ และ (ข) ระบบแสงสว่าง

จากภาพที่ 2 มาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุนเกิดจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ลดเวลาการทำงานของอุปกรณ์เครื่องจักร ลดจำนวนของอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็น รวมไปถึงการบริหารจัดการการเดินเครื่องจักร แนวทางนี้สามารถประหยัดพลังงานในภาพรวมได้ 1,798,355.05 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 8.60% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เท่ากับ 6,725,847.87 บาท/ปี โดยจากการประเมินมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุนในระบบปรับอากาศ พบว่า มาตรการที่ 1 สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 890,595.35 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 4.26% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า รองลงมา คือ มาตรการที่ 3 มาตรการที่ 2 และมาตรการที่ 4 ตามลำดับ โดยหากมีการดำเนินการครบทุกมาตรการจะสามารถประหยัดพลังงานได้ เท่ากับ 1,337,425.85 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 6.40% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เท่ากับ 5,001,972.66 บาท/ปี และจากการประเมินมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุนในระบบแสงสว่าง พบว่า มาตรการที่ 1 สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 272,209.60 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 1.30% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า รองลงมา คือ มาตรการที่ 3 และมาตรการที่ 2 ตามลำดับ โดยหากมีการดำเนินการครบทุกมาตรการจะสามารถประหยัดพลังงานได้ เท่ากับ 460,929.20 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 2.20% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เท่ากับ 1,723,875.21 บาท/ปี

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานมาตรการที่ใช้เงินลงทุน ในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่
ระบบปรับอากาศ

มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง Magnetic Oil Free Chiller ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 100 ตัน อาคาร A

อาคาร A มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประเภทเครื่องอัดแบบลูกสูบ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 100 ตัน มีอายุการใช้งาน 25 ปี จะสลับกันเปิดใช้งาน วันละ 1 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 365 วัน ต่อปี จากการตรวจวัดพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากมีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน ขาดการดูแล บำรุงรักษา ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องลดลง ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานในการทำน้ำเย็นสูงขึ้น ดังนั้นจึงพิจารณาเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อทดแทนเครื่องเก่า ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 643,050.72 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 2,405,009.69 บาท/ปี เงินลงทุน 10,488,000.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 4.36 ปี

มาตรการที่ 2 เปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง Magnetic Oil Free Chiller ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 100 ตัน อาคาร B

อาคาร B มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ประเภทเครื่องอัดแบบลูกสูบ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 100 ตัน มีอายุการใช้งาน 20 ปี จะสลับกันเปิดใช้งาน วันละ 1 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 365 วันต่อปี จากการตรวจวัดพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากมีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน ขาดการดูแลบำรุงรักษา ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องลดลง ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นสูงขึ้น อีกทั้งมีการชำรุดบ่อยครั้งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง ดังนั้นจึงพิจารณาเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อทดแทนเครื่องเก่า ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 359,629.92 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,345,015.90 บาท/ปี เงินลงทุน 10,800,000.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 8.03 ปี

มาตรการที่ 3 เปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง Magnetic Oil Free Chiller ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 550 ตัน อาคาร C

อาคาร C มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประเภทเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 550 ตัน เมื่อปี 2561 ทางโรงพยาบาลได้ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ 1 เครื่อง เหลืออีก 2 เครื่อง ที่มีอายุการใช้งาน 19 ปี จะสลับกันเปิดใช้งาน วันละ 1 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 365 วันต่อปี จากการตรวจวัดพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากมีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน ขาดการดูแลบำรุงรักษา ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องลดลง ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นสูงขึ้น ดังนั้นจึงพิจารณาเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อทดแทนเครื่องเก่า ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 2,361,476.04 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 8,831,920.39 บาท/ปี เงินลงทุน 22,632,000.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.56 ปี

มาตรการที่ 4 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่มอเตอร์ปั๊มน้ำเย็น Chilled Water Pump : CHP และปั๊มน้ำหล่อเย็น Condenser Water Pump : CDP ของเครื่องทำน้ำเย็น อาคาร C

ในการพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่มอเตอร์ปั๊มน้ำของระบบเครื่องทำน้ำเย็นนั้น จากการสำรวจพบว่า อาคาร A และ อาคาร B มีการติดตั้งปั๊มน้ำในขนาดเล็กเมื่อเทียบกับอาคาร C ซึ่งหากพิจารณาลำดับความสำคัญของการลงทุน จะพบว่า อาคาร C มีนัยสำคัญมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้อาคาร C เป็นกรณีศึกษาในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

อาคาร C มีการใช้ระบบเครื่องทำน้ำเย็น โดยมีมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็น CHP ขนาด 55 kW จำนวน 2 ชุด และปั๊มน้ำหล่อเย็น CDP ขนาด 45 kW จำนวน 2 ชุด สลับกันเปิดใช้งาน 1 ชุด จากการเก็บข้อมูลระบบถูกออกแบบให้มีขนาดทำความเย็นพิกัดมากกว่าภาระการทำงานจริงทำให้มีอัตราการไหลของน้ำเกินกว่าความต้องการทำให้มีการใช้พลังงานไปอย่างสิ้นเปลือง ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่มอเตอร์ไฟฟ้าของ CHP และ CDP จะเป็นการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการภาระการทำงานทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้ากินไฟลดลงตามอัตราการไหลของน้ำที่ลดลง ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 286,149.33 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,070,198.49 บาท/ปี เงินลงทุน 1,121,360.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 1.05 ปี

มาตรการที่ 5 ติดตั้งเครื่องผลิตโอโซน สำหรับหอผึ่งน้ำเย็น จำนวน 1 ตัว

อาคาร C มีเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 550 ตัน จำนวน 3 ชุด โดยเปิดใช้งาน 1 เครื่องต่อวัน ร่วมกับหอผึ่งน้ำเย็น ขนาด 450 ตัน จำนวน 6 ชุด เปิดใช้งาน 2 ชุดต่อวัน ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 365 วันต่อปี ซึ่งระบบใช้สารเคมีในการปรับสภาพน้ำระบายความร้อน เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันและตะไคร่น้ำ มีค่าใช้จ่ายสำหรับการเติมสารเคมีทุกเดือน มีความยุ่งยากในการดูแลและจัดเก็บอาจจะทำให้เกิดปัญหากับคุณภาพของน้ำและการระบายความร้อนได้ อีกทั้งระบบเคมียังก่อให้เกิดการกัดกร่อนโลหะในระบบเครื่องทำน้ำเย็นอีกด้วย ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยใช้เทคโนโลยี Ozone Generator สำหรับ

หอยิ่งน้ำเย็น จะสามารถขจัดตะกอนและตะไคร่น้ำได้ดี ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถประหยัดพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นได้ 278,480.40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,041,516.70 บาท/ปี เงินลงทุน 2,900,000.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.78 ปี

มาตรการที่ 6 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง ชนิด Inverter

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลเครื่องปรับอากาศในโรงพยาบาล พบว่ามีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นจำนวนมาก โดยคิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 27% ของระบบปรับอากาศ ในปัจจุบันได้มีการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศไปบางส่วน และยังคงเหลือเครื่องปรับอากาศ ที่มีอายุการใช้งานที่มากกว่า 10 ปี จำนวน 126 เครื่อง ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง อีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง ชนิด Inverter ทดแทนของเดิม สามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ 633,156.37 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 2,368,004.82 บาท/ปี เงินลงทุน 5,904,794.95 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.49 ปี

มาตรการที่ 7 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง (สถานที่ห้องประชุม)

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลเครื่องปรับอากาศในโรงพยาบาล พบว่าสถานที่ห้องประชุมในโรงพยาบาล มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จำนวน 32 เครื่อง ที่มีอายุการใช้งาน 18 ปี เปิดใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 260 วันต่อปี ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง ทดแทนของเดิม สามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ 432,279.29 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 1,616,724.53 บาท/ปี เงินลงทุน 9,125,134.60 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5.64 ปี

มาตรการที่ 8 เปลี่ยนฟิลลิ่งหอยิ่งน้ำหล่อเย็น จำนวน 6 ชุด

จากการสำรวจ พบว่าแผ่นฟิลลิ่งของหอยิ่งน้ำหล่อเย็น ทั้ง 6 ชุด มีสภาพตะไคร่น้ำเกาะหนาสกปรกและขรุขระเป็นอย่างมาก ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง ส่งผลทำให้ระบบเครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนฟิลลิ่งหอยิ่งน้ำหล่อเย็น จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระบายความร้อนดีขึ้น การลดอุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์ จะทำให้ค่า COP ดียิ่งขึ้นดียิ่งขึ้น (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) กระทรวงพลังงาน, 2553) สามารถประหยัดพลังงานได้ 72,814.40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 272,325.87 บาท/ปี เงินลงทุน 480,000.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 1.76 ปี

ระบบแสงสว่าง

มาตรการที่ 1 เปลี่ยนหลอดไฟแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 22,760 หลอด

โรงพยาบาลมีการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็ก ซึ่งมีกำลังสูญเสีย 10 วัตต์ และ 8 วัตต์ จำนวน 22,760 หลอด ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหลอดไฟแอลอีดีที่มีการใช้พลังงานต่ำแต่ให้ประสิทธิภาพความส่องสว่างที่สูง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นการเปลี่ยนหลอดไฟแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 3,244,470.40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 12,134,319.30 บาท/ปี เงินลงทุน 8,313,140.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.69 ปี

มาตรการที่ 2 เปลี่ยนหลอดไฟ LED ห้องประชุมชั้น จำนวน 2,215 หลอด

โรงพยาบาลมีการใช้หลอดไฟที่ใช้พลังงานสูง จำนวน 2,215 หลอด ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหลอดไฟ LED ในหลายรูปแบบ ที่มีการใช้พลังงานต่ำแต่ให้ประสิทธิภาพความส่องสว่างที่สูง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟชนิดเก่า ดังนั้นการเปลี่ยนหลอดไฟ LED หลอดไฟชนิดเก่า จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 184,215.20 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 688,964.85 บาท/ปี เงินลงทุน 666,860.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.97 ปี

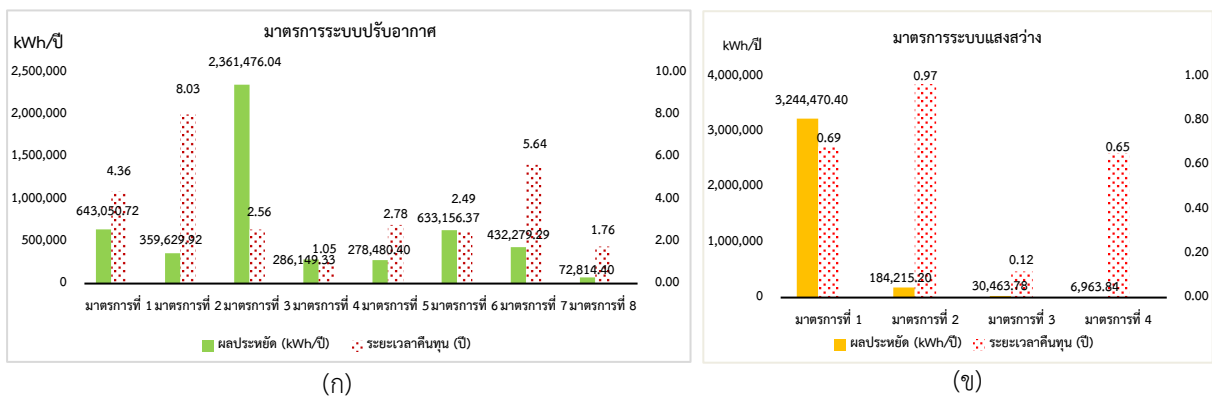
มาตรการที่ 3 ติดตั้ง Motion Sensor ลดชั่วโมงการใช้งานในห้องน้ำผู้ป่วย

ห้องน้ำในห้องผู้ป่วยมีการเปิดใช้งานระบบแสงสว่าง ตลอด 24 ชั่วโมง โดยขณะที่ไม่มีผู้ใช้งานระบบแสงสว่างยังคงเปิดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นการติดตั้ง Motion Sensor จะทำให้ลดชั่วโมงการเปิดใช้งานของ

หลอดไฟในเวลาที่ไม่ใช้งาน สามารถประหยัดพลังงานได้ 30,463.78 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 113,934.52 บาท/ปี เงินลงทุน 13,500.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.12 ปี

มาตรการที่ 4 การติดตั้งสวิตช์กระตุกลดชั่วโมงการใช้งานระบบแสงสว่าง

ส่วนสำนักงานมีการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการติดตั้งโคมไฟฟ้าตามการออกแบบเดิม การเปิด-ปิด จะใช้สวิตช์รวมกันเป็นกลุ่มแบ่งตามพื้นที่หรือโซน ทำให้เมื่อมีการปฏิบัติงานจำเป็นต้องเปิดไฟฟ้าแสงสว่างขึ้นทั้งโซน ถึงแม้จะมีความต้องการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อทำงานในบางพื้นที่เท่านั้น ก็ไม่สามารถที่จะเปิด-ปิดโคมไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ที่ต้องการหรือเฉพาะโต๊ะของพนักงานได้ ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นแนวทางการติดตั้งสวิตช์กระตุก จะช่วยให้ง่ายต่อการเลือกใช้ระบบแสงสว่างเฉพาะจุดที่ต้องการได้ สามารถประหยัดพลังงานได้ 6,963.84 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 26,044.76 บาท/ปี เงินลงทุน 17,050.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.65 ปี



ภาพที่ 3 ผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุนของมาตรการที่ใช้เงินลงทุน (ก) ระบบปรับอากาศ และ (ข) ระบบแสงสว่าง

จากภาพที่ 3 มาตรการที่ใช้เงินลงทุนเกิดจากการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง แนวทางนี้สามารถประหยัดพลังงานภาพรวมได้ 8,533,149.68 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 45.67% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เท่ากับ 31,913,979.82 บาท/ปี

มาตรการที่ใช้เงินลงทุนในระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างสามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ ผลประหยัดที่เกิดขึ้นและระยะเวลาคืนทุน ซึ่งจะสามารถจัดอันดับความสำคัญของมาตรการในการตัดสินใจลงทุนได้ หากพิจารณาผลประหยัดที่เกิดขึ้นในระบบปรับอากาศ พบว่า มาตรการที่ 3 ทำให้เกิดผลประหยัดมากที่สุด รองลงมา คือ มาตรการที่ 1 และ มาตรการที่ 6 ตามลำดับ หากพิจารณาระยะเวลาคืนทุน พบว่า มาตรการที่ 4 น่ำลงทุนมากที่สุดเนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด รองลงมา คือ มาตรการที่ 8 และมาตรการที่ 6 ตามลำดับ และในระบบแสงสว่าง พิจารณาผลประหยัดที่เกิดขึ้นพบว่า มาตรการที่ 1 ทำให้เกิดผลประหยัดมากที่สุด รองลงมา คือ มาตรการที่ 2 และมาตรการที่ 3 ตามลำดับ หากพิจารณาระยะเวลาคืนทุน พบว่า มาตรการที่ 3 น่ำลงทุนมากที่สุด รองลงมา คือ มาตรการที่ 4 และ มาตรการที่ 1 ตามลำดับ ทั้งนี้แล้วขึ้นอยู่กับผู้ลงทุนว่าจะพิจารณากรณีไหนเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อโรงพยาบาลมากที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง พบว่า มาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุนสามารถดำเนินการได้ทันที และมาตรการที่ใช้เงินลงทุนหากจะต้องดำเนินการควรพิจารณารายละเอียดผลประหยัดที่เกิดขึ้นและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในแต่ละมาตรการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุน และหากเมื่อดำเนินการครบทั้งหมดทุกมาตรการ จะสามารถทำให้โรงพยาบาลแห่งนี้ประหยัดพลังงานได้ เท่ากับ 10,331,504.73 kWh/ปี ซึ่งคิดเป็น 49.42% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาล เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจะ

สามารถลดลงได้ เท่ากับ 38,639,827.69 บาท/ปี นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยการจัดการพลังงานในโรงพยาบาลเจ้าพระยามรราช (ชมพูนิกซ์ นามสุวรรณ, 2557) ซึ่งมีการดำเนินการประหยัดพลังงาน 4 มาตรการ และได้ผลประหยัด 5.62% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาล ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยในบทความนี้มีผลประหยัดที่มากกว่า เนื่องจากขนาดของโรงพยาบาล และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลประหยัดที่สูงกว่า

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย พบว่ามาตรการที่ไม่ลงทุนนั้นสามารถดำเนินการได้ทันทีโดยไม่มีผลกระทบต่อการให้บริการทางการแพทย์ของโรงพยาบาล แต่ในส่วนของมาตรการที่ใช้เงินลงทุนนั้นต้องมีการพิจารณาผลตอบแทนความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจก่อนการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

- ข้อมูลจำนวนโรงพยาบาลในประเทศไทย ปี (2560).** สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน), สืบค้นเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม 2562, จากเว็บไซต์ https://www.ha.or.th/Content/EditorImage/files/Status_Hospital
- ชมพูนิกซ์ นามสุวรรณ (2557).** การจัดการพลังงานในโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลเจ้าพระยามรราช, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิทยาศาสตร์, สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
- สถิติพลังงาน.** สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562, จากเว็บไซต์ [http://www.eppo.go.th/eposite/index.php/th/energyinformation/staticenergy/staticelectricity?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/eposite/index.php/th/energyinformation/staticenergy/staticelectricity?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)
- คู่มือพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม (2552).** สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
- คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน (2560).** สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
- คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) (2553)** สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
- หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ (2550).** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, สืบค้นเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2562 จากเว็บไซต์ <http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm>
- เทอดไทย นาครักษ์. (2554).** การจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท
- แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 – 2573) (2554) .** กระทรวงพลังงาน, สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562, จากเว็บไซต์ http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP_Thai.pdf
- Cengel A. Yunus & Michael A. Boles (2011). **Thermodynamics: An Engineering Approach (7th Revised edition).** United States: McGraw-Hill.

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบ แนวตั้ง โดยใช้ลมทิ้งจากระบบกำจัดฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์

พิศาล ปานสุข^{1,a}, วรณี มังคละศิริ^{1,b}, จิตติ มังคละศิริ^{2,c}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

email: ^ap_pansook@hotmail.com, ^bpworanee@engr.tu.ac.th, ^cjitti_mungkalasiri@nstda.or.th

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตปูนกาวซีเมนต์ จะมีขั้นตอนการผลิตที่ก่อให้เกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องมีระบบกำจัดเพื่อ
จัดเก็บรวบรวมไม่ให้มีฝุ่นฟุ้งกระจายออกมาจากกระบวนการผลิต และจากแผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงาน
ทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 กระทรวงพลังงาน ทำให้ประเทศไทยมีข้อมูลพื้นฐานและเครื่องมือต่าง ๆ ให้กับผู้ประกอบการ
ใช้เป็นแนวทาง ในการนำพลังงานลมมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากำหนดพลังงานลมปล่อยทิ้งจาก ระบบดักจับฝุ่นชนิดถุงกรอง ในโรงงานผลิตปูนกาว
ซีเมนต์แห่งหนึ่งมาใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบแนวตั้ง โดยวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการติดตั้งกังหันลม พร้อมทั้ง
ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเลือกขนาดของกังหันลมแบบแนวตั้งให้เหมาะสมกับความเร็วลมจากปล่องลมทิ้ง ซึ่ง
จะเป็นประโยชน์กับองค์กรในการนำพลังงานลมทิ้งมาใช้ผลิตไฟฟ้า และเพื่อเป็นแนวทางให้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มี
เครื่องดูดฝุ่นหรือลมปล่อยทิ้งลักษณะเดียวกัน โดยผลการศึกษาเครื่องดูดฝุ่นชนิดถุงกรอง ขนาดของมอเตอร์ 50 แรงม้า และ
อัตราการไหลของอากาศที่ 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที เมื่อทำการวัดความเร็วลมที่ระยะห่างจากปลายปล่องในช่วงระยะ 1
ถึง 5 เมตร พบว่าที่ระยะห่าง 1 เมตร มีความเร็วลมทิ้งเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 7.90 เมตรต่อวินาที และผลการประเมินความคุ้มค่า
ทางเศรษฐศาสตร์ของกังหันลมแบบแนวตั้ง 3 ขนาด คือ 300 วัตต์, 500 วัตต์ และ 1,000 วัตต์ พบว่าระยะเวลาคืนทุนของ
กังหันแต่ละขนาดอยู่ที่ 6.84 ปี, 6.79 ปี และ 6.44 ปี ตามลำดับ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกังหันลมแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ
52,637 บาท, 61,939 บาท และ 102,145 บาท ตามลำดับ และอัตราผลตอบแทนภายในของกังหันแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ
10.16%, 10.51% และ 11.98% ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ควรติดตั้งกังหันที่ระยะห่างจากปลายปล่อง
ลมทิ้งที่ 1 เมตร โดยเลือกใช้กังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ เนื่องจากมีค่าระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
เป็นค่าบวกมากที่สุด และอัตราผลตอบแทนภายในเป็นค่าร้อยละมากที่สุด

คำสำคัญ: การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์, กังหันลมแนวตั้ง, ลมทิ้งจากระบบกำจัดฝุ่น, โรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์

Economic evaluation of power generation by vertical wind turbine from exhaust air of bag filter system in Tile Adhesive cement factory

Pisan Pansook^{1,a}, Woranee Mungkalasiri^{1,b}, Jitti Mungkalasiri^{2,c}

¹Faculty of Engineering, Thammasat University, Paholyothin Road, Klong Luang, Pathumthani, Thailand

²National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Paholyothin Road, Klong Luang, Pathumthani, Thailand

E-mail; ^ap_pansook@hotmail.com, ^bpworanee@engr.tu.ac.th, ^cjitti_mungkalasiri@nstda.or.th

Abstract

In the process of producing tile adhesives, some parts of the production process create a large amount of dust. In the production process, a bag filter system is used to collect and prevent dust to disperse from the production process. In addition, from the Development Plan of Renewal Energy and Alternative Energy Year 2015-2036, Ministry of Energy, this plan gives Thailand basic information and various tools for entrepreneurs. This information and tools could be used as guidelines in converting wind energy into electric energy.

Therefore, this research studied on using wind energy from a bag filter system in the tile adhesive producing factory. This energy would be used to produce electricity by vertical wind turbine. The factor influencing installation of wind turbines was analyzed. In addition, the economic worthiness was evaluated in order to select the suitable vertical wind turbine size for the wind speed received from the exhaust air pipe. This would be beneficial in utilizing exhaust air energy to generate electricity. This research could also be a guideline for industrial factories with bag filter system or exhaust air. The bag filter system with the motor size of 50 horse powers and the dust sucking rate of 25,000 cubic feet per minute is studied in this research. When measuring the wind speed at the pipe end between 1 to 5 meters, the results were found that the 1 meter distance had the maximum average wind speed of 7.90 meters per second. The economic worthiness evaluation of the vertical wind turbine was evaluated in 3 sizes including 300W, 500W and 1,000W. The results showed that the break-even point period of each wind turbine size were 6.84 years, 6.79 years and 6.44 years respectively. The current net prices of each turbine size were 52,637 THB, 61,939 THB and 102,145 THB respectively. The internal rate of return of each wind turbine size were 10.16%, 10.51% and 11.93% respectively. From this study, it could be concluded that the wind turbine should be installed at 1 meter from the exhaust air pipe end with a vertical wind turbine size of 1,000W because it had the fastest break-even point period with maximum positive value of current net price and maximum internal rate of return.

Keywords: economic worthiness evaluation, vertical wind turbine, exhaust air of bag filter system, tile adhesive cement factory

บทนำ

พลังงานลม เป็นพลังงานตามธรรมชาติซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้คือปัจจัยก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม หรือพลังงานลมอาจเกิดจากอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีความสามารถในการสร้างกระแสลมออกมาได้ เช่นเครื่องดูดฝุ่นขนาดใหญ่ ปัจจุบันได้มีการนำเอาพลังงานจากลมไปใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น กังหันลมสูบน้ำเพื่อการเกษตร และกังหันลมผลิตไฟฟ้า พลังงานลมเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งกลางวันและกลางคืนในขณะที่มีลม (วรรณช แจ็งสว่าง, 2551)

ในกระบวนการผลิตปูนกาวซีเมนต์ มีขั้นตอนของการผลิตที่ก่อให้เกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องมีระบบกำจัดฝุ่นเพื่อจัดเก็บรวบรวมไม่ให้มีฝุ่นฟุ้งกระจายออกมาจากกระบวนการผลิต โดยโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะมีการใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มีขนาดของมอเตอร์ 50 แรงม้า และอัตราการไหลของอากาศ 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) ซึ่งจากแผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 กระทรวงพลังงาน ทำให้ประเทศไทยมีข้อมูลพื้นฐานและเครื่องมือต่าง ๆ ให้กับผู้ประกอบการใช้เป็นแนวทาง ในการนำพลังงานลมมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาศักยภาพลมที่จากระบบดักจับฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์ดังกล่าว ที่เป็นเครื่องจักรหลักในการกักเก็บฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตกาวซีเมนต์ ซึ่งหากมีการนำลมที่มาใช้ผลิตไฟฟ้าก็จะส่งผลดีในการช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานของโรงงานนี้ได้ นอกจากนี้จากการศึกษางานวิจัยที่มีการศึกษาก่อนนำพลังงานลมมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า (ภารดี ไสภณรัตน์, 2551, นิสารัตน์ ศิริประภาภรณ์ และคณะ, 2553) พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำพลังงานจากลมมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า และควรมีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (พินิจนันท์ สามาอาพัฒนา และคณะ, 2558) ในการลงทุนด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบแนวตั้ง โดยใช้ลมที่จากระบบกำจัดฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์ เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาโครงการติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้ง และเพื่อเป็นแนวทางให้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีลมที่จากระบบดักจับฝุ่น มาใช้ผลิตไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการนำพลังงานลมที่จากโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์มาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า
2. วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการติดตั้งกังหันลม เพื่อเลือกขนาดของกังหันลมแบบแนวตั้งให้เหมาะสมกับความเร็วลมที่ได้จากปล่องลมที่จากระบบดักจับฝุ่นจากโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์ในการผลิตไฟฟ้า
3. วิเคราะห์ และประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนที่จะติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้า จากลมที่จากระบบดักจับฝุ่นในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติของกังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์ 500 วัตต์ และ 1000 วัตต์ ซึ่งเป็นกังหันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อเลือกขนาดให้เหมาะสมกับแรงลมที่จากระบบดูดฝุ่น ขนาด 50 แรงม้า และอัตราการไหลของอากาศ 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cubic feet per minute : CFM) ในโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์แห่งหนึ่ง
2. วิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบกังหันลม ได้แก่ ความเร็วลมจากปลายปล่องลมที่ระยะ 1 ถึง 5 เมตร
3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกังหันลมแบบแนวตั้งในการผลิตไฟฟ้า สำหรับโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์ โดยพิจารณาจาก ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
4. เลือกกังหันลมแบบแนวตั้งที่มีขนาดที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่กังหันผลิตได้ และค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณกำลังลม

กังหันลมสามารถวัดพลังงานที่มีอยู่ในลมได้ กังหันลมมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมยกกำลังสาม ดังนั้นถ้าความเร็วมีค่าเป็นสองเท่ากำลังลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นถึงแปดเท่า กำลังของลมสามารถหาได้จากสมการ (1) (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551)

$$W = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (1)$$

โดยที่ W คือ กำลังลม (วัตต์, W)

ρ คือ ความหนาแน่นของลม (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, kg/m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของใบพัด (ตารางเมตร, m^2)

V คือ ความเร็วลม (เมตร/วินาที, m/s)

การคำนวณโดยใช้สมการดังกล่าวข้างต้นจะตั้งสมมติฐานคือ สภาพของอากาศมีผลน้อยมากต่อกำลังไฟฟ้าที่กังหันผลิตได้ ดังนั้นการคำนวณกำลังลมอย่างง่ายแสดงได้ดังสมการ (2) (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551)

$$W = 0.625AV^3 \quad (2)$$

ประสิทธิภาพของกังหันลมสามารถแสดงได้ตามสมการ (3) ในรูปของสัมประสิทธิ์กำลังไร้หน่วย (C_p) ซึ่งนิยามตามสมการ (3) (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551)

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho V^3 A} \quad \text{หรือ} \quad C_p = \frac{P}{W} \quad \text{หรือ} \quad P = C_p W \quad (3)$$

โดยที่ P คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม (วัตต์, W)

จากทฤษฎีของ Betz ถ้าลมให้พลังงานมา 100% กังหันลมสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานทางกลได้สูงสุด 59.2 % จะได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไร้หน่วย (C_p) มีค่าเท่ากับ 0.592 (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551)

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณ ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}} \quad (4)$$

เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน หรือผลกำไรที่ได้รับจากการดำเนินงานแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ และทำการพิจารณาจำนวนปีที่ทำให้ผลประโยชน์สุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มค่างับจำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วก็จะเป็นผลดี เพราะความเสี่ยงน้อย เกณฑ์การตัดสินใจโดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในภาคธุรกิจ (วสุพร ตีวงาน, 2558)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการเพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (5)$$

โดยกำหนดให้

B_t = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราคิดลด (Discount rate)

n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และไม่ควรถูกลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบแสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน (วสุพร ตีวงาน, 2558)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (6)$$

โดยกำหนดให้

B_t = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

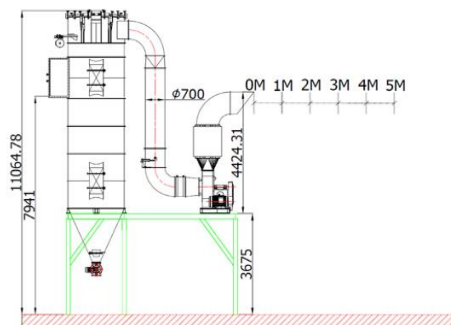
n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการ

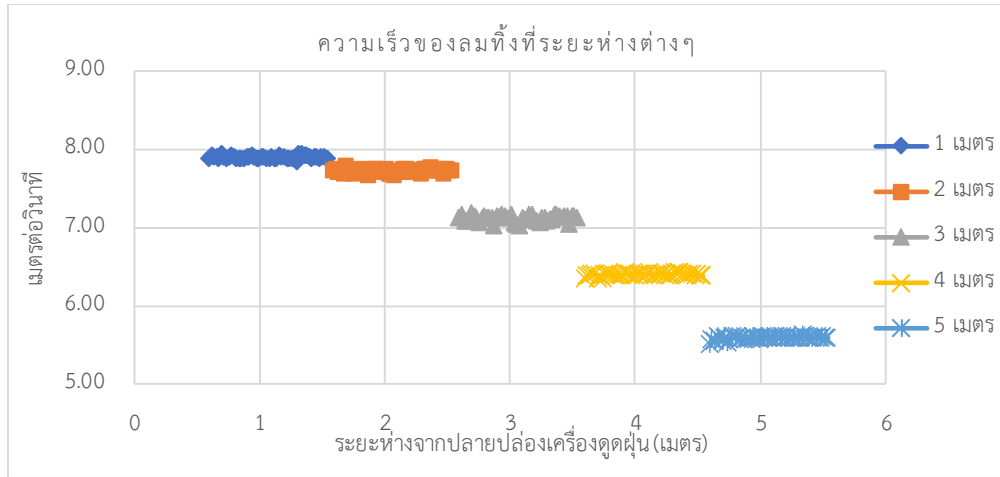
หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ หรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะยาวตามที่กฎหมายกำหนด แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน (วสุพร ตีวงาน, 2558)

ผลการวิจัย

การศึกษาความเร็วของลมที่จากระบบดักจับฝุ่นชนิดตุ้งกรอง โดยกำหนดรูปแบบในการวัดความเร็วของลมที่ปล่อยทิ้งจากเครื่องดูดฝุ่น ขนาด 50 แรงม้า ที่มีอัตราการไหลของลม 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที โดยวัดความเร็วลมบริเวณตรงกลางของปลายปล่องลมทิ้ง ที่ระยะ 1, 2, 3, 4 และ 5 เมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 โดยบันทึกข้อมูล ทุก 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากปลายปล่องสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



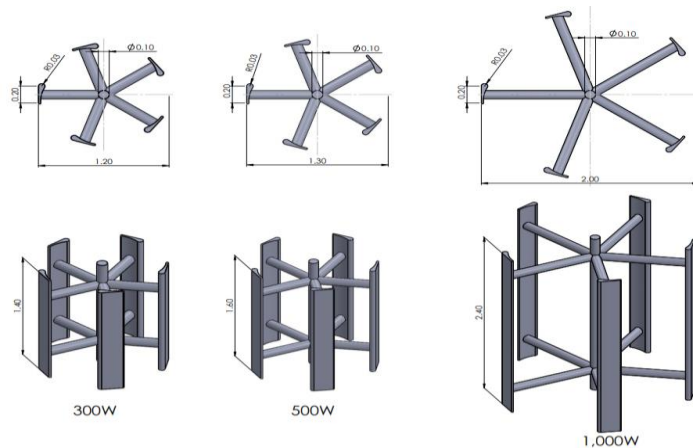
ภาพที่ 1 จุดที่ทำการวัดความเร็วลมจากปลายปล่องลมทิ้งของเครื่องดูดฝุ่นชนิดตุ้งกรอง ขนาด 50 แรงม้า



ภาพที่ 2 ความเร็วของลมทิ้งจากเครื่องดูดฝุ่นชนิดทรงกรงขนาด 50 แรงม้า ที่มีอัตราการดูดฝุ่น 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที

จากภาพที่ 2 พบว่าที่ระยะห่างจากปลายปล่องลมทิ้ง 1 เมตร มีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 7.95 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุดเท่ากับ 7.85 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 7.90 เมตรต่อวินาที ที่ระยะห่างจากปลายปล่องลมทิ้ง 2 เมตร มีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 7.77 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุดเท่ากับ 7.65 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 เมตรต่อวินาที ที่ระยะห่างจากปลายปล่องลมทิ้ง 3 เมตร มีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 7.19 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุดเท่ากับ 7.02 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 7.06 เมตรต่อวินาที ที่ระยะห่างจากปลายปล่องลมทิ้ง 4 เมตร มีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 6.43 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุดเท่ากับ 6.34 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมเฉลี่ย 6.40 เมตรต่อวินาที และระยะห่างจากปลายปล่องลมทิ้ง 5 เมตร มีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 5.63 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุดเท่ากับ 5.50 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมเฉลี่ย 5.59 เมตรต่อวินาที จากผลการศึกษพบว่า ที่ระยะห่างจากปลายปล่องของลมทิ้ง ที่ระยะ 1 เมตร มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 7.90 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมจะลดลงเมื่อมีระยะห่างจากปลายปล่องของลมทิ้งมากขึ้น โดยเกิดจากการปะทะกันของอากาศที่ออกมาจากปลายปล่องลมทิ้งกับอากาศที่อยู่ภายนอก เมื่อระยะทางมากขึ้นจึงทำให้ความเร็วของลมที่ออกมาจากปลายปล่องลดลง ซึ่งแปรผันตรง กับกำลังของลมตามสมการที่ (2) ดังนั้นจุดติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวตั้งควรจะเป็นจุดที่มีความเร็วลมเฉลี่ยมากที่สุดเพื่อให้ได้กำลังลมหรือกำลังไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

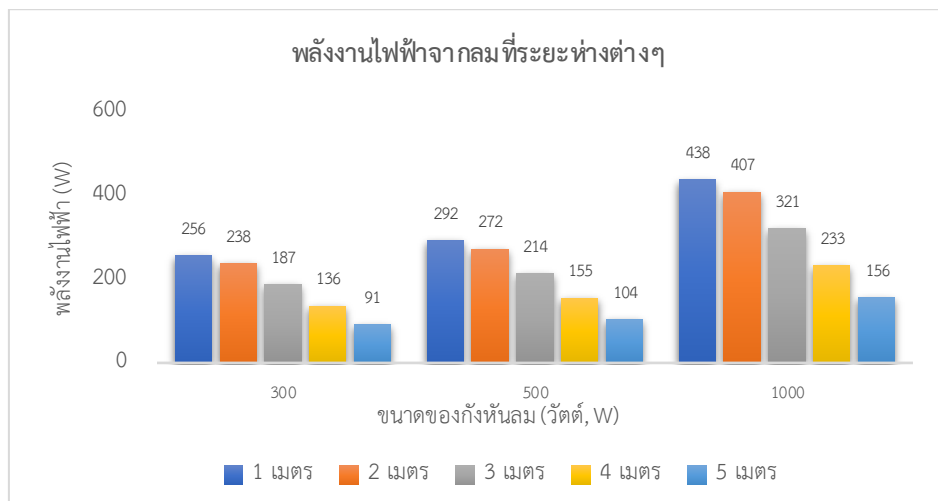
ผลการศึกษขนาดของกังหันลมแบบแนวตั้ง โดยทำการศึกษากังหันลมที่มีขายอยู่ในท้องตลาด 3 ขนาด คือ 300 วัตต์ 500 วัตต์ และ 1000 วัตต์ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปร่างและขนาดของกังหันลมแบบแนวตั้ง ขนาด 300 วัตต์ 500 วัตต์ และ 1000 วัตต์

จากภาพที่ 3 กังหันลมแบบแนวตั้ง ขนาด 300 วัตต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร ความยาวของใบกังหัน 1.4 เมตร มีจำนวนของใบกังหัน 5 ใบ และมีพื้นที่หน้าตัดที่รับลม (A) 1.4 ตารางเมตร กังหันลมขนาด 500 วัตต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เมตร ความยาวของใบกังหัน 1.6 เมตร มีจำนวนของใบกังหัน 5 ใบ และมีพื้นที่หน้าตัดที่รับลม (A) 1.6 ตารางเมตร และกังหันลมขนาด 1,000 วัตต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เมตร ความยาวของใบกังหัน 2.4 เมตร มีจำนวนของใบกังหัน 5 ใบ และมีพื้นที่หน้าตัดที่รับลม (A) 2.4 ตารางเมตร

ผลการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าจากความเร็วลมของลมทั้งจากปลายปล่องของเครื่องดูดฝุ่น พบว่าเมื่อนำค่าความเร็วเฉลี่ยของลมทั้งจากปลายปล่องของระบบดักจับฝุ่นขนาด 50 แร่งม้า ที่อัตราการไหลของลม 25,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อ นาที ที่ระยะห่าง 1, 2, 3, 4 และ 5 เมตร แทนลงในสมการที่ 3 จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจากลมในหน่วยวัตต์ โดยผลการศึกษานี้สามารถแสดงได้ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าจากลมกับระยะห่างจากปากปล่องลมทั้ง

จากภาพที่ 4 พบว่ากังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์ที่ระยะห่าง 1 เมตร จะมีพลังงานไฟฟ้าจากลมสูงสุดที่ 256 วัตต์ และลดลงเป็น 238, 187, 136, และ 91 วัตต์ ตามลำดับของระยะห่างจากปลายปล่องลมทั้ง กังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 500 วัตต์ที่ระยะห่าง 1 เมตร จะมีพลังงานไฟฟ้าจากลมสูงสุดที่ 292 วัตต์ และลดลงเป็น 272, 214, 155, และ 104 วัตต์ ตามลำดับของระยะห่างจากปลายปล่องลมทั้ง และกังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ที่ระยะห่าง 1 เมตร จะมีพลังงานไฟฟ้าจากลมสูงสุดที่ 438 วัตต์ และลดลงเป็น 407, 321, 233, และ 156 วัตต์ ตามลำดับของระยะห่างจากปลายปล่องลมทั้ง จากผลดังกล่าวจะพบว่า ที่ระยะห่าง 1 เมตร จะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าจากลมสูงที่สุดในทุกขนาดของกังหันลมแบบแนวตั้ง และกังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 740 วัตต์ โดยเป็นไปตามสมการคือ $P=0.625AV^3 C_p$ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าของลมจะแปรผันตรงกับพื้นที่รับลม และความเร็วลม จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะ 1 เมตร มีความเร็วลมเฉลี่ย 7.90 เมตรต่อวินาที กังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ มีพื้นที่รับลมมากที่สุดคือ 2.4 ตารางเมตร ส่งผลให้ได้กำลังลมมากที่สุดเมื่อเทียบกับกังหันลมขนาด 500 วัตต์ และ 300 วัตต์ ที่ ความเร็วลมเท่ากัน และเมื่อกำหนดขนาดของกังหันให้คงที่ เช่นกังหันลมขนาด 1,000 วัตต์ พื้นที่รับลมคงที่คือ 2.4 ตารางเมตร และเปลี่ยนความเร็วลมเฉลี่ย จาก 7.90 เมตรต่อวินาที ที่ ระยะห่าง 1 เมตร เป็น 7.68 เมตรต่อวินาที ที่ระยะห่าง 2 เมตร จะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าลดลงเป็น 407 วัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 4

นอกจากนี้ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้ง พบว่ากังหันลมทั้ง 3 ขนาด มีราคาแตกต่างกัน โดยกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์ มีราคาของตัวกังหัน 36,000 บาท ขนาด 500 วัตต์ มีราคา 43,000 บาท

และขนาด 1000 วัตต์ มีราคา 68,000 บาท แต่ราคาของโครงสร้าง และค่าติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวตั้งทั้ง 3 ขนาด มีราคาเท่ากัน คือค่าโครงสร้าง 8,000 บาท/ตัว และค่าติดตั้ง 8,000 บาท/ตัว ดังแสดงในตารางที่ 1 (บริษัท เอปซีคอนส์ จำกัด, 2562)

ตารางที่ 1 เงินลงทุนเริ่มต้นของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์, 500 วัตต์ และ 1,000 วัตต์ (บริษัท เอปซีคอนส์ จำกัด, 2562)

ต้นทุนแรกเริ่ม (บาท)	ขนาดกังหันลมแนวตั้ง (วัตต์)		
	300	500	1,000
กังหันลมผลิตไฟฟ้า	36,000	43,000	68,000
โครงสร้าง	8,000	8,000	8,000
ค่าติดตั้ง	8,000	8,000	8,000
รวม	52,000	59,000	84,000
ค่าบำรุงรักษา 2% ของมูลค่าโครงการ	1,040	1,180	1,680

จากตารางที่ 1 พบว่า กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์ มีราคาต่ำที่สุด และกังหันลมขนาด 1,000 วัตต์ มีราคาสูงที่สุด ส่วนราคาโครงสร้างและค่าติดตั้งของกังหันลมทั้ง 3 ขนาดมีราคาเท่ากัน และค่าบำรุงรักษาต่อปีกังหันลมขนาด 300 วัตต์ เท่ากับ 1,040 บาท/ปี กังหันลมขนาด 500 วัตต์ เท่ากับ 1,180 บาท/ปี และกังหันลมขนาด 1,000 วัตต์ เท่ากับ 1,680 บาท/ปี

ผลการประเมินผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม โดยเครื่องดูดฝุ่น ขนาด 50 แรงแม้า ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 300 วันต่อปี หรือ 7,200 ชั่วโมงต่อปี และกำหนดอัตราดอกเบี้ย MRR เท่ากับ 7 % (อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อธนาคารกสิกรไทย 15 สิงหาคม 2562) โดยค่าไฟฟ้าเฉลี่ย ของโรงงานอยู่ที่ 4.15 บาท/หน่วยไฟฟ้า (การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย เดือน สิงหาคม 2562) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มูลค่าผลตอบแทนที่ได้รับจากการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์, 500 วัตต์ และ 1,000 วัตต์

300 วัตต์	ระยะห่างจากปล่อง (m)				
	1	2	3	4	5
พลังงานไฟฟ้า $P = 0.625AV^3C_p$ (kW)	0.255	0.237	0.186	0.135	0.090
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 ปี (kWh)	1833	1704	1341	973	650
รายรับจากการผลิตไฟฟ้าต่อปี (บาท)	7607	7071	5566	4036	2699

500 วัตต์	ระยะห่างจากปล่อง (m)				
	1	2	3	4	5
พลังงานไฟฟ้า $P = 0.625AV^3C_p$ (kW)	0.291	0.270	0.213	0.154	0.103
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 ปี (kWh)	2095	1947	1533	1112	743
รายรับจากการผลิตไฟฟ้าต่อปี (บาท)	8694	8081	6361	4613	3085

1000 วัตต์	ระยะห่างจากปล่อง (m)				
	1	2	3	4	5
พลังงานไฟฟ้า $P = 0.625AV3C_p$ (kW)	0.436	0.406	0.319	0.232	0.155
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 ปี (kWh)	3142	2921	2299	1667	1115
รายรับจากการผลิตไฟฟ้าต่อปี (บาท)	13041	12122	9541	6919	4627

จากตารางที่ 2 พบว่ากังหันลมขนาด 300 วัตต์ ที่ติดตั้งห่างจากปลายปล่องลมทั้ง 1 เมตร ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด 1,833 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นรายรับหรือผลตอบแทนเท่ากับ 7,607 บาทต่อปี ส่วนกังหันลมขนาด 500 วัตต์ ที่ติดตั้งห่างจากปลายปล่องลมทั้ง 1 เมตร ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด 2,095 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นรายรับหรือผลตอบแทนเท่ากับ 8,694 บาทต่อปี และกังหันลมขนาด 1,000 วัตต์ ที่ติดตั้งห่างจากปลายปล่องลมทั้ง 1 เมตร ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด 3,142 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นรายรับหรือผลตอบแทนเท่ากับ 13,041 บาทต่อปี

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์, 500 วัตต์ และ 1,000 วัตต์

	ขนาด กังหัน วัตต์ (W)	ที่ระยะห่างจากปลายปล่องต่าง ๆ (m)				
		1	2	3	4	5
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	300	6.84	7.35	9.34	12.88	19.27
	500	6.79	7.30	9.28	12.79	19.13
	1000	6.44	6.93	8.80	12.14	18.15
Net present value: NPV (บาท)	300	52,637.84	44,594.29	22,014.54	-927.58	-20,985.31
	500	61,939.27	52,746.65	26,941.22	721.66	-22,201.47
	1000	102,145.03	88,356.09	49,647.95	10,318.61	-24,066.08
Internal rate of return: IRR (%)	300	10.16%	8.80%	4.67%	-0.22%	-5.64%
	500	10.51%	9.14%	5.02%	0.15%	-5.22%
	1000	11.98%	10.58%	6.37%	1.46%	-3.87%

ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 โดยพบว่ากังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 300 วัตต์ ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากปลายปล่องลมทั้งมีระยะเวลาคืนทุน 6.84 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 52,637 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 10.16% กังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 500 วัตต์ บาท ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากปลายปล่องลมทั้งมีระยะเวลาคืนทุน 6.79 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 61,939 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 10.51% และกังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากปลายปล่องลมทั้งมีระยะเวลาคืนทุน 6.44 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 102,145 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 11.98%

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการนำพลังงานลมทิ้งจากโรงงานผลิตปูนกาวซีเมนต์มาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแบบแนวตั้ง พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ระยะ 1 เมตร จากปลายปล่องลมทิ้ง ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 7.90 เมตรต่อวินาที และกังหันลมที่เหมาะสมที่สุดกับความเร็วมืดที่ปล่อยทิ้งคือ กังหันลมแบบแนวตั้งขนาด 1,000 วัตต์ โดยพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุดเท่ากับ 6.44 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกมากที่สุด เท่ากับ 102,145 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในมากที่สุด เท่ากับ 11.98%

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าหากมีการติดตั้งกังหันลมแบบแนวตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าจากลมปล่อยทิ้งของระบบดักจับฝุ่น โดยที่มีเครื่องดูดฝุ่นมากกว่า 1 เครื่อง จะสามารถติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าหลายตัวพร้อม ๆ กันได้ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนค่าติดตั้ง และราคาของกังหันลมจะมีราคาต่อหน่วยลดลง ส่งผลให้การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีผลที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ไกรพัฒน์ จินขจร. (2551). **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นิสารัตน์ ศิริประภากรณ์ และ สุธาภรณ์ ช่วงชัย. (2553). **การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้าย**. (โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาไฟฟ้า). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- บริษัท เอปซิคอนส์ จำกัด. (2562). **เอกสารเสนอราคากังหันลมแบบแนวตั้ง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2562, จากเว็บไซต์ <http://www.epzicons.com/th>
- แผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (2558)**. กระทรวงพลังงาน, สืบค้นเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2562, จากเว็บไซต์ http://www.dede.go.th/download/files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf
- พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์ และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล. (2558). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. *Thai Journal of Science and Technology*, กันยายน - ธันวาคม.
- ภาวดี ไสภณรัตน์. (2551). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาพลังงานจากลมมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการส่องสว่างโดยใช้กังหันลมในแนวแกนนอนขนาดเล็ก**. (การค้นคว้าอิสระ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, สาขาวิชาการบริหารเทคโนโลยี วิทยาลัยนวัตกรรม.
- วรณัฐ แจ้งสว่าง. (2551). **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒพร ตี๋วงาน. (2558). **การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี สำหรับบ้านที่อยู่อาศัย**. (วิทยานิพนธ์ หลักสูตรเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะเศรษฐศาสตร์.

ประสิทธิภาพของเครื่องสับย่อยชีวมวลและเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร

พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร* และวัชระ พรกวีรัตน์

สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จ. นครราชสีมา 30000

*e-mail: pongsak.ey@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลและเครื่องสับย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลและเครื่องสับย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลกับเครื่องหรือเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน เครื่องย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดความกว้าง 0.45 เมตร ความยาว 0.75 เมตร ความสูง 1.10 เมตร ชุดใบมีดตัดจำนวน 24 ใบ ใช้จักรยานเป็นตัวให้กำลังแทนมอเตอร์ไฟฟ้า ชีวมวลหลังจากการสับย่อยถูกนำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งสามารถอัดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ ฟางข้าว ข้าวโพด และแกลบ ร่วมกับใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารประสานในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ค่าความร้อน และการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณ ได้แก่ ค่าความชื้น คาร์บอนคงตัว สารระเหย ปริมาณสารละลาย เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าเครื่องสับย่อยชีวมวลมีอัตราการสับย่อยชีวมวล 20.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการสับย่อยร้อยละ 79.70% และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีอัตราการผลิตเฉลี่ย 0.13 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบสมบัติคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ค่าความร้อน และการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนมาตรฐาน.

คำสำคัญ: เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล; เครื่องสับย่อยชีวมวล; วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร; สมบัติของแท่งเชื้อเพลิง

The Performance of Biomass Chopper and Solid fuel compactors from Agricultural Waste

Physics and General Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 30000
E-mail; pongsak.ey@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to study the efficiency of biomass chopper and solid fuel compactors shredding machines. Compare the efficiency of the biomass fuel biomass briquette and shredding machine with the current machine or technology. The design and build a low cost biomass chopper to find the capacity and its performance. Its dimension was 0.45 m-width, 0.75 m-length and 1.10 m-height .This biomass chipper can be run via a bicycle. Biomass after chopping is compacted by biomass fuel briquette machine which can compress agricultural waste such as rice straw, corn and rice husk together with using tapioca starch as binder at the ratio of 25% by weight. The properties of solid fuel compactors such as physical properties, heat values and approximate analysis such as moisture content, carbon stability, volatile matter, and lignite content etc. The results showed that the biomass shredder had a biomass chopping rate of 20.64 kilograms per hour and the efficiency of the chopper was 79.70%. The biomass fuel pelletizer has an average production rate of 0.13 centimeters per second. Comparison of the properties of the solid fuel compactors, including physical properties, heating values, and estimated analysis values, passed the Thai Community Product Standard.

Keywords: Biomass Chipper, Solid fuel compactors, Solid Agricultural waste

บทนำ

ประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมทำให้มีเศษเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไปเศษซากการนำมาใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีการแปรรูปเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งเป็นชีวมวลแข็งเป็นวิธีการหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษเหลือทิ้งเหล่านี้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งจำแนกตามชนิด และชิ้นส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน จากผลิตภัณฑ์การเกษตรที่ผลิตขึ้นภายในจังหวัดนครราชสีมา และศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งทั้งหมดภายในจังหวัดนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ.2551 ถึง ปี พ.ศ.2556 ทั้งจังหวัดเป็นจำนวน 1,228.31 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จะเห็นได้ว่าภายในจังหวัดมีศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็ง จากการปลูกอ้อยมากที่สุด คือ 939.62 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (76.50%) รองลงมาคือชีวมวลแข็งจากการปลูกข้าวมีค่า 151.04 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (12.30%) ตามลำดับ (พลังงานจังหวัดนครราชสีมา, 2557)

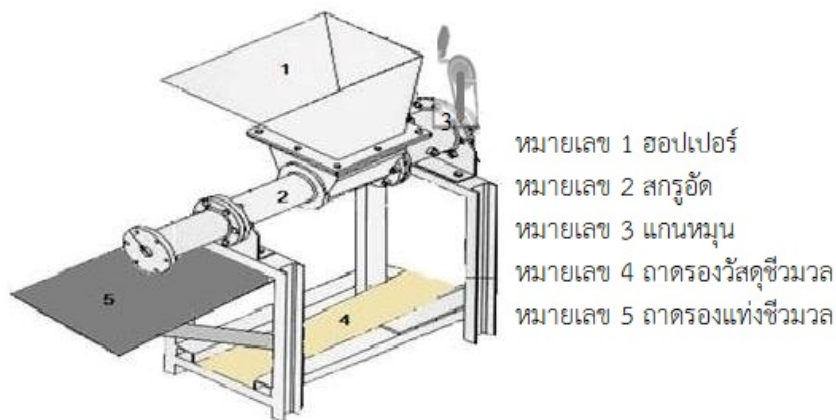
การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อให้มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้นหรือการใช้พลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้นนับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเหลือใช้ เช่น ใบอ้อย ยอดอ้อย ชังขาว แกลบ หรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรในชุมชน นำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง อาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก โดยผ่านกระบวนการย่อยเพื่อลดขนาด สามารถเพิ่มค่าความหนาแน่น และง่ายต่อการนำไปแปรรูป ยกตัวอย่างเครื่องย่อยในปัจจุบันมีทั้งเครื่องย่อยที่ใช้ น้ำมันและไฟฟ้าให้เลือกแต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากมีต้นทุนต่อเครื่องสูง และการย่อยแต่ละครั้งต้องใช้พลังงานสูง เกิดการสิ้นเปลืองการใช้พลังงาน และเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นการออกแบบเครื่องสับย่อยที่ดีควรออกแบบให้เหมาะสมกับประเภทชีวมวล ต้นทุนต่ำ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเครื่องสับย่อยแบบแฮมเมอร์มีลล์เป็นเครื่องสับย่อยที่เหมาะสมกับการย่อยวัสดุชีวมวลขนาดเล็กและใช้งานได้หลากหลายประเภทชีวมวลที่สามารถหว่าสในท้องถื่นมาสร้างได้ ยังง่ายต่อการสร้างและดูแลรักษา โดยลักษณะเด่นของเครื่องจะเป็นเครื่องอัดแบบเกลียวหรือสกรู สามารถทำได้ทั้งกับวัสดุสดและแห้ง สามารถทำได้ง่าย สะดวก เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ส่วนการพัฒนาเทคโนโลยีการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถนำชีวมวลมาใช้ในการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ง่าย สามารถใช้แรงได้จากการหมุนหรือปั่นด้วยมือ และยังสามารถสร้างของชาวบ้านเหมาะสำหรับชาวบ้านที่จะผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลใช้ในครัวเรือนได้ (ประลอง คำรงค์ไทย, 2552)

จากความสำคัญและปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องสับย่อยและเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีต้นทุนต่ำ ที่มีประสิทธิภาพสูงให้สอดคล้องกับวัสดุที่มีในชุมชนได้แก่ แกลบ ฟางข้าว และใบอ้อย เป็นต้น และสามารถเปรียบเทียบคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงเทียบเท่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

ทำการออกแบบเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีการหมุน โดยอาศัยหลักการแบบอัดเย็นมีระบบการอัดโดยเกลียวอัดซึ่งสามารถทำได้ทั้งกับวัสดุสดและแห้ง สามารถแยกชิ้นส่วนหลักของแท่งชีวมวลได้ 5 ส่วน ส่วนที่ 1 ฮอปเปอร์ ทำหน้าที่ใส่วัสดุเข้าเรียงเชื้อเพลิง ส่วนที่ 2 สกรูอัด ทำหน้าที่อัดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแท่งเชื้อเพลิง ส่วนที่ 3 แกนหมุนทำหน้าที่ส่งกำลังไปยังสกรูอัด ส่วนที่ 4 ถาดรองวัสดุชีวมวล และส่วนที่ 5 ถาดรองแท่งชีวมวล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบมือหมุน

2. อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล

เตรียมวัสดุเพื่อทดสอบความสามารถในการอัดแท่ง วัสดุที่ใช้คือ ฟางข้าว แกลบและใบข้าวโพด โดยนำมาบดให้มีขนาดไม่เกิน 0.3 เซนติเมตร จากนั้นใส่ลงในฮอปเปอร์ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากอัตราการผลิต โดยจับเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งและวัดความยาวของแท่งเชื้อเพลิงขนาด 10 เซนติเมตร ที่อัดได้ทั้งหมดเพื่อหาอัตราการผลิตจากสมการ (1)

$$A = \frac{L}{t} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ อัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง (เมตรต่อนาที)

L คือ ความยาวของแท่งเชื้อเพลิง (เมตร)

t คือ เวลา (นาที)

3. การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

3.1 การทดสอบค่าความหนาแน่นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 75 ทำได้โดยการนำแท่งเชื้อเพลิงตัดเป็นชิ้น ให้มีความหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักแล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลของตัวอย่าง (กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

3.2 การทดสอบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณมากเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิงเมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นเมกกะจูลต่อกิโลกรัม

4. การวิเคราะห์ค่าโดยประมาณ

4.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content, M) ของแท่งเชื้อเพลิงทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 3173 นำแท่งเชื้อเพลิงที่ตัดแล้ว ความหนา 1-2 เซนติเมตร เข้าเตาอบโดยวางบนภาชนะทนความร้อนและทำการชั่งน้ำหนักก่อนนำเข้าตู้อบ ตั้งอุณหภูมิของตู้อบประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำถ้วยที่ใส่แท่งเชื้อเพลิงทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่าความชื้น โดยสามารถคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ (3)

$$M = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น (%)

A คือ น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)

B คือ น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

4.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content, AC) ของแท่งเชื้อเพลิงทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 3174 นำแท่งเชื้อเพลิงที่บดแล้ว น้ำหนักประมาณ 1 กรัม เข้าเตาเผา โดยวางบนภาชนะทนความร้อน ซึ่งก่อนนำเข้าเตาให้ทำการชั่งน้ำหนักและตั้งความร้อนของเตาเผาไว้ที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที แล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณเถ้าโดยสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าได้จากสมการ (4)

$$AC = \left(\frac{W_1 - W_2}{W} \right) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ AC คือ ปริมาณเถ้า (%)
 W_1 คือ น้ำหนักถั่วและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
 W_2 คือ น้ำหนักถั่ว (กรัม)
 W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

4.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile matter content, VM) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 โดยการชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักนำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที แล้วจึงนำออกมาจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟและตัวอย่างที่เหลืออยู่แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างแล้วนำมาคำนวณหาสารระเหยโดยใช้จากสมการ (5)

$$VM = \frac{W_4 - W_5}{W} \times 100 \frac{M}{M} \quad (5)$$

เมื่อ VM คือ ปริมาณสารระเหย (%)
 M คือ ปริมาณความชื้น (%)
 W_4 คือ น้ำหนักถั่วพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
 W_5 คือ น้ำหนักถั่ว พร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
 W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

4.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) ตามมาตรฐาน ASTM D3172 สามารถคำนวณได้จากสมการ (6)

$$FC = 100 - M - VM - AC \quad (6)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น (%)
 VM คือ ปริมาณสารระเหย (%)
 AC คือ ปริมาณเถ้า (%)

5. การออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องย่อยชีวมวล

5.1 การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล

5.1.1 การออกแบบเครื่องย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล ขนาดความกว้าง 0.45 เมตร ความยาว 0.75 เมตร ความสูง 1.10 เมตร ดังรูปที่ 2 โดยแบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วย โครงสร้างและห้องสับ อุปกรณ์ส่งกำลัง ชุดใบมีด เป็นต้น

5.1.2 โครงสร้างและห้องลับ เนื่องจากการศึกษารายละเอียดวัสดุชีวมวล (ใบอ้อย) ซึ่งจะมีลักษณะใบยาว ดังนั้นจึงออกแบบให้มีขนาดความยาวใกล้เคียงกับวัสดุ โดยมีลักษณะทรงกระบอก มีช่องป้อนวัสดุด้านบน และช่องระบายวัสดุด้านล่าง (จิตรกร จินา และคณะ.2557)

5.1.3 อุปกรณ์ส่งกำลัง โดยใช้แรงปั่นจักรยานเป็นตัวให้กำลังในการหมุนพูลเลย์แกนเพลลาเชื่อมติดใบมีด โดยอาศัยหลักการแรงเหวี่ยงของใบมีดกับแท่นด้านการตัด ขนาดของพูลเลย์ขับ 6 นิ้ว ขนาดพูลเลย์ตาม 6 นิ้ว

5.1.4 ชุดใบมีด ประกอบด้วยจำนวนใบมีดที่ลับคมแล้ว เชื่อมติดกับแกนเพลลาข้างละ 13 ใบมีด ติดตั้งกับจานหมุนโมเมนตัม 2 ข้าง เนื่องจากต้องการให้วัสดุชีวมวลที่ผ่านการย่อยมีขนาดไม่เกิน 4 เซนติเมตร จึงออกแบบระยะห่างของใบมีด 3.5 เซนติเมตร ระยะห่างแท่นด้านการตัด 3.5 เซนติเมตร



รูปที่ 2 แบบจำลองเครื่องย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล

5.2 การทดสอบและประสิทธิภาพของเครื่องสับย่อยชีวมวล

การทดสอบการย่อยของเครื่องซึ่งวัสดุที่ใช้ทดสอบย่อยคือ ใบอ้อย ยอดอ้อย และฟางข้าว โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. นำใบอ้อย ยอดอ้อย และฟางข้าว ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาทดสอบย่อยในเครื่องย่อย
2. ทำการทดสอบทำงานการย่อยชีวมวลต่อเนื่อง 5 นาที
3. บันทึกน้ำหนักทั้งหมดและน้ำหนักของชีวมวลที่ผ่านการย่อยขนาดความยาวไม่เกิน 4 เซนติเมตร
4. ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องย่อยจำนวน 5 ครั้ง
5. ประสิทธิภาพของเครื่องสับย่อยชีวมวลจากสมการ (7)

$$N_c = \frac{N_a \times 100}{N_T} \quad (7)$$

เมื่อ N_c คือ ปริมาณชีวมวลผ่านการย่อย (%)

N_a คือ น้ำหนักของใบและยอดอ้อยขนาดไม่เกิน 4 เซนติเมตร (กิโลกรัม)

N_T คือ น้ำหนักรวมทั้งหมดของใบและยอดอ้อย (กิโลกรัม)

5.3 อัตราการสับย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) จากสมการ (8)

$$\eta = \frac{N_a}{T} \quad (8)$$

เมื่อ η คือ ปริมาณการย่อยเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

N_a คือ น้ำหนักของใบและยอดอ้อยขนาดไม่เกิน 4 เซนติเมตร (กิโลกรัม)

T คือ เวลาที่ใช้ในการย่อย (ชั่วโมง)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การทดสอบอัตราการผลิตของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์อัตราการผลิตของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ทางผู้วิจัยได้จัดสร้างขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้ชีวมวลที่นำมาทดสอบอัดแท่งเชื้อเพลิง คือ ฟางข้าว ใบข้าวโพด และแกลบตามลำดับ โดยใช้มันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วจับเวลาในการอัดแท่งแต่ละครั้งต่อหนึ่งแท่งขนาดความยาว 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าอัตราการผลิตเฉลี่ย 0.13 เซนติเมตรต่อวินาที และนำอัตราการผลิตเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลเชื้อเพลิงเขียว กำลังมอเตอร์ 2 แรงม้า ที่มีอัตราการผลิตเฉลี่ย 1.47 เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีกำลังการผลิตที่สูงกว่า และใช้ระบบไฟฟ้าในการผลิต ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างสามารถลดการใช้พลังงานและยังลดต้นทุนในการผลิตได้

2. การทดสอบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยทดสอบอัดแท่งเชื้อเพลิง ฟางข้าว ใบข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ โดยใช้มันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบและการคำนวณ พบว่า มีค่าปริมาณความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวเท่ากับ 26.39 ± 3.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของใบข้าวโพด 24.79 ± 2.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของแกลบ 38.77 ± 4.67 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และนำค่าความหนาแน่นของค่าเชื้อเพลิงที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลเชื้อเพลิงเขียว กำลังมอเตอร์ 2 แรงม้า ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ยของแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวเท่ากับ 29.82 ± 3.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของใบข้าวโพด 26.18 ± 2.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของแกลบ 24.79 ± 3.76 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าวและใบข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันระหว่างแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้มอเตอร์และไม่ใช้มอเตอร์ ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลจากแกลบเมื่ออัดแท่งเชื้อเพลิงแล้วมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันเนื่องจากกำลังจากการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยไม่ใช้มอเตอร์มีกำลังอัดที่น้อยกว่าการอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้มอเตอร์

3 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตกับเครื่องอัดแท่งแบบเทคโนโลยีอื่น

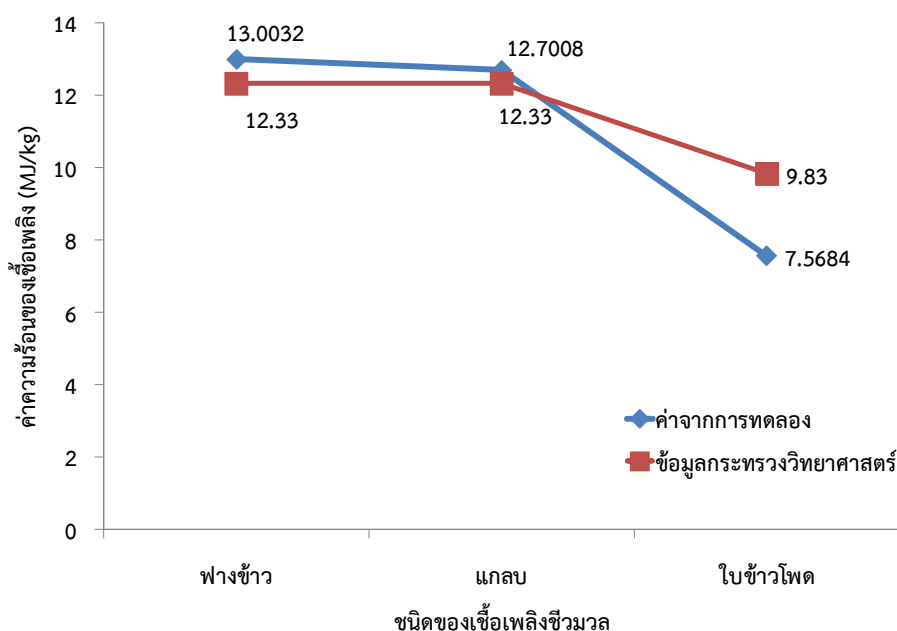
ต้นทุนการผลิตเครื่องอัดแท่งที่ทางผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นรวมงบประมาณทั้งหมด 9,000 บาท และมีกำลังการผลิต 0.13 เซนติเมตรต่อวินาที นำมาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวทดแทนถ่านและฝืนของคุณประลอง ดำรงไทย โดยใช้มอเตอร์ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง 2 แรงม้า ซึ่งมีกำลังการผลิตถึง 1.47 เซนติเมตรต่อวินาที โดยประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้มอเตอร์ 2 แรงม้า มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องอัดด้วยมือร้อยละ 90 แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยมือสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ถึง 500 บาทต่อเดือน เมื่อเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้มอเตอร์ 2 แรงม้า แล้วยังสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตกับเครื่องอัดแห้งแบบเทคโนโลยีอื่น

ชนิดของเครื่องอัด	ราคาต้นทุนการผลิต (บาท)	อัตราการผลิต (cm/s)
เครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลแบบอัดเย็นด้วยมือจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้ในชุมชน (ผู้วิจัย)	9,000	0.13
เครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนถ่านและฝืน ขนาด 2.2 แรงม้า (ประลอง ดำรงไทย. 2552)	18,900	1.47

4. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงของแห้งชีวมวล จากฟางข้าว แกลบ และใบข้าวโพด โดยมีมวลก่อนการทดสอบตัวอย่างละ 1 กรัม แห้งชีวมวลที่ผลิตด้วยฟางข้าวมีค่าปริมาณความร้อนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 13.00 MJ/kg ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อนของแห้งชีวมวลของฟางข้าวใกล้เคียงกับค่าความร้อนของแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลของกระทรวงวิทยาศาสตร์มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.33 MJ/kg จะเห็นได้ว่าแห้งชีวมวลที่ได้จากเครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าความร้อนแตกต่างกับกระทรวงวิทยาศาสตร์ผลิตแห้งเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.33 MJ/kg ส่วนแห้งชีวมวลที่ผลิตด้วยแกลบมีค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 12.70 MJ/kg ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อน ของแห้งชีวมวลของแกลบของกระทรวงวิทยาศาสตร์สร้างผลิตแห้งเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.33 MJ/kg เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว จะเห็นได้ว่าแห้งชีวมวลที่ได้จากเครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าความร้อนแตกต่างกับกระทรวงวิทยาศาสตร์ผลิตแห้งเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.37 MJ/kg และแห้งชีวมวลที่ผลิตด้วยใบข้าวโพดมีค่าปริมาณความร้อนสูงเฉลี่ยร้อยละ 7.57 MJ/kg ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อนของแห้งชีวมวลใบข้าวโพดมาตรฐาน (กระทรวงวิทยาศาสตร์, 2553) มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 9.83 MJ/kg เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว จะเห็นได้ว่าแห้งชีวมวลที่ได้จากเครื่องอัดแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าความร้อนแตกต่างกับกระทรวงวิทยาศาสตร์ผลิตแห้งเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.2627 MJ/kg ดังที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนของแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับค่ากระทรวงวิทยาศาสตร์

5. การวิเคราะห์ค่าโดยประมาณ

5.1 ปริมาณความชื้น

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้นของแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีแห้งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และใบข้าวโพด ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 3173 ซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐานของ

ความชื้นเท่ากับร้อยละ 8 ของแต่ละชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลดังนี้ ปริมาณความชื้นของฟางข้าวเฉลี่ยร้อยละ 7.14 ปริมาณความชื้นของแกลบมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 6.18 และปริมาณความชื้นของใบข้าวโพดเฉลี่ยร้อยละ 6.32 ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงจากชีวมวลทั้ง 3 ประเภท มีความอยู่ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังที่แสดงในรูปที่ 4

5.2 ปริมาณเถ้า

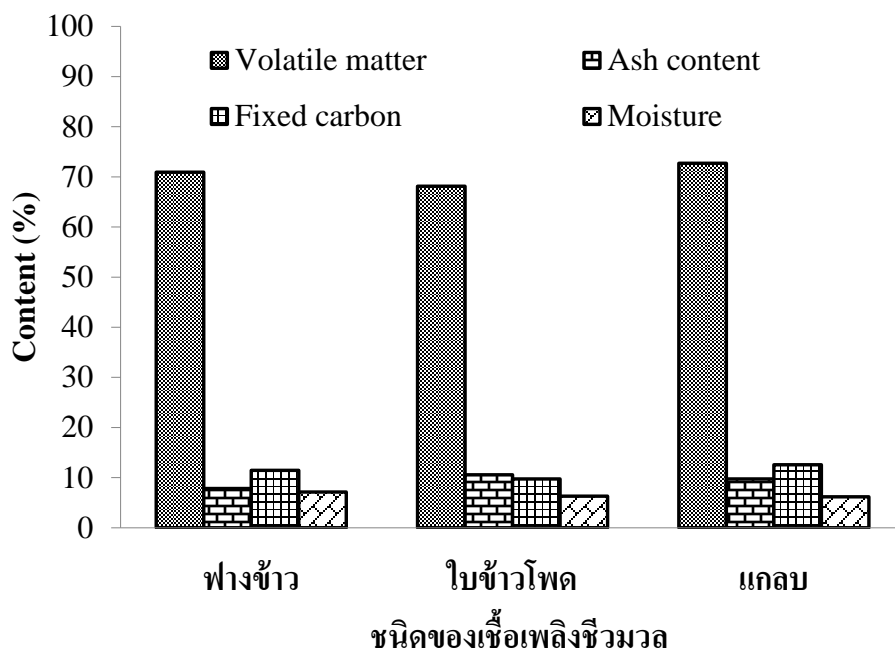
จากผลการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และใบข้าวโพด โดยทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 3174 จากการทดลองพบว่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวเฉลี่ยร้อยละ 7.84 ปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากแกลบร้อยละ 9.74 และปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งใบข้าวโพดร้อยละ 10.58 ตามลำดับ ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีปริมาณเถ้าต่างกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 4

5.3 ปริมาณสารระเหย

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และใบข้าวโพด การวิเคราะห์หาค่าปริมาณสารระเหยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 5 จากผลการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด มีค่าปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวเฉลี่ยร้อยละ 70.94 ปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากแกลบเฉลี่ยร้อยละ 72.72 และปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลใบข้าวโพดเฉลี่ยร้อยละ 68.14 ตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4

5.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยมีแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถคำนวณในสมการที่ 6 มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลฟางข้าวเฉลี่ยร้อยละ 11.45 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบร้อยละ 12.58 และปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลใบข้าวโพดร้อยละ 9.74 ตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

6. ปริมาณการย่อยและประสิทธิภาพของเครื่องสับย่อยชีวมวล

การทดสอบย่อยชีวมวลโดยใช้ใบอ้อยเป็นชีวมวลในการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการทดสอบน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด น้ำหนักชีวมวลขนาดไม่เกิน 4 เซนติเมตร และน้ำหนักชีวมวลขนาดเกิน 4 เซนติเมตร ผลการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง โดยใช้เวลา 5 นาที เท่าๆ กัน เครื่องสับย่อยสามารถย่อยชีวมวลได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันเฉลี่ย 1.72 กิโลกรัม น้ำหนักชีวมวลขนาดไม่เกิน 4 เซนติเมตร เฉลี่ยเท่ากับ 1.37 กิโลกรัม และน้ำหนักชีวมวลขนาดเกิน 4 เซนติเมตร เฉลี่ยเท่ากับ 0.33 กิโลกรัม ปริมาณของการย่อยของเครื่องย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละประเภทโดยใช้ใบอ้อยเป็นวัสดุชีวมวลมีปริมาณของการย่อยของเครื่องย่อยเฉลี่ยเท่ากับ 20.64 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสับย่อยชีวมวลโดยใช้ใบอ้อยเป็นวัสดุชีวมวลที่มีขนาดน้อยกว่า 4 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการสับย่อยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 79.70

สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลและเครื่องสับย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลเครื่องสับย่อยชีวมวลมีอัตราการสับย่อยชีวมวล 20.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการสับย่อยร้อยละ 79.70% และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีอัตราการผลิตเฉลี่ย 0.13 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ค่าความร้อน และการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาพื้นที่ทุนเสริมขีดความสามารถภาคการเกษตรและยกระดับเศรษฐกิจฐานรากในจังหวัดนครราชสีมา ปีที่ 3 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. เปิดตัวเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล กระทรวงวิทย์ฯ หวังแก้ปัญหาลำไย
ค้ำสต็อก ปี 2546 – 2547. (Online). Available URL: [http://www.most.go.th/
main/index.php/organization-news/326-wood-pellet.html](http://www.most.go.th/main/index.php/organization-news/326-wood-pellet.html)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานรายงานพลังงานของประเทศไทย.2552. ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของ
ประเทศไทยปี .2552 (Online). Available URL: [URL:http://www.dede.go.gh](http://www.dede.go.gh)
- จิตรกร จินา และคณะ. 2557. การพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้และใบไม้แห้งด้วยใบมีดเดือนคู่. โครงการวิจัยปริญญาตรี.
สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ประลอง ดำรงไทย. 2552. แท่งเชื้อเพลิงจากเศษวัสดุชีวมวล. (Online). Vailable URL:
http://www.dnp.go.th/green_fuel.htm
- American Society for Testing and Materials, 2017. Proximate analysis.) Online. (Available. URL:
<http://www.ast>
- กระทรวงพลังงาน. 2557. ฐานพลังงานรายภูมิภาคของประเทศไทย. (Online). Available URL:
<http://www.thaienergydata.in.th/download/%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A1%E0%B8%B2.pdf>

การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์โดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่

รัชนิกร ปันล่า¹ สุภาพ ชูพันธ์² พิพัฒน์ เรือนคำ³ อัครินทร์ อินทนิเวศน์¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

email: pimook.k@gmail.com

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ (Perovskite Solar Cells; PSCs) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยอย่างแพร่หลาย โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่มีโครงสร้างแบบกลับด้าน และพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น โดยทำการสร้างชั้นนำโฮลแบบชั้นคู่ ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นฟิล์มคอปเปอร์ออกไซด์ (Cu_2O) ที่สามารถเตรียมได้จากคอปเปอร์ไอโอไดด์ (CuI) และชั้นฟิล์ม PEDOT:PSS โดยที่ฟิล์ม Cu_2O แทรกอยู่ระหว่างกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า (FTO) และฟิล์ม PEDOT:PSS จากการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ซึ่งพบว่าเซลล์ที่ทำการปรับปรุงแล้วโดยใช้วัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ ($\text{Cu}_2\text{O}/\text{PEDOT:PSS}$) ให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 4.90% ซึ่งมากกว่าเซลล์ที่ใช้ PEDOT:PSS หรือเซลล์อ้างอิงที่มีประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 4.37% นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นยังถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การวัดค่าการดูดกลืนแสง และการวิเคราะห์ลักษณะผิวของชั้นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

คำสำคัญ: เพอรอฟสไกต์, วัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่, คอปเปอร์ออกไซด์

DEVELOPMENT OF PEROVSKITE SOLAR CELLS USING COPPER OXIDE HOLE
TRANSPORTING DOUBLE LAYERS

Ratchaneekorn Punla¹, Supab Choopun², Pipat Ruankham², Akarin Intaniwet¹

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai
50200, Thailand

E-mail; pimook.k@gmail.com

Abstract

Perovskite Solar Cells (PSCs) receive a wild interest from the research community as a new technology to produce solar cells with several advantages over the conventional Si one such as the feasibility to fabricate flexible, large area and light weight solar panel. In this research, focus on inverted structure PSCs and development of conversion electrical efficiency using hole transporting double layers in highlighted. The hole transporting layer includes copper oxide (Cu₂O) film, which can be prepared from copper iodide (CuI), sandwiching between FTO glass substrate and PEDOT:PSS film. Electrical properties of PSCs show that the electrical of the cell using hole transporting double layers (Cu₂O/PEDOT:PSS) is 4.90%, so higher than the reference cell with only PEDOT:PSS (Conversion electrical efficiency of PEDOT:PSS cell is 4.37%). In addition, morphological and physical properties of PSCs have been examined using various techniques such as X-ray diffraction, absorption and scanning electron microscopy.

Keywords: Perovskite, Hole transporting double layers, Copper oxide

บทนำ

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการวิจัยพัฒนาและถูกนำมาใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยี ซึ่งประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกที่ใช้ซิลิกอนที่มีโครงสร้างแบบผลึกเป็นวัสดุสำหรับดูดซับแสง และในยุคที่ 2 เป็นการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางจากวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นโดยเทคโนโลยีทั้ง 2 กลุ่มข้างต้น มีข้อได้เปรียบในด้านประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องโครงสร้างของตัวแผงที่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองนี้ยังมีน้ำหนักมากเกินไปเมื่อผลิตเป็นแผงที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้การนำไปใช้งานร่วมกับอาคารทำได้ยาก อีกทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดนี้ยังมีราคาที่สูงเนื่องจากใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและยุ่งยากในการผลิต

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงมีความพยายามในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ยุคที่ 3 ที่ทำมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำรูปแบบต่างๆ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (Dye sensitized solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์แบบควอนตัมดอต (Quantum dot solar cell) และเซลล์แสงอาทิตย์จากสารอินทรีย์ (Organic solar cell) เป็นต้น โดยข้อได้เปรียบของเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบใหม่นี้คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีราคาต่ำกว่าและขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแบบเดิม นอกจากนี้แล้วเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ยังสามารถเตรียมได้จากของเหลว ทำให้สามารถใช้เทคโนโลยีและกระบวนการที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่นี้มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถผลิตลงบนวัสดุฐานรองที่เป็นพลาสติกได้ ทำให้สามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ตามที่ต้องการแต่ยังมีน้ำหนักเบา

เซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ได้รับความสนใจจากกลุ่มของนักวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนในด้านของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์มีลักษณะเป็นฟิล์มบางประกอบด้วยชั้นนำประจุลบหรืออิเล็กตรอน (Electron transporting layer) ชั้นดูดกลืนแสง (Absorption layer) และชั้นนำประจุบวกหรือโฮล (Hole transporting layer) ในส่วนของรูปแบบโครงสร้างของเพอรอฟสไกต์นั้นมีอยู่ด้วยกันรูปแบบ 2 รูปแบบ ได้แก่ โครงสร้างแบบปกติ (Normal structure) โดยโครงสร้างนี้ประกอบไปด้วยกระจกเคลือบนำไฟฟ้า (FTO หรือ ITO) วัสดุนำอิเล็กตรอน (Electron transporting material) วัสดุเพอรอฟสไกต์หรือวัสดุดูดซับแสง วัสดุนำโฮล (Hole transporting material) และชั้นนำประจุบวก จัดวางเรียงกันเป็นชั้น โดยข้อดีของโครงสร้างชนิดนี้คือให้ประสิทธิภาพที่สูง ส่วนอีกหนึ่งโครงสร้างนั้นคือโครงสร้างแบบกลับด้าน (Inverted structure) มีการจัดวางวัสดุเป็นชั้นกลับด้านกันกับโครงสร้างแบบปกติ โดยจะประกอบไปด้วย กระจกเคลือบนำไฟฟ้า (FTO หรือ ITO) วัสดุนำโฮล (Hole transporting material) วัสดุเพอรอฟสไกต์หรือวัสดุดูดซับแสง วัสดุนำอิเล็กตรอน (Electron transporting material) และชั้นนำประจุบวก ตามลำดับ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่ใช้โครงสร้างแบบกลับด้านนี้จะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า แต่กลับได้รับความสนใจจากนักวิจัยเนื่องจากตัวเซลล์มีเสถียรภาพที่ดีกว่าโครงสร้างแบบปกติ [1]

ชั้นดูดกลืนแสงหรือชั้นเพอรอฟสไกต์เป็นวัสดุที่มีความไวต่อความชื้นและออกซิเจน (O_2) การสัมผัสโดยตรงกับอากาศของฟิล์มเพอรอฟสไกต์จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง รวมถึงประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าที่ยังต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ยุคก่อนหน้านี้ นอกจากการนำประจุไปยังขั้วไฟฟ้าแล้ว ชั้นนำอิเล็กตรอนและชั้นนำโฮลก็ยังช่วยป้องกันฟิล์มเพอรอฟสไกต์จากการสัมผัสกับขั้วโลหะและอากาศ ซึ่งจะทำให้ลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ลง และลดการเกิดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล เป็นผลให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยการปรับปรุงชั้นวัสดุนำโฮลในโครงสร้างแบบกลับด้าน ซึ่งเดิมที่ใช้ PEDOT:PSS แต่เนื่องจาก PEDOT:PSS มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นในอากาศได้ดี และคุณสมบัติความเป็นกรดของตัวเอง จึงเป็นผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ได้ง่าย [1] ปัจจุบันมีการปรับปรุงชั้นวัสดุนำโฮลนี้ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการแทนที่สารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น นิกเกิลออกไซด์ (NiO_x) คอปเปอร์ไอโอไดต์ (CuI) คอปเปอร์ไทรโอไฮยาเนธ ($CuSCN$) กราฟีนออกไซด์ (GO) คอปเปอร์ไอโอไดต์ (CuO) เป็นต้น เทคนิคการใช้สารเจือในวัสดุนำโฮล เช่น โครเมียมออกไซด์ (CrO_3) เจือในสารละลาย PEDOT:PSS [2] GO เจือในสารละลายไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_x) [3] โคบอลต์ (Co) เจือในสารละลาย NiO_x [4] เป็นต้น และเทคนิคการสร้างวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ หรือ Double layers

W.-D. Hu และคณะ ได้พัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยการใช้วัสดุนำโฮลที่ต่างกัน ประกอบด้วย CuI PEDOT:PSS PEDOT:PSS/ CuI และ CuI /PEDOT:PSS จากนั้นจึงทำการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทุกเซลล์ พบว่าเซลล์ที่ใช้ CuI เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 1.70% เซลล์ที่ใช้ PEDOT:PSS มีค่าเท่ากับ 12.90% ส่วนเซลล์ที่ใช้

วัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่โดยจัดเรียงชั้นฟิล์มแตกต่างกัน ได้แก่ CuI/PEDOT:PSS และ PEDOT:PSS/CuI ให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้า 14.30% และ 10.80% ตามลำดับ [5] Q. Xiong และคณะ ได้ปรับปรุงชั้นนำโพลีเมอร์ด้วยการใช้คอปเปอร์ไตรโอไฮยาเนธ (CuSCN) และ PEDOT:PSS เป็นวัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ โดยให้ CuSCN อยู่ระหว่างชั้นเพอรอฟสไกต์และ PEDOT:PSS หลังจากการปรับปรุงชั้นนำโพลีเมอร์แล้ว พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่ใช้ CuSCN/PEDOT:PSS ให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้า 10.90% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเซลล์เดิมที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 9.1% (PEDOT:PSS) [6] F. Hou และคณะ ได้พัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยการปรับปรุงชั้นนำโพลีเมอร์ โดยใช้ PEDOT:PSS และโมลิบดีนัมไดออกไซด์ (MoO_3) เป็นวัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ และให้ฟิล์ม MoO_3 อยู่ระหว่างกระจก ITO กับ PEDOT:PSS หลังการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์แล้วพบว่า เซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วให้ประสิทธิภาพถึง 12.78% ซึ่งมากกว่าเซลล์ต้นแบบที่ใช้เพียง PEDOT:PSS เป็นวัสดุนำโพลีเมอร์ที่มีประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 9.81% [7] D.-Y. Lee และคณะ ศึกษาการใช้ GO และ PEDOT:PSS เป็นวัสดุนำโพลีเมอร์ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ โดยให้ GO อยู่ระหว่างกระจกนำไฟฟ้า ITO และ PEDOT:PSS หลังการปรับปรุงเซลล์ได้ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ พบว่าเซลล์ที่ใช้ GO เพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้า 6.4% ส่วนเซลล์ที่ใช้ PEDOT:PSS และเซลล์ที่ใช้วัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ (GO/PEDOT:PSS) ให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้า 8.2% และ 9.7% ตามลำดับ [8] ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยการปรับปรุงชั้นวัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ (Double layers) โดยใช้วัสดุคือ คิวปริสออกไซด์ (Cu_2O) และ PEDOT:PSS เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยการปรับปรุงวัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ โดยใช้คิวปริสออกไซด์ (Cu_2O)

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์

ชั้นฟิล์มคอปเปอร์ออกไซด์

ผสมคอปเปอร์ไอโอไดด์ (CuI 99.999%) ในตัวทำละลายอะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน และทำการสร้างฟิล์ม CuI โดยวิธีการ Spin สารละลาย CuI ลงบนกระจกที่ด้วยเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้า (Fluorine doped tin oxide; FTO) ด้วยความเร็ว 3000 rpm 30 sec จากนั้นนำฟิล์ม CuI ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้น 10 mg/ml โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 sec จากนั้นจุ่มลงในน้ำกลั่น และเป่าไล่ น้ำกลั่นออกจากฟิล์มด้วยปืนอัดลมไนโตรเจน เพื่อให้น้ำที่ยังหลงเหลือบนฟิล์มระเหยออกจนหมดจึงทำการให้ความร้อนแก่ฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 min บนเครื่องให้ความร้อน (hot plate) จึงได้ฟิล์ม Cu_2O

ชั้นฟิล์ม PEDOT:PSS

ผสม PEDOT:PSS 300 ml ใน Methanol (99.8%) 500 ml กวนสารละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 h แล้ว Spin ลงบนฟิล์ม Cu_2O ด้วยความเร็ว 3000 rpm 30 sec และให้ความร้อน 150°C เป็นเวลา 15 min บน hot plate แล้วนำเซลล์เก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปทำชั้นเพอรอฟสไกต์

ชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์

ผสมเลด (II) ไอโอไดด์ (PbI_2 99%) ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มามิไนด์ (Dimethylformamide; DMF 99.8%) ด้วยความเข้มข้น 460 mg/ml กวนสารละลายที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 คืน ผสมเมทิลแอมโมเนียมไอโอไดด์ (Methylammonium iodide; MAI) ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (2-Propanol; IPA 99.5%) ด้วยความเข้มข้น 50 mg/ml จากนั้นกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

ในการทำชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์นั้น เริ่มจากให้ความร้อนแก่กระจกและสารละลาย PbI_2 ด้วย hot plate ที่อุณหภูมิ 70°C แล้ว spin สารละลาย PbI_2 ลงบนชั้นฟิล์ม PEDOT:PSS ด้วยความเร็ว 3000 rpm 30 sec และให้ความร้อนแก่กระจก

ด้วยที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 15 min จากนั้นทำการระงกให้ร้อนด้วย hot plate ที่อุณหภูมิ 100 °C แล้ว Spin สารละลาย MAI เป็นอันดับถัดมา และให้ความร้อนแก่ระงกที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 h

ชั้นฟิล์ม PCBM

ผสม PC₆₀BM (99.0%) ในตัวทำละลายคลอโรเบนซีน (Chlorobenzene; CB 99.8%) ที่ความเข้มข้น 30 mg/ml และกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการ spin สารละลาย PCBM ต้องให้ความร้อนแก่สารละลาย PCBM ด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C แล้วจึง Spin สารละลายลงบนชั้นเพอรอฟสไกต์เพื่อสร้างชั้นนำอิเล็กตรอน สุดท้ายนำเซลล์ที่ได้ไปทำขั้วอิเล็กโทรดด้วยเทคนิค Thermal evaporate โดยใช้โลหะเงินสำหรับทำขั้วอิเล็กโทรด

2. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ทำการทดสอบลักษณะทางกายภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ประกอบไปด้วย ทดสอบคุณสมบัติการส่องผ่านของชั้นนำโฮลด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบโดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) และวิเคราะห์ลักษณะผิวของชั้นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

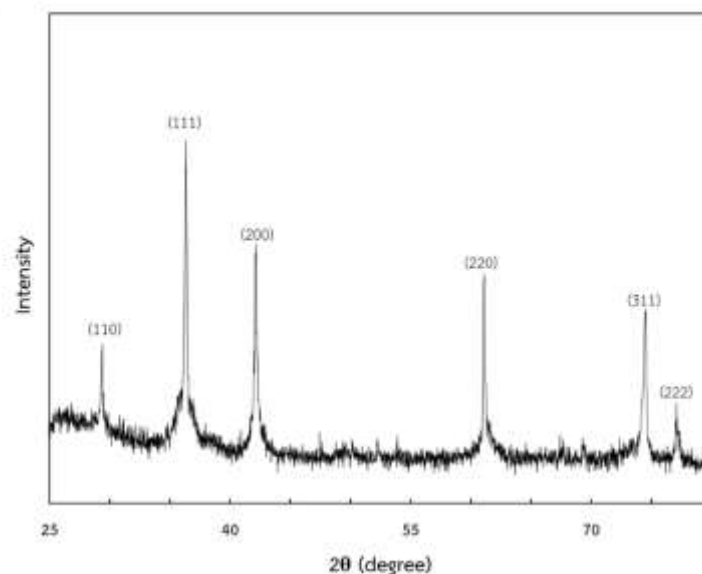
3. การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสง 1,000 W/m² AM 1.5

ผลการวิจัย

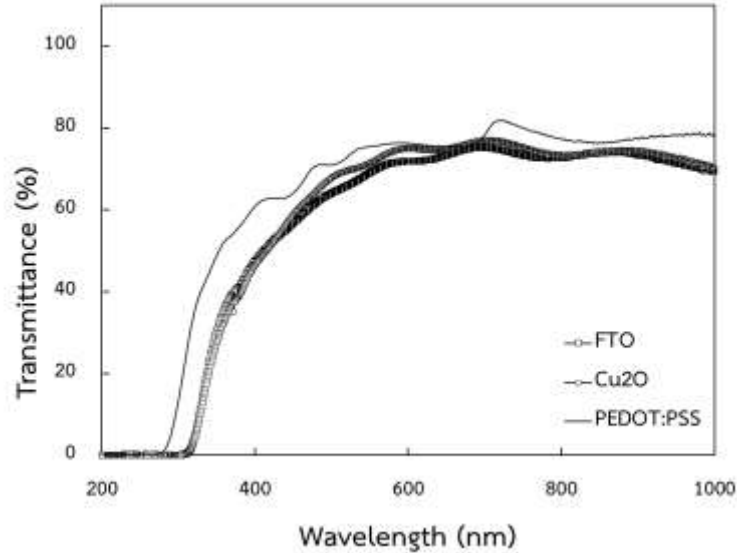
1. คุณสมบัติทางกายภาพ

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ หรือ X-ray Diffraction (XRD) ด้วยมุม 2θ เท่ากับ 25°-80° ได้รูปแบบ XRD ของสารประกอบ Cu₂O ดังภาพที่ 1



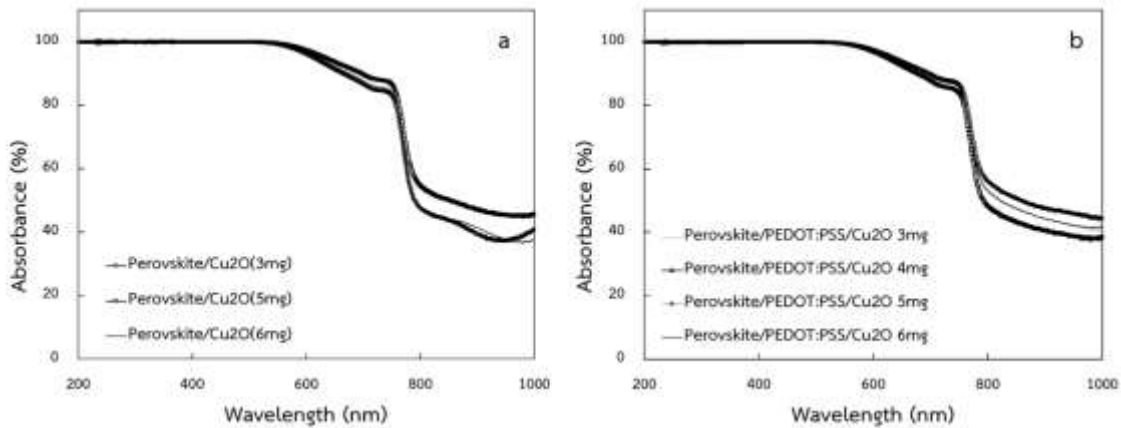
ภาพที่ 1 XRD pattern ของฟิล์ม Cu_2O ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction

ประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสงผ่านชั้นฟิล์มนำโพลีเมอร์ที่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 2 ชั้นฟิล์ม PEDOT:PSS สามารถผ่านได้ในช่วงความยาวคลื่น 270-1000 nm และฟิล์ม Cu_2O สามารถส่องผ่านได้ในช่วงความยาวคลื่น 300-1000 nm วัสดุนำโพลีเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ไม่ดูดกลืนแสงไว้ในตัวฟิล์ม จึงทำให้แสงสามารถส่องผ่านไปชั้นยังฟิล์มเพอรอฟสไกต์ได้



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสงที่ทะลุผ่านฟิล์มที่แตกต่างกัน

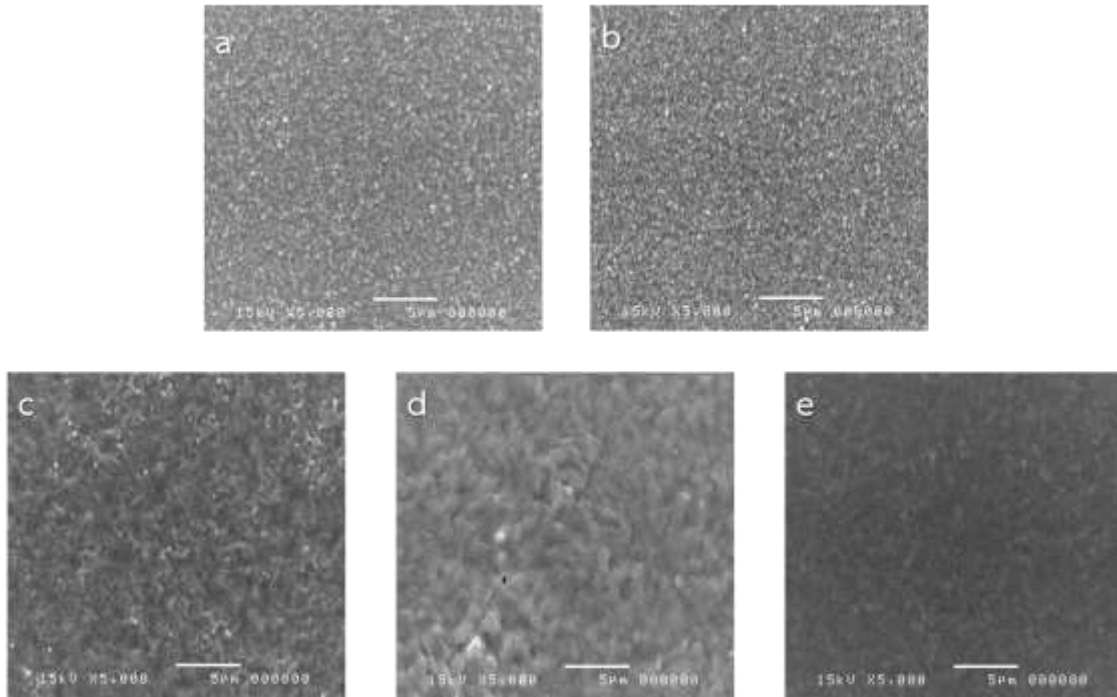
การดูดกลืนแสงของชั้นเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนวัสดุนำโพลีเมอร์ Cu_2O เพียงอย่างเดียวมีค่าการดูดกลืนแสงแสดงดังภาพที่ 3a และชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนวัสดุนำโพลีเมอร์แบบชั้นคู่ ($\text{Cu}_2\text{O}/\text{PEDOT:PSS}$) มีค่าการดูดกลืนแสงดังแสดงในภาพที่ 3b จะเห็นได้ว่าฟิล์มเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนวัสดุนำโพลีเมอร์ทั้งสองชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงที่ดีในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ต้องการสำหรับใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนวัสดุนำโพลีเมอร์แตกต่างกัน

ลักษณะผิวของฟิล์ม PEDOT:PSS และฟิล์ม Cu_2O แสดงดังภาพที่ 4a-4b ตามลำดับ ในภาพที่ 4b แสดงผิวของฟิล์ม Cu_2O ที่มีขนาดผลึกสม่ำเสมอ ผิวเรียบเนียนมากกว่าผิวของฟิล์ม PEDOT:PSS เป็นผลให้การสร้างชั้นเพอรอฟสไกต์มีคุณภาพที่ดีขึ้น

ภาพที่ 4c-4e แสดงผิวของชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนวัสดุนำโพลีเมอร์ต่างกัน ขนาดผลึกที่ใหญ่ขึ้นและมีรูพรุนเป็นผลดีต่อประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของชั้นเพอรอฟสไกต์ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



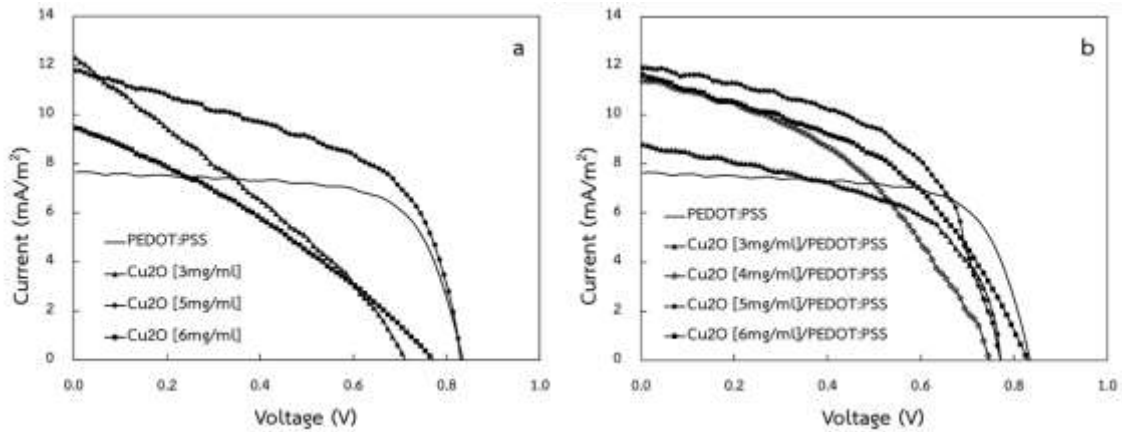
ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวและผลึกของ a) फिल्म PEDOT:PSS b) फिल्म Cu_2O
 c) फिल्मเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนฟิล์ม PEDOT:PSS d) फिल्मเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนฟิล์ม Cu_2O (CuI 5 mg/ml)
 และ e) फिल्मเพอรอฟสไกต์ที่สร้างบนฟิล์ม PEDOT:PSS/ฟิล์ม Cu_2O (CuI 5mg/ml)

2. คุณสมบัติทางไฟฟ้า

จากการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยชุดทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าเซลล์อ้างอิงที่ใช้วัสดุหน้าโฮลเป็น PEDOT:PSS มีค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้ J_{SC} 7.56 mA/cm^2 , V_{OC} 0.83 V และประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้า (PCE) 4.37% ดังแสดงในตารางที่ 1

เซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่ใช้ Cu_2O เป็นวัสดุหน้าโฮล โดยทำการปรับค่าความเข้มข้นของสารละลาย CuI ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuI (3 mg/ml, 5 mg/ml) ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าของเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นผลมาจากการดูดกลืนแสงที่ดีขึ้นของชั้นเพอรอฟสไกต์ดังภาพที่ 3a จะเห็นว่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuI ทำให้ J_{SC} เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 5a และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง 6 mg/ml ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้ากลับมีค่าลดลง เป็นผลมาจากการดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์มีค่าลดลง จึงส่งผลให้ J_{SC} ลดลง

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่ใช้วัสดุหน้าโฮลแบบชั้นคู่ ซึ่งประกอบไปด้วย Cu_2O และ PEDOT:PSS พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuI (3 mg/ml, 4 mg/ml, 5 mg/ml) ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม Cu_2O ทำให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดกลืนแสงของชั้นเพอรอฟสไกต์ดังภาพที่ 3b จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuI ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ J_{SC} มีค่าเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 5b แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuI เป็น 6 mg/ml พบว่าประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าของเซลล์มีค่าลดลงเนื่องมาจากค่าการดูดกลืนแสงของชั้นเพอรอฟสไกต์มีค่าลดลง ส่งผลให้ J_{SC} ที่มีค่าลดลง



ภาพที่ 5 I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่ใช้วัสดุนำโฮลต่างกัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ที่ใช้วัสดุนำโฮลต่างชนิดกัน

Hole transporting material	PCE (%)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	I _{MAX} (mA/cm ²)	V _{MAX} (V)
PEDOT:PSS	4.37	7.56	0.83	6.57	0.67
Cu ₂ O (CuI 3 mg/ml)	2.63	12.37	0.71	6.33	0.41
Cu ₂ O (CuI 5 mg/ml)	5.12	11.70	0.83	7.71	0.67
Cu ₂ O (CuI 6 mg/ml)	2.33	9.48	0.77	5.63	0.41
Cu ₂ O (CuI 3 mg/ml) / PEDOT:PSS	3.56	8.85	0.77	6.19	0.58
Cu ₂ O (CuI 4 mg/ml) / PEDOT:PSS	3.62	11.45	0.75	7.63	0.47
Cu ₂ O (CuI 5 mg/ml) / PEDOT:PSS	4.90	11.94	0.77	8.38	0.59
Cu ₂ O (CuI 6 mg/ml) / PEDOT:PSS	4.28	11.75	0.83	8.00	0.53

สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยเทคนิคการใช้วัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ (Double layers) โดยจัดวางฟิล์ม Cu₂O ให้อยู่ระหว่างกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า FTO และชั้นฟิล์ม PEDOT:PSS หลังจากการปรับปรุงเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ พบว่าเซลล์ที่ใช้วัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ (Cu₂O/PEDOT:PSS) ให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าเท่ากับ 4.90% ซึ่งเป็นผลมาจาก J_{sc} ที่เพิ่มขึ้น 11.94 mA/m² ในขณะที่ J_{sc} ของเซลล์ที่ใช้ PEDOT:PSS มีค่าเพียง 7.56 mA/m² เป็นผลให้ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าของเซลล์ที่ใช้ PEDOT:PSS หรือเซลล์อ้างอิงมีค่าเพียง 4.37% ซึ่งน้อยกว่าเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงถึง 12.13% ดังนั้นการปรับปรุงวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่โดยใช้ Cu₂O และ PEDOT:PSS จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุนำโฮลในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Park M.-A., Park I.J., Park S., Kim J., Jo W., Son H.J., Kim J.Y. (2018). Enhanced electrical properties of Li-doped NiO_x hole extraction layer in p-i-n type perovskite solar cells. *Current Applied Physics* 18: S55-S59.
- [2] Zhu J.-Y., Niu K., Li M., Lin M.-Q., Li J.H., Wang Z.-K. (2018). PEDOT:PSS-CrO₃ composite hole-transporting layer for high-performance p-i-n structure perovskite solar cells. *Organic Electronics* 54: 9-13.
- [3] Zhu X.-Z., Han Y.-Y., Liu Y., Ruan K.-Q., Xu M.F., Wang Z.-K., Jie J.-S., Liao L.-S. (2013). The application of single-layer graphene modified with solution-processed TiO_x and PEDOT:PSS as a transparent conductive anode in organic light-emitting diodes. *Organic Electronics* 14: 3348-3354.

- [4] Kaneko R., Chowdhury T.H., Wu G., Emrul Kayesh Md., Kazaoui S., Lee J.-J., Noda T., Islam A., Otsuki J. (2019). Cobalt-doped nickel oxide nanoparticles as efficient hole transport materials for low-temperature processed perovskite solar cells. *Solar Energy* 181: 234-250.
- [5] Hu W.-D., Dall'Agnese C., Wang X.-F., Chen G., Li M.-Z., Song J.-X., Wei Y.-L., Miyasaka T. (2018). Copper iodide-PEDOT:PSS double hole transport layers for improved efficiency and stability in perovskite solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 357: 36-40.
- [6] Xiong Q., Tian H., Han L., Lu C., Shen B., Zhang Y., Zheng Y., Lu C., Zeng Z., Hu Z., Wu L., Zhu Y. (2018). CuSCN modified PEDOT:PSS to improve the efficiency of low temperature processed perovskite solar cells. *Organic Electronics* 61: 151-156.
- [7] Hou F., Su Z., Jin F., Yan X., Wang L., Zhao H., Zhu J., Chu B., Li W. (2015). Efficient and stable planar heterojunction perovskite solar cells with an MoO₃/PEDOT:PSS hole transporting layer. *Nanoscale* 7(21): 9427-9432.
- [8] Lee D.-Y., Na S.-I., Kim S.-S. (2016). Graphene oxide/PEDOT:PSS composite hole transport layer for efficient and stable planar heterojunction perovskite solar cells. *Nanoscale* 8: 1513-1522.

การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมคาร์บอเนต

พรทิพย์ ภูมิยิ่ง และภาคิน อินทร์ชิตจ้อย

สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 60000

E-mail: i.pakin@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์จากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ศึกษาลักษณะเฉพาะ สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ การวิจัยนี้ได้นำส่วนของเปลือกกล้วยมาเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีคาร์บอนเซชันและวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต โดยมีเงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 800 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า 1) ลักษณะของถ่านและถ่านกัมมันต์ เป็นผงลักษณะสีดำความละเอียดสูงและเบา เมื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตที่ได้จะน้อยลง 2) การศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพบว่าถ่านมีความเป็นผลึกต่ำแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้เป็นคาร์บอนแบบอสัณฐาน การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิค scanning electron microscope (SEM) พบว่า ถ่านที่ได้ไม่มีรูพรุนที่ผิวด้านนอก และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี พบว่าทุกเงื่อนไขมีรูพรุน ขนาด 0.1 ไมโครเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้นเมื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ กล้วย โพแทสเซียมคาร์บอเนต ปีอีที

Preparation and Characterization of Activated Carbon from Cultivated banana by Potassium Carbonate Activation

Porntip Poomying^{1, a} and Pakin Inchidjuy^{1, b}

¹Program Science Education, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan Thailand 60000.

E-mail : i.pakin@yahoo.co.th

Abstract

This research has objectives to prepare activated carbon from cultivated banana by chemical activation method. This study investigates the physical properties and characterization of the prepared activated carbon. This research used banana peels to prepare as activated carbon with carbonization method and chemical stimulation method with potassium carbonate with calcination conditions at a temperature of 700 0C 800 0C and 900 0C for 2 hours. The results of the study found that 1) The Characterizations of charcoal and activated carbon are, black color, high fire and light power, which has less productivity at higher temperature of activation. 2) The structure of prepared activated carbon analyzed by using X-Ray Diffraction (XRD) technique. That found activated carbon from banana peel found that the charcoal has low crystallinity, indicating amorphous of carbon. The morphology of charcoal and activated carbon studied by scanning electron microscope (SEM) found the banana peels are not found porosity on the outer surface and the activated carbon with chemical activation from the banana peels has porosity, 0.1 μm to 1 μm . All conditions of the banana peels had a larger pore size with higher temperature of activation.

Keywords: Activated Carbon, banana, K₂CO₃, BET

บทนำ

กรมควบคุมมลพิษ ประเทศไทย ได้รายงานว่าในปี พ.ศ. 2550 ขยะทั่วประเทศไทยมีปริมาณ 14.72 ล้านตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียง 3.25 ล้านตันหรือ ร้อยละ 22 ซึ่งยังมีสัดส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์แปรรูปและเพิ่มมูลค่าได้อีกรวมทั้งข้อมูลของกรมอนามัยได้ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับปริมาณซากขยะวันลอยกระทงที่ลอยอยู่ในแม่น้ำลำคลองเป็นจำนวนมาก โดยอ้างอิงจากสถิติของกรุงเทพมหานคร พบว่าปริมาณกระทงที่เก็บได้ปี 2559 เฉพาะในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งหมด 661,935 ใบ แบ่งเป็นกระทงจากวัสดุทางธรรมชาติ เช่น ต้นกล้วย ใบตอง จำนวน 617,901 ใบ หรือร้อยละ 93.35 ของกระทงทั้งหมดทำให้เกิดขยะตกค้างในแม่น้ำลำธาร ซึ่งเจ้าหน้าที่เทศกิจและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องรีบเก็บกระทงในแม่น้ำ เพราะหากทิ้งไว้จะทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ขยะที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปกล้วย เช่น เปลือกกล้วย ก้านเครือกล้วย ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่งกลิ่นเหม็นเมื่อฝนตกหรือน้ำท่วมขังทางหน่วยงานที่รับผิดชอบต้องใช้งบประมาณในการกำจัดขยะเหล่านี้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามหากสามารถนำขยะเหล่านี้มาใช้ประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่าของขยะก็เป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์ การทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น (Chiemchaisri, Juanga, & Visvanathan, 2007; Kofoworola & Gheewala, 2009; Prasertsan & Sajjakulnukit, 2006)

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุคาร์บอนที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบที่ต่างจากแกรไฟต์ ดังนั้นวัสดุของแข็งคาร์บอนทั้งหลายสามารถเปลี่ยนไปเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เช่น ชีวมวล เซลลูโลส พืช ไม้ และถ่านหิน เป็นต้น แต่เหตุผลสำคัญที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างกว้างขวางจะเกี่ยวกับราคาเป็นสำคัญ โดยเฉพาะทางเลือกใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบธรรมชาติที่มีราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่ดีทางเคมีวัสดุในปัจจุบัน โดยมุ่งไปที่ชีวมวล เช่น แกลบข้าว ซึ่งได้คาร์บอนที่มีราคาถูกและยั่งยืน มีโครงสร้างนาโนของซิลิกา มีกลไกการผลิตที่รวดเร็วและมีความจุในการดูดซับที่เหมาะสม สามารถนำมาฟื้นฟูสภาพใหม่ได้ และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น เป็นตัวเร่งเสริมเป็นขั้วไฟฟ้า ตัวเก็บประจุ และการกักเก็บก๊าซ (Chen et al., 2011) ของเหลือทิ้งจากการผลิตไบโอดีเซลหรือแม้แต่มากของเสียจากการบำบัดน้ำเสียก็สามารถนำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์ได้โดยการกระตุ้นทางเคมีและไพโรไลซิสรวมทั้งสารพอลิเมอร์ เช่น สไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนโคพอลิเมอร์ (styrene - divinylbenzene copolymer) สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับผลิตคาร์บอนกัมมันต์ได้เช่นกัน (สัมฤทธิ์ ไม้พวง, 2015) เนื่องจากยังไม่มีมีการศึกษาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกล้วยด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต

ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นและให้ความสนใจในการเตรียมวัสดุถ่านกัมมันต์ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต ศึกษาสมบัติทางกายภาพของและลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อการเตรียมวัสดุถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของและลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. การรวบรวมข้อมูล มี 2 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 เตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีคาร์บอนเซชัน

1. นำเปลือกกล้วย นำมาล้าง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
2. นำเปลือกกล้วยที่อบแล้ว มาบดโดยใช้เครื่องปั่นด้วยความเร็ว 30,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที
3. นำเปลือกกล้วยที่บดแล้วปริมาณอย่างละ 3 กรัม นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าแบบท่อและให้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน โดยให้อัตราการไหลของแก๊สอยู่ที่ 400 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิการเผาที่ 800 องศาเซลเซียสโดยเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและคงที่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. บันทึกผลลงตารางเปรียบเทียบมวลของส่วนต่าง ๆ ของกล้วยก่อนเผาและหลังเผา
5. ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง เพื่อเก็บเป็นตัวอย่างต่อไป

ตอนที่ 2 การกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

- นำ K_2CO_3 มาผสมกับน้ำปราศจากไอออน (DI water) ในอัตราส่วน K_2CO_3 1 กรัม ต่อน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร
- อัตราส่วนน้ำหนักวัสดุจากเปลือกกล้วยต่อน้ำหนัก K_2CO_3 ซึ่งใช้อัตราส่วน 1:1
- นำเปลือกกล้วยที่ทำการกระตุ้นทางเคมีแล้วปริมาณอย่างละ 7 กรัม ไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าแบบท่อให้บรรยากาศแก๊สอาร์กอนโดยให้อัตราการไหลของแก๊สอยู่ที่ 400 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิการเผาที่ 700, 800, และ 900 องศาเซลเซียสโดยเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและคงที่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- บันทึกผลลงตารางเปรียบเทียบมวลของส่วนต่างๆ ของกล้วยก่อนเผาและหลังเผา
- นำวัสดุที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีค่า pH ประมาณ 7 นำไปให้แห้ง

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) รุ่น D8 advanced ผลิตโดยบริษัท Bruker กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น 6010 LV ผลิตโดยบริษัท JEOL เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุโดยเทคนิคการดูดกลืนแก๊ส (BET, BELSORP-minii)

ผลการวิจัย

การสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากส่วนต่างๆ ของกล้วย โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วย K_2CO_3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ศึกษาสมบัติลักษณะของพื้นผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุโดยเทคนิคการดูดกลืนแก๊ส

1. ลักษณะของถ่านและถ่านกัมมันต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ถ่าน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยโดยเทคนิคการกระตุ้นเชิงเคมีใช้ K_2CO_3 เป็นตัวกระตุ้น ลักษณะถ่านที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะสีดำมีความละเอียด ส่วนถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะผงสีดำ บดให้ละเอียดง่าย และน้ำหนักเบากว่าถ่านธรรมชาติ ปริมาณที่สังเคราะห์ได้สรุปได้ตามตาราง ที่ 1 และ 2 ดังนี้

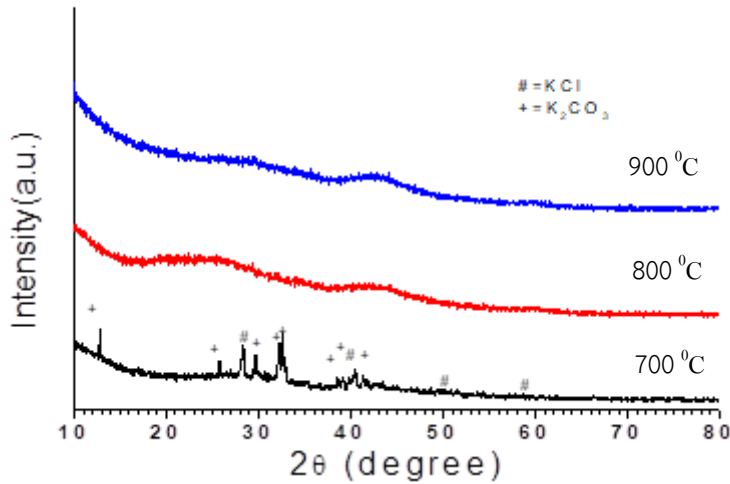
ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักของถ่านที่ผลิตจากเปลือกกล้วย

ส่วนต่างๆ ของต้นกล้วย	เผาอุณหภูมิ 700°C 2 hr.		เผาอุณหภูมิ 800°C 2 hr.		เผาอุณหภูมิ 900°C 2 hr.	
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา
	เปลือก	3 g	0.8786 g	3 g	0.9030 g	3 g
	$\Delta m = 2.1214$ g	29.28%	$\Delta m = 2.0970$ g	30.10%	$\Delta m = 2.0895$ g	30.35%

ตารางที่ 2 แสดงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกกล้วยสำหรับเงื่อนไขการกระตุ้นด้วย K_2CO_3

ส่วนต่างๆ ของต้นกล้วย	เผาอุณหภูมิ 700°C 2 hr.		เผาอุณหภูมิ 800°C 2 hr.		เผาอุณหภูมิ 900°C 2 hr.	
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา
	เปลือก	7 g	4.3948 g	7 g	3.9144 g	7 g

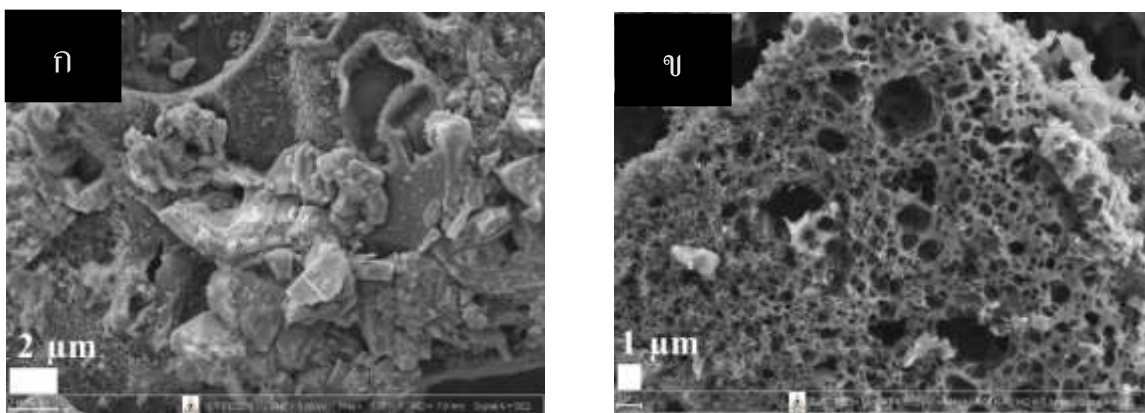
2. ผลการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)



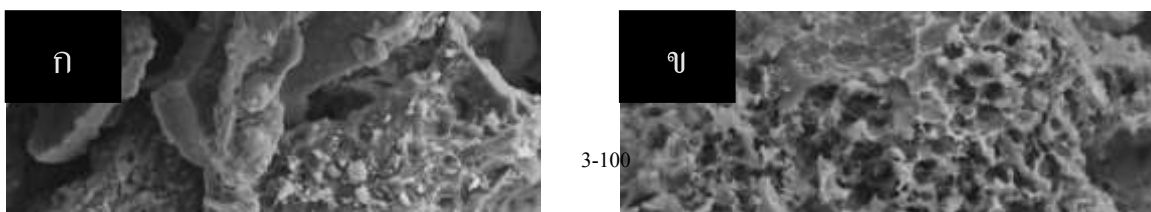
ภาพที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกกล้วย โดยเทคนิคการกระตุ้นเชิงเคมีใช้ K_2CO_3 เป็นตัวกระตุ้น

จากภาพที่ 1 ผลการทดลองรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกกล้วย พบว่าที่เงื่อนไขการไม่ใช้การกระตุ้น พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เป็นโครงสร้างป्लอมปนของ KCl เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS 041-1476) และ K_2CO_3 เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS 049-1093) และที่เงื่อนไขการกระตุ้นด้วย K_2CO_3 ที่อุณหภูมิ 700°C และ 9 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าไม่เกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จึงสามารถทำนายได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน

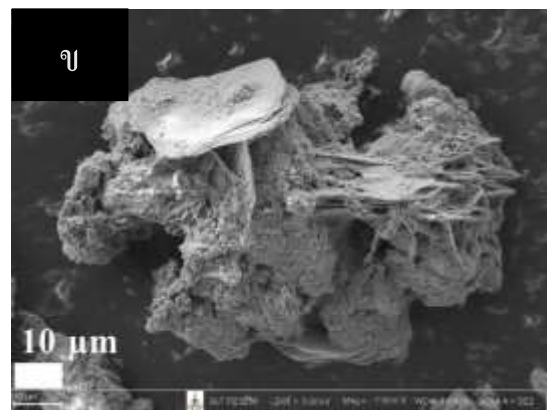
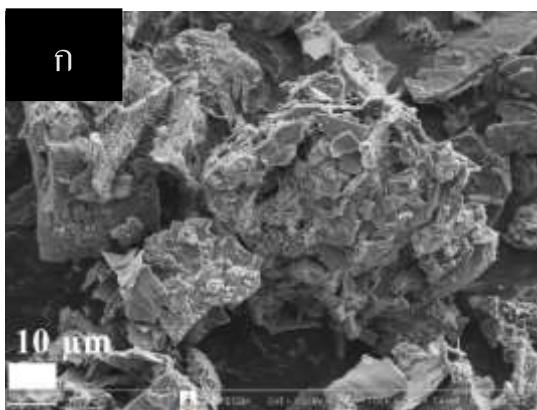
3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิค scanning electron microscope (SEM)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยาย 5000 เท่าของเปลือกกล้วยน้ำหว่าที่เตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีคาร์บอนเซชันและวิธีกระตุ้นทางเคมี เผาอุณหภูมิที่ 700°C เป็นเวลา 2 วิธีคาร์บอนเซชัน สเกลบาร์ (ก) ชั่วโมง โดย 2 ไมโครเมตร 1 วิธีกระตุ้นทางเคมี สเกลบาร์ (ข) ไมโครเมตร



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยาย เท่าของเปลือกกล้วยน้ำหว้าที่เตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีคาร์บอน 5000 เซชันและวิธีกระตุ้นทางเคมี เผาอุณหภูมิที่ 800°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดย วิธีคาร์บอนเซชัน สเกลบาร์ (ก) ไมโครเมตร 1 วิธีกระตุ้นทางเคมี สเกลบาร์ (ข) ไมโครเมตร 1

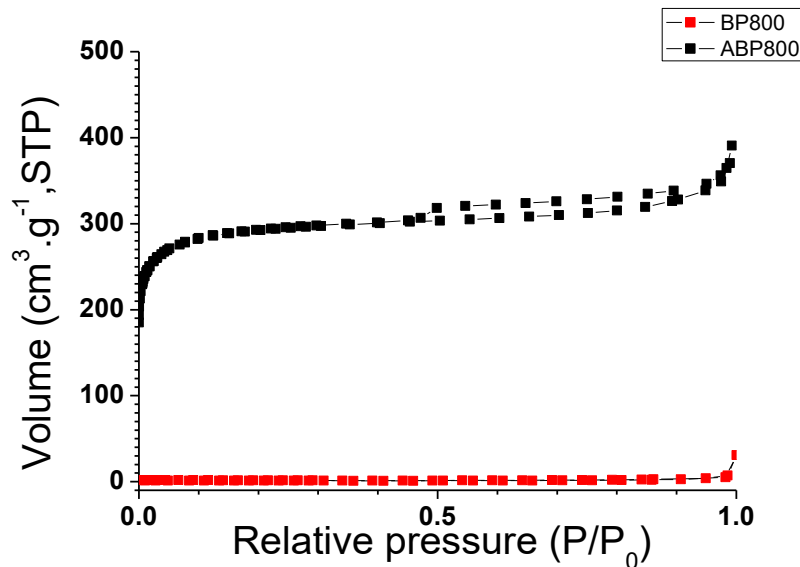


ภาพที่ 4 แสดงลักษณะทางกายภาพที่กำลังขยาย เท่าของเปลือกกล้วยน้ำหว้าที่เตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธี 1000 คาร์บอนเซชันและวิธีกระตุ้นทางเคมี เผาอุณหภูมิที่ 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดย วิธี (ก) คาร์บอนเซชัน สเกลบาร์ 10 ไมโครเมตร 1 วิธีกระตุ้นทางเคมี สเกลบาร์ (ข) 0 ไมโครเมตร

4. ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากส่วนต่าง ๆ ของกล้วย ต่อพื้นที่ผิวและลักษณะรูพรุน

จากผลการศึกษาลักษณะสัญญาณวิทยาสำหรับการศึกษาลักษณะพื้นผิว พบว่า ที่เงื่อนไขการสังเคราะห์ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ องค์ศาเซลเซียส เหมาะแก่การนำไปศึกษาสมบัติทางพื้นผิว สมบัติเชิงไฟฟ้าเคมี โดยการศึกษาพื้นที่ผิวและ 800 จะใช้ถ่านกัมมันต์จากส่วนต่างๆของกล้วย ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิ ลักษณะรูพรุนภูมิ องค์ศาเซลเซียส จากภาพที่ 8005 แสดงตัวอย่าง กราฟเส้นไอโซเทอมการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย ระหว่างถ่านจากเปลือกกล้วย และถ่านกัมมันต์ จากเปลือกกล้วย พบว่าที่เงื่อนไขถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการกระตุ้นเชิงเคมี มี Hysteresis loop บนเส้นกราฟไอโซเทอม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กและขนาดกลางภายในโครงสร้าง ส่วนเงื่อนไข ถ่านจากเปลือกไม่มี Hysteresis loop บนเส้นกราฟไอโซเทอม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถ่านที่เตรียมได้ไม่มีรูพรุนขนาดเล็ก และขนาด กลาง ทำการศึกษาลักษณะของเส้นกราฟไอโซเทอมพบว่าเป็นชนิด Type I โดยจำแนกตามระบบ IUPAC และพบว่าที่เงื่อนไข ถ่านกัมมันต์เปลือกกล้วย Hysteresis loop บนเส้นกราฟไอโซเทอม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถ่านที่เตรียมได้มีรูพรุนขนาดเล็ก และขนาด

กลาง โนโครสร้างถ่านกัมมันต์ด้วย จากนั้นได้คำนวณ สมการ BET ได้ค่า พื้นที่ผิวเฉพาะ ปริมาตรรูพรุน และ ขนาดของรูพรุน ดัง ตารางที่ 5 พบว่า ที่เงื่อนไขถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยมีพื้นที่ผิวเฉพาะที่ 1125 m²/g



ภาพที่ 5 เส้นไอโซเทอมการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย ระหว่าง ถ่านจากเปลือกกล้วย และถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

ตารางที่ 3 แสดงพื้นที่ผิวเฉพาะ ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จาก 3เปลือกกล้วยที่อุณหภูมิ 800 °C

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิวเฉพาะ)m ² /g(ปริมาตรรูพรุน)cm ³ /g(ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (mm)
800	1125	0.58	2.06

สรุปและอภิปรายผล

สามารถสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากส่วนต่างๆ ของกล้วยได้โดยวิธีกระตุ้นเชิงเคมีด้วย K₂CO₃ ได้ เป็นผงลักษณะสีดำ ความละเอียดสูงและเบา เมื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตที่ได้จะน้อยลง

เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างโดยเทคนิค XRD พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพบว่าถ่านมีความเป็นผลึกต่ำแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้เป็นคาร์บอนแบบอสัณฐาน

ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกกล้วยไม่มีรูพรุนที่ผิวด้านนอก และที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี ถ่านกัมมันต์พบว่าทุกเงื่อนไขมีรูพรุน ขนาด 0.1 ไมโครเมตร ถึง 1 ไมโครเมตรทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าทุกเงื่อนไข ส่วนต่างๆ ของกล้วย มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้น

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากส่วนต่างๆของกล้วยกระตุ้นเชิงเคมีที่ 800 องศาเซลเซียส พบว่าทุกเงื่อนไขพบว่า มีรูพรุน ชนิด Type I โดยจำแนกตามระบบ IUPAC ถ่านกัมมันต์จากต้นกล้วยและเปลือกกล้วย พบ Hysteresis loop บนเส้นกราฟไอโซเทอม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถ่านที่เตรียมได้ไม่มีรูพรุนขนาดเล็ก และขนาดกลาง ส่วนเงื่อนไขอื่นพบว่า มีรูพรุนขนาดเล็ก เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวพบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย มีพื้นที่ผิวเฉพาะที่มากที่สุด 1125 m²/g

ข้อเสนอแนะ

กระบวนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต ทำได้ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำ ควรนำไปประยุกต์ใช้สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลชนิดอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

- จิราภรณ์ สอดจิตร์, เจริญทอง สิงห์จามรงค์, กนกกานต์ วีระกุล, วิจิตร อุดอ้าย, & สัมฤทธิ์ ไม้พวง. (2009). โครงการการผลิตถ่านอัดแท่งและถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยและเครือกล้วย. Retrieved from สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/95>
- ณัฐยา พูนสุวรรณ. (2002). การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์และขาน้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
- ไม้พวง, ส. (2015). คาร์บอนกัมมันต์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- Chen, Y., Zhu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wang, L., Ding, L., . . . Guo, Y. (2011). Application studies of activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process--a review. *Adv Colloid Interface Sci*, 163(1), 39-52. doi:10.1016/j.cis.2011.01.006
- Chiemchaisri, C., Juanga, J. P., & Visvanathan, C. (2007). Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1-3), 13-20. doi:10.1007/s10661-007-9707-1
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2009). Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: Application to environmental problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2495-2504. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.009>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2011). Utilization of rice husks as a feedstock for preparation of activated carbon by microwave induced KOH and K₂CO₃ activation. *Bioresour Technol*, 102(20), 9814-9817. doi:10.1016/j.biortech.2011.07.102
- Getachew, T., Hussen, A., & Rao, V. M. (2015). Defluoridation of water by activated carbon prepared from banana (*Musa paradisiaca*) peel and coffee (*Coffea arabica*) husk. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(6), 1857-1866. doi:10.1007/s13762-014-0545-8
- Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Manag*, 29(2), 731-738. doi:10.1016/j.wasman.2008.07.004
- Prasertsan, S., & Sajjakulnukit, B. (2006). Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renewable Energy*, 31(5), 599-610. doi:10.1016/j.renene.2005.08.005

การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำเค็ม

Pich Khoem¹ สุกานต์ภริมย์ ศรีวงษ์² และ รวิภัทร ลากเจริญสุข^{1, a}

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 ประเทศไทย

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 ประเทศไทย

email: ^aravipat.la@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ความเค็มในแหล่งน้ำถือเป็นปัญหาสำคัญในการเกษตรกรรม ปัจจุบันการตรวจวัดความเค็มใช้เครื่องมือที่อาศัยหลักการการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ซึ่งเป็นเพียงการวัดไดโอดทางอ้อม ดังนั้นการนำเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมาประยุกต์ในการวัดความเค็มของน้ำจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญก่อนการสร้างแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีคือการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ความแม่นยำถูกรายงานด้วยความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์สำหรับการตรวจสอบน้ำเค็ม ตัวอย่างน้ำเค็มถูกเตรียมขึ้นจากการผสมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0 3.5 7 10.5 14 17.5 21 24.5 28 31.5 และ 35 ppt ในน้ำกลั่น สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของตัวอย่างถูกบันทึกด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทวนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำ ค่าการดูดกลืนในช่วงจำนวนคลื่น (wavenumber) เท่ากับ 5154 cm^{-1} ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนของน้ำถูกเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ จากการทดลองพบว่าเครื่อง FT-NIR spectrometer แสดงค่าความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) เท่ากับ 0.731656 ± 0.001500 และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) เท่ากับ 0.718098 ± 0.107781 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า FT-NIR spectrometer เหมาะสมสำหรับการทดลองสร้างแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเค็มได้

คำสำคัญ: ความแม่นยำ เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี น้ำ ความเค็ม

Precision analysis of near infrared spectrometer for evaluating saline water

Pich Khoem¹, Sukanpirom Sriwong, Ravipat Lapcharoensuk^{1, a}

¹Post Harvest Innovation Research and Development Laboratory, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

E-mail; ^aravipat.la@kmitl.ac.th

Abstract

Salinity in water resource is importance problem of agriculture. Nowadays salinity evaluation is performed with instrument based on electrical conductivity approach which is an indirect method. Therefore, application of near infrared spectroscopy for measuring salinity in water is an interested issue. However, first importance procedure before near infrared spectroscopy modeling is precision analysis of near infrared spectrometer. Precision is reported on repeatability and reproducibility. This research aims to study precision of near infrared spectrometer for evaluating saline water. Saline water samples were prepared by blending sodium chloride at concentration level of 0 3.5 7 10.5 14 17.5 21 24.5 28 31.5 and 35 ppt in distilled water. Near infrared spectra of sample was recorded using FT-NIR spectrometer for analyzing repeatability and reproducibility. Absorbance value at 5154 cm^{-1} , which is absorbance band of water, was selected for studying in this research. The results showed that FT-NIR spectrometer presented repeatability and reproducibility less than 10 percentage. This finding point indicate that FT-NIR spectrometer optimized for experiment of development of NIR spectroscopy model for detecting salinity in water.

Keywords: Precision; Near infrared spectroscopy; water; salinity.

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าพื้นที่เกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศไทยบริเวณหนึ่ง ได้แก่ บริเวณตั้งแต่ปากอ่าวไทยถึงลุ่มแม่น้ำต่างๆ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา (ซึ่งครอบคลุมบริเวณจังหวัด กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี และสมุทรปราการ) แม่น้ำท่าจีน (ซึ่งครอบคลุมบริเวณจังหวัด นครปฐม สมุทรสงคราม และสมุทรสาคร) และแม่น้ำบางปะกง (ครอบคลุมบริเวณจังหวัด ฉะเชิงเทรา และสมุทรปราการ) ที่เป็นแหล่งเกษตรกรรมที่อาศัยน้ำจากแม่น้ำเป็นหลักและโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สวนผลไม้ เช่น มะพร้าว น้ำหอม มะม่วง สับโอ ข้าว พืชผัก พืชไร่ ป่าไม้ และสวนกล้วยไม้ที่นำรายได้เข้าประเทศกว่าสองพันล้านบาทถึงสามพันล้านบาทต่อปี เนื่องจากมีคุณภาพดินและแหล่งน้ำที่สมบูรณ์แบบในบริเวณนั้นเป็นน้ำกร่อยที่ทำให้บริเวณดังกล่าวสามารถเพาะปลูกผลิตผลทางการเกษตรประเภทผลไม้ได้ดี แต่ปัญหาหลักอย่างหนึ่งของการเพาะปลูกในบริเวณดังกล่าว คือ ในช่วงที่มีน้ำทะเลหนุนทำให้ความเค็ม (Salinity) ของน้ำและดินจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของพืชซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจุบันการตรวจวัดความเค็มในภาคสนามใช้เครื่องมือที่อาศัยหลักการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ซึ่งเป็นเพียงการวัดโดยทางอ้อม สำหรับการตรวจสอบโดยตรงด้วยวิธีทางเคมีต้องอาศัยวิธีใดก็ตามเพื่อหาปริมาณของสารละลายซึ่งทำให้เกิดความเค็ม เช่น ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น สำหรับการวัดความเค็มของกรมชลประทานทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดน้ำ (Water quality meter) ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์ที่อาศัยหลักการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ซึ่งเป็นการตรวจสอบได้เพียงเบื้องต้นเท่านั้น หากต้องการตรวจสอบเพื่อที่ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำสูงต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยากและต้นทุนสูง มีวิธีที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายแทนที่การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีแบบดั้งเดิมคือเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared Spectroscopy, NIR) เป็นวิธีที่ง่ายไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้สารเคมี มีความแม่นยำสูงและไม่ทำลายตัวอย่าง มีนักวิจัยหลายคนได้รายงานการใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบความเค็มในผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบต่างๆ ได้ผลที่น่าพึงพอใจ เช่น ปลาซาร์ดินกระป๋อง (Srikornkarn et al., 2014) แซลมอนรมควัน (Lin et al., 2003) และในดิน (Zov et al., 2018 และ Peng et al., 2016) จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นข้อมูลที่สามารถบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบความเค็มในน้ำได้ อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบความเค็มของน้ำนั้นขั้นตอนคือ เก็บข้อมูลสเปกตรัมช่วงเนียร์อินฟราเรดของน้ำเค็ม วัดความเค็มด้วยวิธีมาตรฐาน สร้างแบบจำลองในการทำนายความเค็มของน้ำ และทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลสเปกตรัมช่วงเนียร์อินฟราเรดการวิเคราะห์ความแม่นยำด้วยวิธีการทดสอบการทวนซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำ (Reproducibility) เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อยืนยันความแม่นยำของเครื่องมือ หากเครื่องมือไม่มีความแม่นยำในการวัดย่อมส่งผลกระทบต่อทำนายค่าของแบบจำลองได้ การวิเคราะห์หาความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (NIR spectrometer) เป็นขั้นตอนที่นักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีได้ดำเนินการศึกษากันมากับตัวอย่างต่างๆ เช่น ดิน (Phanomsophon and Sirisomboon, 2019), ทูเรียน (Chanachot et al., 2019), ฟางข้าว (Fonseca et al., 2019), กระถิน (Posom et al., 2019) และ ข้าวหนึ่ง (Onmankhong and Sirisomboon, 2018) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์หาความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ โดยความแม่นยำถูกรายงานด้วยความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำเค็มที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและต้นทุนไม่สูง โดยใช้เครื่อง Near infrared Spectroscopy (NIR) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้งานกับเครื่อง NIR แบบพกพา (Portable NIR) ซึ่งมีความเหมาะสมกับเกษตรกรมากกว่า โดยถ้าสร้างงานวิจัยนี้สำเร็จ เราจะได้วิธีที่สามารถช่วยในการตรวจสอบค่าความเค็มในน้ำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำจะช่วยให้สามารถพิจารณาความเค็มของน้ำก่อนนำน้ำนั้นมาใช้ในการเพาะปลูกหรือการปล่อยน้ำต่อนบนของกลุ่มน้ำท่าจีนเพื่อมาจืดจางน้ำเค็มซึ่งจะเป็นการแก้ไขปัญหาได้ทันเวลาและตรงจุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเค็ม
2. เพื่อศึกษาลักษณะสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของน้ำบริสุทธิ์และน้ำที่ผสมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำเค็มถูกเตรียมขึ้นจากการผสมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในน้ำกลั่นและผสมให้เข้ากันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทั้งหมด 10 ระดับ 0 3.5 7 10.5 14 17.5 21 24.5 28 31.5 และ 35 ppt ในน้ำกลั่น โดยตัวอย่างถูกเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่างสีชาและวางไว้ในตู้อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 °C)

2. การบันทึกข้อมูลสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด หลังจากเตรียมตัวอย่างน้ำเค็มเสร็จ น้ำตัวอย่างจะถูกบันทึกข้อมูลสเปกตรัมทันที โดยดูดตัวอย่างน้ำจากขวดโดยหลอดหยด (Dropper) และหยดลงในถ้วยควอซ (รัศมีและความสูงเท่ากับ 9.7 cm และ 9 cm ตามลำดับ) พร้อมปิดฝาด้วยฝาเซรามิก สเปกตรัมของตัวอย่างถูกวัดโดยใช้เครื่อง FT-NIR spectrometer (Bruker Ltd., Germany) ด้วยโหมดการวัดแบบ Diffuse reflectance ที่เลขคลื่น (wavenumber) เท่ากับ $12500-4000$ cm^{-1} ($800-2500$ nm) ด้วยความละเอียดเท่ากับ 8 cm^{-1} ค่าการดูดกลืนแสงในหน่วย $\log 1/R$ การบันทึกข้อมูลแต่ละครั้ง เครื่องสเปกโทรมิเตอร์จะเก็บข้อมูล 32 ครั้งต่อ 1 การวัด แต่ละตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จะถูกแบ่งเป็น 10 ส่วนเพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมแต่ละส่วน ดังนั้นข้อมูลสเปกตรัมของแต่ละระดับความเข้มข้นจะมีสเปกตรัม 10 ข้อมูล การบันทึกข้อมูลด้วยสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ดังแสดงในภาพที่ 1 การดำเนินการเก็บข้อมูลสเปกตรัมกระทำภายใต้อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 °C)



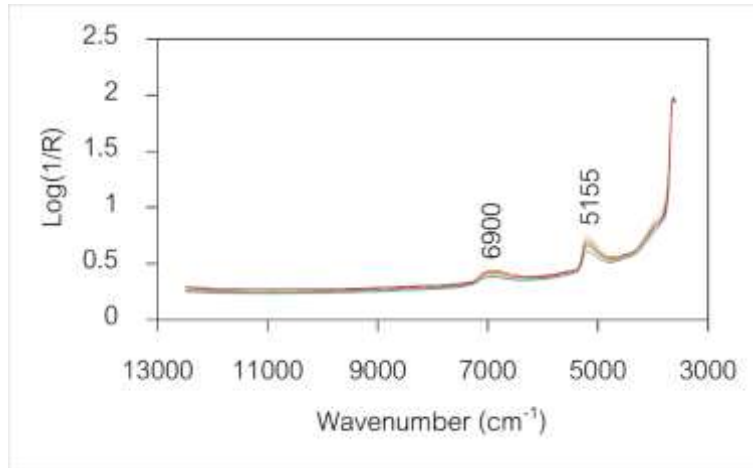
ภาพที่ 1 การบันทึกสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer

3. การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ถูกรายงานด้วยความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ในการทดลองนี้ความสามารถในการทวนซ้ำดำเนินการโดยบันทึกสเปกตรัมของน้ำกลั่นบริสุทธิ์จำนวน 10 ซ้ำที่สภาวะการทดลองเดียวกัน (ตำแหน่งเดิม) และสำหรับความสามารถในการทำซ้ำดำเนินการโดยการบันทึกสเปกตรัมของน้ำกลั่นจำนวน 10 ซ้ำโดยเปลี่ยนสภาวะในการทดลอง (เปลี่ยนตำแหน่งการวัดตัวอย่างใหม่) ความสามารถในการทวนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำถูกรายงานด้วยค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) จากข้อมูลสเปกตรัมที่บันทึกซ้ำโดยการเลือกค่าการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่นเท่ากับ 5154 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของการสั่นสะเทือนของน้ำ (Osborne and Fearn, 1993)

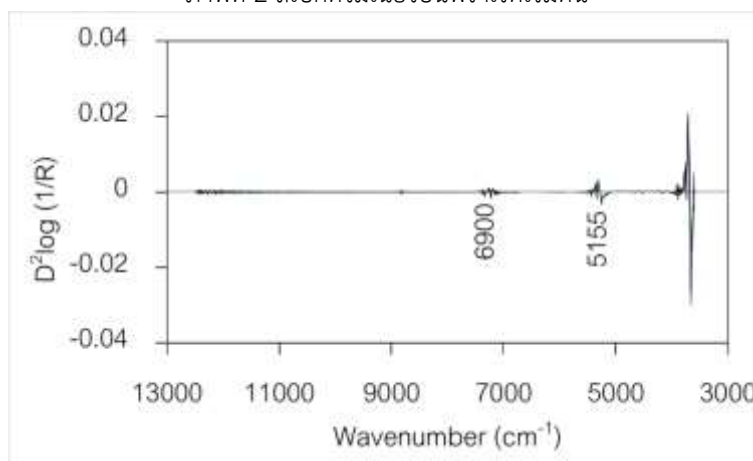
ผลการวิจัย

1. สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด สเปกตรัมเริ่มต้นและสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสองของตัวอย่างน้ำบริสุทธิ์และน้ำเค็มที่ได้ถูกเตรียมมาทั้งหมด 10 ระดับแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จุดสูงสุดของการดูดกลืนแสงที่เห็นได้ชัดเกิดขึ้นที่เลขคลื่นที่ 6900 cm^{-1} และ 5155 cm^{-1} (1450 และ 1940 nm) ทั้งบนเส้นสเปกตรัมเริ่มต้นและสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง โดยจุดสูงสุดที่เกิดขึ้นทั้งสองคือสัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H แบบโอเวอร์โทนลำดับที่ 1 (first overtone of O-H stretching) ที่เลขคลื่นเท่ากับ 5155 cm^{-1} และแบบคอมบิเนชันของน้ำ (H_2O) ที่เลขคลื่นเท่ากับ 6900 cm^{-1} (Osborne and Fearn, 1993) อย่างไรก็ตามหลักการของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ที่ขึ้นกับแสงในช่วงเนียร์อินฟราเรดไม่ทำให้เกิดอันตราย

กิริยากับเกลือ (เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)) เพราะแสงเนียร์อินฟราเรดนั้นเกิดอันตรกิริยากับพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น (เช่น O-H, C-H, N-H) แต่ความเป็นไปได้ในการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อตรวจสอบความเค็มเนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะส่งผลต่อโครงสร้างและพันธะของน้ำ (Begley et al., 1984; Lin and Brown, 1992; Huang et al., 2001; Huang et al., 2002; Lin et al., 2003)



ภาพที่ 2 สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดเริ่มต้น



ภาพที่ 3 สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดหลังการทำอนุพันธ์ลำดับที่ 2

2. ความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

ผลของการทดลองความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์แสดงในตารางที่ 1 เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์แสดงความแม่นยำสูงที่สามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) เท่ากับ 0.731656 ± 0.001500 และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) เท่ากับ 0.718098 ± 0.107781 โดยปกติค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จะถูกคำนวณเพื่ออธิบายระดับของความแปรปรวนในชุดข้อมูล โดยหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำแสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนต่ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยทั้งในเทอมของการทำซ้ำและการทำซ้ำ สิ่งนี้บ่งบอกถึงเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์มีความแม่นยำภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่สภาวะเดียวกันและแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

Overall precision test	Repeatability		Reproducibility	
	Average	SD	Average	SD
Absorbance values at 5155 cm ⁻¹	0.731656	0.001500	0.718098	0.107781

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเค็ม โดยรายงานความแม่นยำด้วยสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่อง FT-NIR spectrometer ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบ Repeatability และ Reproducibility ที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย จึงกล่าวได้ว่า FT-NIR spectrometer เหมาะสมสำหรับการทดลองสร้างแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเค็มได้

เอกสารอ้างอิง

- Begley, T. H., Lanza, E., Norris, K. H., Hruschka W. R. (1984). Determination of sodium chloride in meat by near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 32(5), 984-987.
- Chanachot, K., Saechua, W., Sirisomboon, P. (2019). Near infrared scanning precision analysis for intact durian fruits (cv. Chanee, Kanyao and Monthong). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 301, 12062.
- Fonseca, F.G., Funke, A., Saechua, W., Sirisomboon, P. (2019). Precision test for the spectral characteristic of FT-NIR for the measurement of water content of wheat straw. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 301, 12034.
- Huang, Y., Cavinato, A., Mayes, D., Bledsoe, G., Rasco, B. (2002), Nondestructive Prediction of Moisture and Sodium Chloride in Cold Smoked Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science* 67, 2543-2547.
- Huang, Y., Rogers, T. M., Wenz, M. A., Cavinato, A. G., Mayes, D. M., Bledsoe, G. E., Rasco, B. A. (2001). Detection of sodium chloride in cured salmon roe by SW-NIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (9), 4161-4167.
- Onmankhong, J., Sirisomboon, P. (2018). Near infrared scanning precision test for texture characteristics of parboiled rice. The 11th International Conference of Thai society of agricultural engineering (TSAE2018), Thailand, 25-27 April 2018.
- Lin, J., Brown, C.W., 1992. Near-IR Spectroscopic Determination of NaCl in Aqueous Solution. *Journal of Applied Spectroscopy* 46(12),1809- 1815.
- Lin, M., Cavinato, A., Huang, Y., Rasco, B. (2003). Predicting sodium chloride content in commercial king (*Oncorhynchus tshawytscha*) and chum (*O. keta*) hot smoked salmon fillet portions by short-wavelength near-infrared (SW-NIR) spectroscopy. *Food Research International* 36, 761-766.
- Osborne, B. G., Fearn, T., (1993). *Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis*. London: Longman Science & Technical: 13-35.
- Peng, J., Ji, W., Ma, Z., Li, S., Chen, S., Zhou, L. Shi, Z. (2016). Predicting total dissolved salts and soluble ion concentrations in agricultural soils using portable visible near-infrared and mid-infrared spectrometers. *Biosystems Engineering* 152, 94-103.
- Phanomsophon, T., Sirisomboon, P. (2019). Precision test for scanning of soil in durian orchard using near-infrared spectroscopy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 301, 12070.
- Posom, J., Sirisomboon, P., Saechua, W. (2018). Precision test for spectral characteristic of NIR spectroscopy and bomb calorimeter for measuring higher heating value of *Leucaena Leucocephala*. *MATEC Web of Conferences* 192, 3049.
- Srikornkarn, S., Sirisomboon, P. (2014). Feasibility of evaluation of salt content in canned sardine in oil by near infrared spectroscopy. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2, 381-385.

Zovko, M., Romić, D., Colombo, C., Iorio, E. D., Romić, M., Buttafuoco, G., Castrignan, A. (2018). A geostatistical Vis-NIR spectroscopy index to assess the incipient soil salinization in the Neretva River valley, Croatia. *Geoderma* 332, 60-72.

การออกแบบและประยุกต์ใช้เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจากพืช เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

มกรินทร์ กาญจนสุด พาสินี สุนากร และ ศิรเดช สุจริต

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
email: makkaryn@gmail.com

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์พลังงานถือเป็นปัญหาใหญ่ระดับโลก โดยในปัจจุบันมีพลังงานทางเลือกหลายชนิด หากแต่ละชนิดนั้นมีการใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายที่สูง ใช้ทรัพยากรมาก รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเห็นความสามารถของพลังงานไฟฟ้าชีวภาพ ที่อาศัยจุลชีพเป็นองค์ประกอบในการสร้างพลังงาน โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่พลังงานชีวภาพที่ได้จากพืช ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำ มีประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม และความสวยงาม แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากแต่ละเซลล์ นั้นอยู่ในระดับต่ำจึงจำเป็นต้องได้รับการศึกษาค้นคว้าต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่าง ภาชนะทึบแสง และภาชนะใส ที่ปลูกใฝ่กวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น จากนั้นนำผลการเก็บข้อมูลมาคำนวณ หาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ ว่าตัวอย่างทดลองชนิดใดสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด และนำเซลล์ต้นแบบที่ได้ มาออกแบบวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ

ผลการทดลอง จากการเก็บข้อมูล 3 ระยะและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ ในแต่ละชนิดตัวอย่างทดลอง พบว่า ชนิดที่เป็นภาชนะทึบแสงปลูกใฝ่กวนอิม จำนวน 4 ต้น มีค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ ที่สูงกว่า การปลูกในภาชนะใส โดยเมื่อเวลาผ่านไป 10 เดือน ค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ที่ได้ยังคงเพิ่มขึ้น จาก 0.985 V เป็น 0.996 V

นำเซลล์ จากข้างต้นมาเป็น เซลล์ต้นแบบ เพื่อทำการออกแบบวงจรที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 V โดยวงจรที่ออกแบบนั้นประกอบไปด้วย เซลล์ 18 เซลล์ เป็นวงจรผสม ที่มีค่าความต่างศักย์ 5.96 V ค่าความต้านทาน 60.18 K Ω และค่ากระแส 0.0765 mA และใช้เวลาในการชาร์จตัวเก็บประจุขนาด 5.0 F 2.7 V เป็นเวลาประมาณ 12 วัน

จากการทดลอง หากต้องการไฟฟ้าที่มีกำลังสูงขึ้น หรือ ชาร์จได้ไวขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มจำนวน เซลล์ วงจร หรือเพิ่มตัวเก็บประจุ และศึกษาข้อจำกัดของตัวเก็บประจุ มากขึ้น

คำสำคัญ: พลังงานทางเลือก , พลังงานไฟฟ้าชีวภาพ , เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพจากพืช , ตัวเก็บประจุ , พืชน้ำ

Design and Development of Bioelectric Cell from Plant for Low Voltage Electrical Equipment.

Makkaryn Kanchanasoot^{1, a}, Pasinee Sunakorn^{2, b} Siradech Surit^{3, c}

¹Graduate student in Master of Architecture (Building Innovation), Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok

² Associate professor in Master of Architecture (Building Innovation), Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok

³ Assistant professor D.Eng., (Building Innovation), Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok

E-mail; ^amakkaryn@gmail.com, ^bpasinee.s@ku.th, ^csiradech.s@ku.th

Abstract

The energy crisis is a major global problem. Presently, there are many types of alternative energy, each types uses high-cost equipment and uses a lot of resources which may affect the environment. Therefore, this research is concerned in the ability of bio-electricity that use microorganisms as a factor to create energy. In which this work focuses on Bio photovoltaic, which is an electricity from plants that has low equipment costs, environmental benefits and beauty. However, the electric power that can be produced from each cell is at low level. So it is necessary to receive further education and research.

The purpose of this study is to compare the potential of electric power production between opaque and clear containers that grow 1 to 5 Lucky bamboo. After that, the result of data is calculated to find the average electric power value. In order to conclude which type of specimen can generate maximum electrical power. From then, we take the resulting cell prototype to design the circuit that consists of a capacitor.

The experimental results from the 3 phase data set and the comparing of the average voltage differences in each type of sample, was found that The type of opaque container with 4 Lucky bamboos had a higher average voltage than the type of 4 Lucky bamboos in clear containers. The average voltage difference is still increasing from 0.985 V to 0.996 V after 10 months.

In case of the cells from the above being used as the prototype cells to design a circuit with a voltage of 5v, consisting of 18 cells as a mixed circuit. Which has a capacitance of 5.96 V, a resistance of 60.18 K Ω and a current of 0.0765 mA and it takes about 12 days to charge the capacitor 5.0 F 2.7 V.

According to the experiment, if requiring more power or being charged faster, it needs to increase the number of cells, circuit or increase the capacitor, including studying the limitations of capacitors.

Keywords: Alternative energy; Bioelectric; Bio photovoltaic; Plant Microbial Fuel Cell; Aquatic plants

บทนำ

ปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานถือเป็นปัญหาใหญ่ระดับโลก อันเนื่องมาจากการเติบโตของตัวเมืองและประชากรที่รวดเร็ว ทำให้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องหาพลังงานมาเลือก (Alternative Energy) และพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในแบบต่างๆเข้ามาทดแทน โดย พลังงานหมุนเวียน เป็นพลังงานสะอาด ได้จากแหล่งที่สามารถผลิตหรือกักเก็บพลังงานนั้นขึ้นมาเองและหมุนเวียนนำกลับมาใช้ได้อีก แต่โดยส่วนมากแล้วการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ มักมีการลงทุนสูง และมีข้อจำกัดบางประการเช่น การใช้กังหันลม มีข้อจำกัดเรื่องความเร็วลม เสียงของใบพัด รวมถึงต้องใช้พื้นที่โล่งจำนวนมากหากต้องการทำเป็นฟาร์มพลังงานลม ดังนั้นจึงเล็งเห็นการใช้พืช เป็นพลังงานหมุนเวียนอีกชนิดหนึ่งที่มีต้นทุนการสร้างต่ำ และการสร้างพลังงานของพืชนั้นประกอบไปด้วยหลายระบบ กล่าวคือ ปริมาณไฟฟ้าส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการโฟโตซินเทสิส กระบวนการสังเคราะห์แสง และอีกส่วนหนึ่งมาจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในรากพืช ที่ทำการหายใจ และได้ผลผลิตที่ได้ออกมาเป็นอิเล็กตรอน แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพที่ได้จากพลังงานไฟฟ้าชีวภาพนั้นยังมีข้อจำกัดได้ กำลังไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ มีค่าเฉลี่ย ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.8 V (เชษฐสุตา, 2559) จึงต้องใช้เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจำนวนมากจึงจะเพียงพอต่อการใช้งาน

จุดประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าในแต่ละเซลล์โดยการพัฒนาเพิ่มศักยภาพของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจากพืชให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น เมื่อแต่ละเซลล์มีศักยภาพมากขึ้นจำนวนเซลล์ที่ใช้ในการให้พลังงานจะมีจำนวนลดลง และเมื่อคิดเป็นหน่วยพื้นที่ก็จะได้ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่สูงกว่าเช่นกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของเซลล์ไฟฟ้าแต่ละเซลล์ ในด้านของ การผลิตพลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อหาจำนวนของพืชที่เหมาะสมในการเพิ่มกระแสไฟในแต่ละเซลล์
3. เพื่อออกแบบเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจากพืชและระบบเก็บพลังงาน ที่มีความเหมาะสม กับอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า 5 V

สมมติฐาน

1. แสงมีผลต่อรากพืชและความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) หรือไม่
2. การเพิ่มจำนวนของพืชในแต่ละเซลล์มีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) หรือไม่

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพจากพืช
2. ออกแบบวงจรที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า 5 V
3. เซลล์ไฟฟ้า แต่ละเซลล์ มีความต่างศักย์มากกว่า 0.8 V

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลังงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectricity) หมายถึง พลังงานไฟฟ้า พลังงานแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เนื้อเยื่อ เยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต รวมไปถึง กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในเส้นประสาท กล้ามเนื้อ ซึ่งก่อให้เกิดพลังงานศักยะงาน (action potential) กระบวนการพลังงานไฟฟ้าชีวภาพนี้เริ่มทำการศึกษา โดยกัลวานไนซ์ ในปี 1792 โดยพลังงานไฟฟ้าชีวภาพนั้น เป็นกระบวนการที่เกิดจากการรับแสงอาทิตย์ของพืช ก่อให้เกิดจากการย่อยสลายอาหาร นำไปเลี้ยงส่วนต่างๆของพืช และแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในวัสดุปลูกและรากพืช เมื่อแบคทีเรียย่อยอาหารจะเกิดการถ่ายเทประจุขึ้นระหว่างพืชกับวัสดุปลูก ซึ่งการถ่ายเทประจุส่งผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และเมื่อนำขั้วโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นแคโทดและแอโนดไปจุ่มในวัสดุปลูกจะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนขึ้น หากนำสายไฟไปต่อขั้วทั้งสองจะเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้าระดับต่ำขึ้นในวัสดุปลูก

อย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์ชีวภาพแต่ละเซลล์นั้นมีค่าไม่มาก แรงดันที่ได้อยู่ในช่วง 0.4 - 0.9 โวลต์ และขนาดของเซลล์ไม่เกิน 1000 ลบ.ซม. (Yoho,2010) และในปีต่อมา Bombelli (2011) ทำการทดลองสร้างเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ จากน้ำและสาหร่าย โดยออกแบบเป็นเซลล์ระบบปิด จากการวิจัยนี้พบว่า ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร เซลล์ไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 5-6 วัตต์/ตรม.

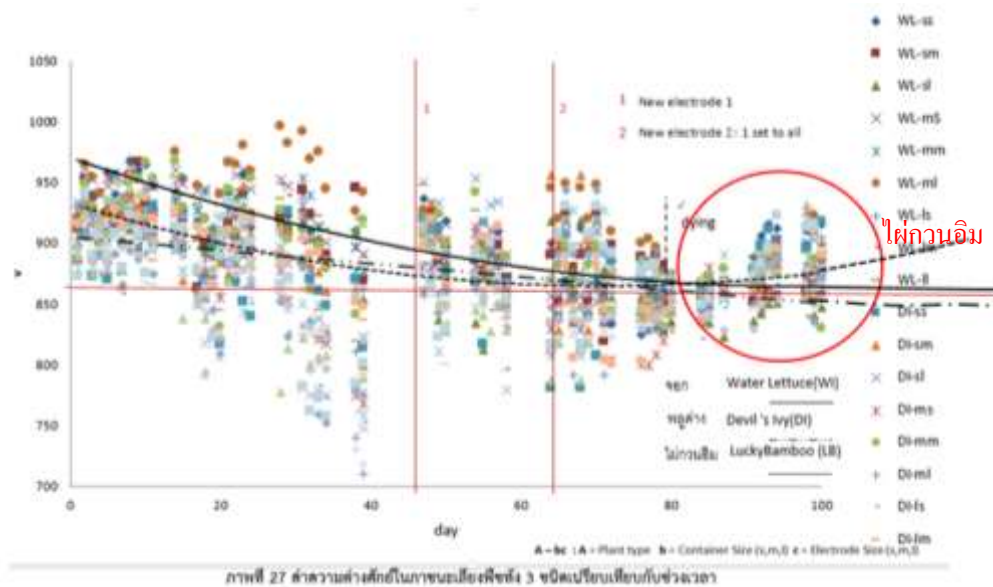
ส่วนผลงานวิจัยในประเทศไทยนั้น ณัฐวุฒิ และ กัญรัตน์ (2557) ได้ศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ จากต้นพืชโดยใช้ต้นกรรไกร Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) ซึ่งเกิดกระบวนการ Rhizodeposits ที่บริเวณรอบๆรากพืช จุลินทรีย์บริเวณนั้นจะทำการย่อยสลายอินทรีย์และเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมขึ้นทำให้เกิดการปลดปล่อยโปรตอน (H+) และอิเล็กตรอน (e-) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ส่วนรากพืชนั้นทำหน้าที่ลำเลียงโปรตอนขึ้นไปสู่ขั้วแคโทด ที่อยู่ด้านบน พืชที่เจริญเติบโตอยู่ใน ส่วนของแอโนดนั้น จะอยู่ในสภาวะรากจมน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะสิ่งแวดล้อมที่ไม่ใช้ออกซิเจน เปรียบเทียบกับ Microbial Fuel Cell (MFC) การเก็บข้อมูลทำได้โดยการต่อโหลดที่มีความต้านทาน 100 โอห์ม เข้า

ตัวเซลล์ แล้วบันทึกข้อมูลของความต่างศักย์ที่ได้ทุกๆ 1 นาที จากผลการทดลองการผลิตความหนาแน่น กำลังไฟฟ้าของเซลล์ เชื้อเพลิงจุลชีพโดยใช้ต้นกราชินี (PMFC) สามารถผลิตความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ สูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (MFC) ซึ่งใช้ข้าวแอนด์ขนาด 242 ตารางเซนติเมตร และใช้ลักษณะภายในแบบมีดิน ที่ต่อความต้านทานภายนอก 100 Ω สามารถเพิ่มความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้เท่ากับ 5.99 mW ต่อตารางเมตรของข้าวแอนด์ นอกจากนี้ PMFC ยังสามารถบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถลดค่าซีไอโอทีได้ ร้อยละ 53.5 ในระยะเวลา 5 วัน

หลังจากนั้น เซซุสุตา (2559) ได้ทำการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากต้นไม้ที่เลี้ยงในน้ำในน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ต้นโรทาล่า ต้นเดนซ่า และต้นจอก พบว่ามีความเสถียรและได้ปริมาณที่มากกว่าต้นไม้ในดิน เนื่องมาจากผิวสัมผัสของน้ำกับขั้วอิเล็กโทรดมีความต่อเนื่องทำให้การถ่ายเทอิเล็กตรอนเป็นไปได้สม่ำเสมอ โดยทำการทดลองนี้ใช้พืช 3 ชนิด ดังนี้ ต้นโรทาล่า ต้นเดนซ่า และต้นจอก นอกจากนี้ยังพบว่าเซลล์ไฟฟ้า 1 เซลล์ มีความต่างศักย์ประมาณ 0.8 V และวัดกระแสได้ประมาณ 0.71-1.45 mA

ทำให้เกิดโครงการวิจัยเพิ่มเติมจากงานข้างต้น โดย พาสินี และ ศิเรชได้ (2560) ทำการทดลองเปรียบเทียบพืช 3 ชนิด ได้แก่ จอก ใฝ่กวนอิม และพลูด่าง กับขนาดภาชนะ 3 ขนาด และขั้วอิเล็กโทรด 3 ขนาดผลการวิจัยพบว่า จอก ให้ความต่างศักย์สูงที่สุดมีค่าเฉลี่ย ประมาณ 0.896 V รองมาคือ พลูด่าง ประมาณ 0.876 V และใฝ่กวนอิม ประมาณ 0.870 V ตามลำดับ จอก นั้นถึงแม้จะวัดค่าได้ความต่างศักย์มากที่สุด แต่สภาพแวดล้อมในภาชนะไม่เอื้ออำนวย ให้เจริญเติบโตได้มากนัก เมื่อระยะเวลาผ่านไปจำเป็นต้องเปลี่ยนจอกต้นใหม่ลงในภาชนะ ซึ่งต่างจากใฝ่กวนอิม เมื่อทำการวัดค่าพบว่า มีแนวโน้มที่จะได้ค่า ความต่างศักย์มากขึ้น และยังสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ส่วนพลูด่างนั้น เมื่อเวลาผ่านไปมีแนวโน้มว่าความต่างศักย์ที่วัดค่าได้จะลดลง

จากงานวิจัย ข้างต้นพบว่า หากต้องการพืชที่ให้ค่าความต่างศักย์ได้มาก ควรเลือก ต้นจอก แต่หากต้องการพลังงานในระยะยาวควรเลือก ใฝ่กวนอิม เพราะถึงแม้ความต่างศักย์ที่วัดค่าได้จะน้อยกว่าแต่การดูแลรักษานั้นสะดวกกว่า รวมทั้งสามารถมีชีวิตและเติบโตอยู่ในภาชนะทดลองได้ยาวนานกว่าพืชอีก 2 ชนิด ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับนำมาทำเป็นเซลล์ไฟฟ้า คือ ภาชนะขนาดกลาง (400 มล.) ขั้วอิเล็กโทรดที่เหมาะสม คือ ขนาดกลาง (1x2 นิ้ว) จากการศึกษาค้นคว้า ทำให้สรุปได้ว่าใฝ่กวนอิม มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ (พาสินี, 2560)



ภาพที่ 1 ภาพเปรียบเทียบกระแสและการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด ได้แก่ พลูด่าง จอก และ ใฝ่กวนอิม
ที่มา : โครงการวิจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้า ชีวภาพ

องค์การสวนพฤกษศาสตร์ (2554) ได้ให้ข้อมูลไว้ดังนี้

ต้นใฝ่กวนอิม ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Dracaena sanderiana* ชื่อสามัญว่า Lucky Bamboo, Belgian Evergreen, Ribbon Plant, Ribbon Dracaena มีต้นกำเนิด อยู่บริเวณป่าดิบชื้นภูมิภาคแอฟริกากลาง ลักษณะทางกายภาพเป็น ไม้

ระดับประเภทไม้พุ่ม ลำต้นตรงขนาดเล็ก เนื้อไม้อ่อน เป็นข้อ ไม่มีกิ่งก้าน มีการเจริญเติบโตจากการยึดตัวของข้อใบ เป็นพืชใบเดี่ยวแตกออกจากส่วนยอดของลำต้น มีกาบใบห่อหุ้มลำต้นสลับกันเป็นชั้น ใบแคบเรียวยาวแหลม ลำต้นโตเต็มที่สูงได้ถึง 1.5 เมตร ขนาดกว้างของใบ 2-3 เซนติเมตร ยาว 6-8 เซนติเมตร การดูแล สามารถปลูกโดยใช้ดิน หรือนำไปเลี้ยงในน้ำได้ คุณสมบัติอื่น เช่น สามารถช่วยบำบัดสารเคมีในกลุ่ม BTEX ได้ สามารถลดความเป็นพิษของเบนซินได้



ภาพที่ 2 ภาพ ต้นไผ่กวนอิมที่ทำการทดลอง

ที่มา : ภาพถ่ายโดย มครินทร์ กาญจนสุด เมื่อวันที่ 20 เดือน กันยายน พ.ศ. 2562

การเก็บพลังงานไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุ (capacitor หรือ condenser) คือ อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการเก็บประจุ (Charge) และสามารถคายประจุ (Discharge) ได้ เก็บพลังงานในรูปแบบไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นระหว่างคู่ขนาน ใช้สัญลักษณ์ย่อว่า C มีหน่วยเป็น ฟารัด (F) แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ แบบค่าคงที่ แบบเปลี่ยนแปลงค่าได้และแบบเลือกค่าได้ ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ มีดังนี้ ใช้กรองไฟดีซีให้เรียบ (Filter) ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณ และเชื่อมโยงระหว่างวงจร (Coupling) ใช้ในการกรอง ความถี่ (Bypass) และ กลการไหลของกระแสไฟดีซี (Blocking) เป็นต้น

ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor หรือ Ultracapacitor หรือ Electric Double Layer Capacitor (EDLC)) เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าจำนวนมากๆ บางตัวทำงานโดยไม่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมี คาดว่าจะถูกนำมาใช้แทน แบตเตอรี่ในอนาคต

ตารางที่ 1 การทำงานของตัวเก็บประจุยิ่งยวด เปรียบเทียบกับ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/ตัวเก็บประจุยิ่งยวด>

การทำงาน (ข้อมูลปี 2010)	ตัวเก็บประจุยิ่งยวด	ลิเทียม ไอออน แบตเตอรี่
เวลาประจุเข้า	1-10 วินาที	10-60 นาที
จำนวนครั้งประจุเข้า	20,000	1,000
รอบการใช้งาน	30,000 ชม.	>500 ชม.
เซลล์โวลเทจ	2.3-2.75 V	3.6-3.7 V
พลังงาน(Wh/kg)	5	100-200
กำลังงาน(W/kg)	สูงถึง 10,000	1,000-3,000
อายุการใช้งาน	10-15 ปี	5-10 ปี

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1.1 ทบทวนวรรณกรรม 1.2 ศึกษาความสามารถในการผลิตของเซลล์ ได้แก่ การเพิ่มจำนวนต้นไผ่กวนอิมและชนิดของภาชนะ 1.3 ศึกษาความสามารถในการเก็บประจุของระบบเซลล์เปรียบเทียบกับความสามารถระหว่างการเก็บประจุด้วย Capacitor และการเก็บประจุด้วยระบบเคมี (ถ่านไฟฉาย / Battery) 1.4 ออกแบบและประกอบวงจร 1.5 วิเคราะห์และสรุปผล

2. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการทำวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ ได้แก่ 1.แผ่นสังกะสี (แอโนด) ขนาด 2.5 x 5 ซม. 2.แผ่นทองแดง (แคโทด) ขนาด 2.5 x 5 ซม. 3.สายไฟ 4. ภาชนะพลาสติกใส 5.ภาชนะพลาสติกทึบแสง 6.ต้นไม้กวนอิม

3.วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 : เพิ่มความต่างศักย์ (V) ที่ได้ในแต่ละเซลล์

1.1 ทดสอบปฏิกิริยาของแสงที่มีผลต่อราก และปริมาณแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ได้

โดยการนำต้นไม้กวนอิมใส่ในภาชนะพลาสติกใสและภาชนะพลาสติกทึบแสง อย่างละ 3 ใบ วัดค่าความต่างศักย์ V ด้วยมัลติมิเตอร์ ทำการเก็บข้อมูลวันละ 3 ครั้ง ได้แก่เวลา 10.00น 14.00น และ 18.00น ตามลำดับ นำค่าความต่างศักย์ที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างภาชนะทั้ง 2 แบบ

1.2 ทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนพืช (ไม้กวนอิม) ที่เหมาะสม ต่อ 1 เซลล์

เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากแต่ละเซลล์ด้วยการเพิ่มจำนวนพืช โดยการนำต้นไม้กวนอิมใส่ในภาชนะขนาด 400 มล. ทั้งแบบใสและแบบทึบแสง เรียงตามลำดับดังนี้ ภาชนะที่1จำนวน 1ต้น , ภาชนะที่2จำนวน 2ต้น จนครบ 5 ภาชนะ (แต่ละภาชนะจัดเตรียม 3 ตัวอย่าง รวมเป็น 30 ตัวอย่าง) นำค่าความต่างศักย์ที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างภาชนะทั้ง 2 แบบ ที่มีปริมาณไม้กวนอิมต่างกันตามลำดับ หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละชนิด วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และสรุปผล ลักษณะความใสหรือทึบแสงของภาชนะ และจำนวนไม้กวนอิมที่ปลูกลงในภาชนะ เพื่อนำไปจัดทำเซลล์ต้นแบบ



ภาพที่ 3 ภาพ ตัวอย่างการทดลอง และการเก็บข้อมูล

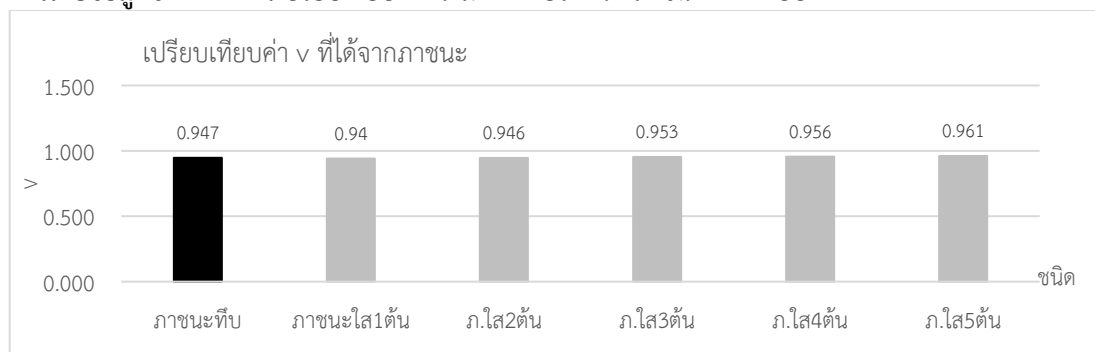
ที่มา : ที่มา : ภาพถ่ายโดย มกรินทร์ กาญจนสุต เมื่อวันที่ 20 เดือน กันยายน พ.ศ. 2562

ขั้นตอนที่ 2 : จากการสรุปผลในขั้นตอนที่ 1 นำมาสู่ การออกแบบภาชนะที่เหมาะสมเพื่อนำไปประกอบเป็นเซลล์ในการปลูกพืช โดยที่ปริมาตรน้ำไม่ต่ำกว่า 400 มล. (รายงานการวิจัย Bioelectric)

ขั้นตอนที่ 3 : การออกแบบแผงวงจร และวิธีการจัดเรียงเซลล์ จากข้อสรุปในการทดลอง2 และศึกษาความสามารถในการเก็บประจุของระบบเซลล์ โดยการใช้ตัวเก็บประจุ (capacitor)

ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลช่วงที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ระหว่างภาชนะทั้ง 2 แบบ

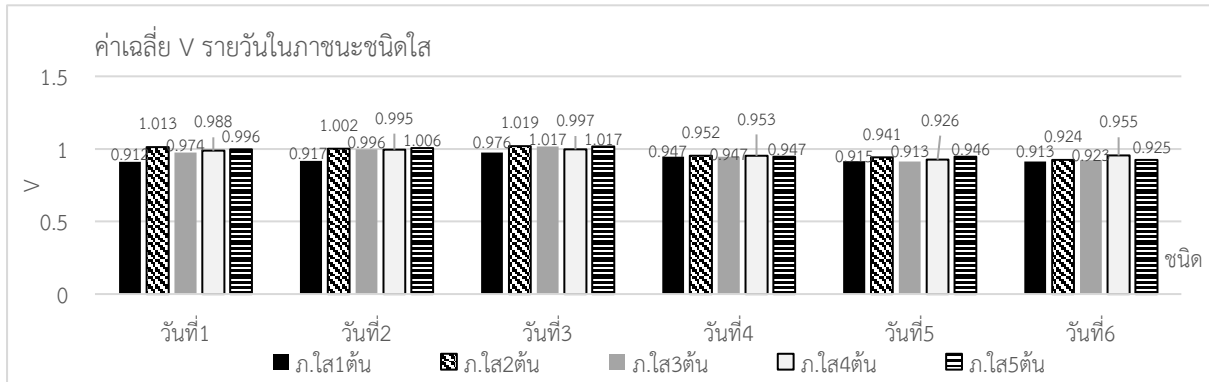


ภาพที่ 4 ภาพ เปรียบเทียบ ค่า V ที่เก็บค่าได้จาก ภาชนะทึบแสงที่ปลูกไม้กวนอิม 1ต้น เปรียบเทียบกับ ภาชนะใส ที่ปลูกไม้กวนอิมจำนวน1 ถึง 5 ต้น

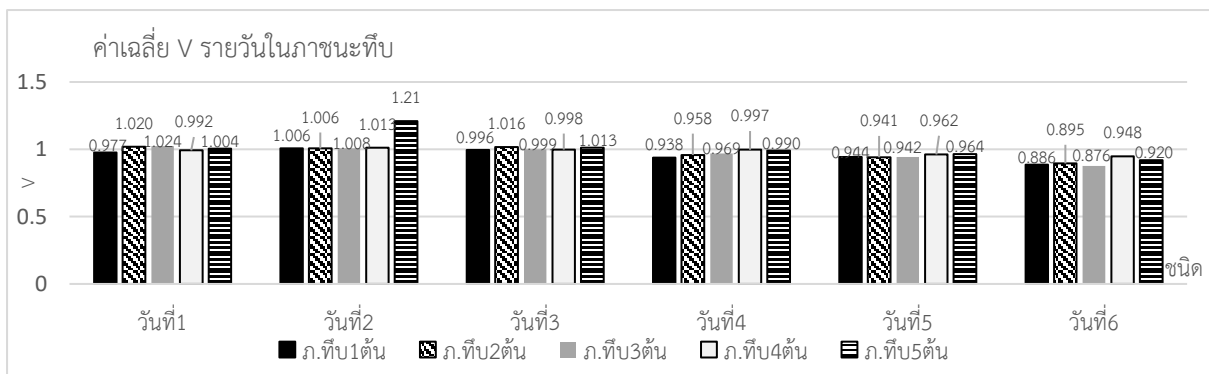
โดยค่าเฉลี่ย V มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 0.947 V, 0.940 V, 0.946 V, 0.953 V, 0.956 V และ 0.961 V ตามลำดับ

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ย V ของภาวะทึบแสงที่ปลูกไฟกวนอิมเพียง 1 ต้น 0.947 V มีค่าใกล้เคียงกับภาวะใสที่ปลูกไฟกวนอิม 2 ต้น 0.946 V

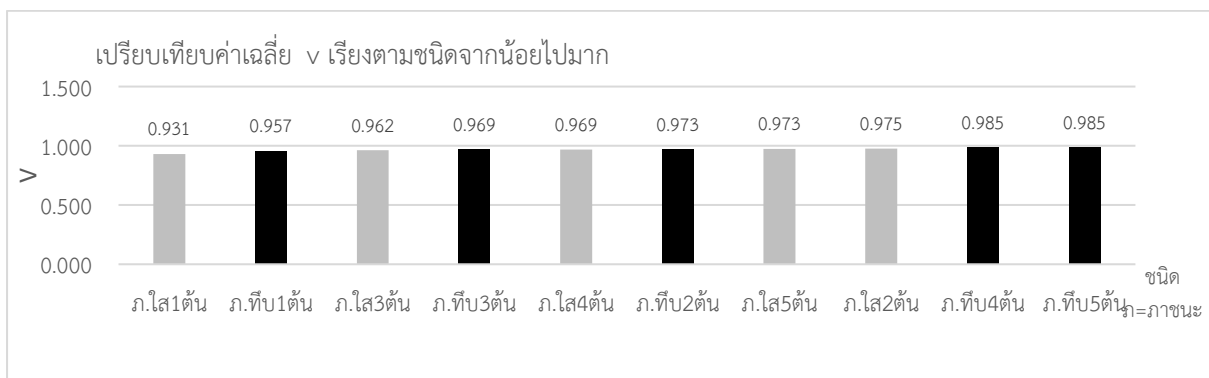
การเก็บข้อมูลช่วงที่ 2 เพื่อหาจำนวนในการปลูกไฟกวนอิมที่เหมาะสม สำหรับการทำเซลล์ต้นแบบ จำมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ทำการเก็บข้อมูลวันละ 3 ครั้ง และเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย V รายวัน ของภาวะทั้ง 2 ชนิด ที่ปลูกไฟกวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น



ภาพที่ 5 ภาพค่าเฉลี่ย v รายวันของภาวะใส ที่ปลูกไฟกวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น

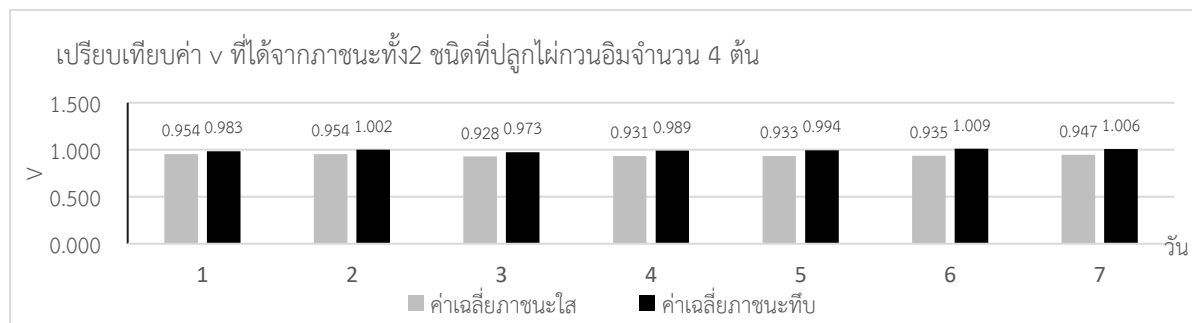


ภาพที่ 6 ภาพค่าเฉลี่ย v รายวันของภาวะทึบ ที่ปลูกไฟกวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น



ภาพที่ 7 ภาพ เรียงลำดับค่าเฉลี่ย v ของภาวะทึบแสงและใส ที่ปลูกไฟกวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น จากค่าน้อยไปหามาก มีค่าดังนี้ตามลำดับ 0.931 V, 0.957 V, 0.962 V, 0.969 V, 0.969 V, 0.973 V, 0.973 V, 0.975 V, 0.985 V และ 0.985 V

จาก ภาพที่ 5 และ 6 ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ภาชนะ ทึบแสงชนิดที่ปลูกใฝ่กวนอิมจำนวน 4 และ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย v เท่ากันที่ 0.985 V ดังนั้น ภาชนะที่เหมาะสมในการจัดทำภาชนะต้นแบบ คือ ภาชนะชนิดทึบแสง ที่มีจำนวนใฝ่กวนอิม 4 ต้น การเก็บข้อมูลช่วงที่ 3 เปรียบเทียบ ค่า v ที่เก็บได้จากภาชนะทั้ง 2 ชนิด เมื่อเวลาผ่านไป (10 เดือน)

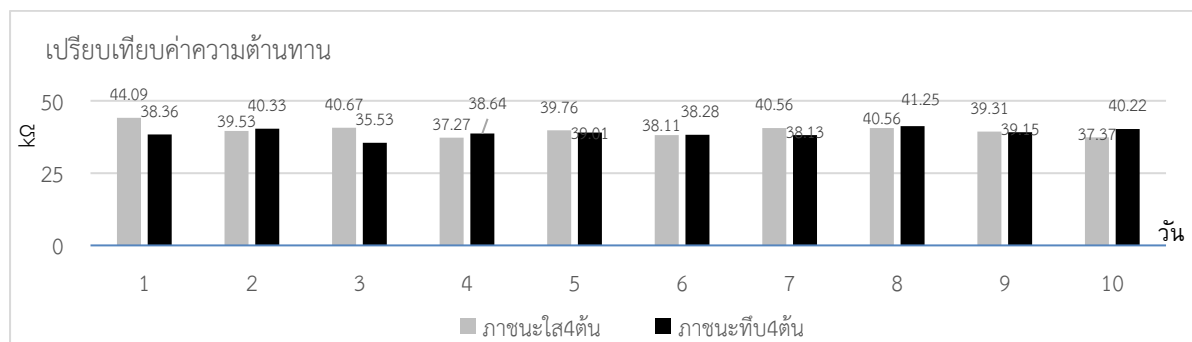


ภาพที่ 8 ภาพ เปรียบค่าเฉลี่ย v จากภาชนะทึบแสง และ ใส ที่ปลูกใฝ่กวนอิม จำนวน 4 ต้น ค่าเฉลี่ย v ของภาชนะทั้ง 2 ชนิดมีดังนี้ ภาชนะทึบแสง = 0.994 V และ ภาชนะใส = 0.940 V

จะเห็นได้ว่า เมื่อวัดค่า v ของภาชนะชนิดทึบแสงยังคง มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่า ภาชนะชนิดใส และเมื่อ นำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลช่วงที่ 2 มาเปรียบเทียบ พบว่า ค่าเฉลี่ย v ที่วัดได้จากภาชนะทึบแสง มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ย v ที่วัดได้จากภาชนะใส มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป

ค่าเฉลี่ย v ครั้งที่ 2 จาก ภาชนะทึบ = 0.985 V น้อยกว่า ค่าเฉลี่ย v ครั้งที่ 3 จากภาชนะทึบ = 0.994 V

ภาชนะใส = 0.985 V มากกว่า ค่าเฉลี่ย v ครั้งที่ 3 จากภาชนะใส = 0.940 V



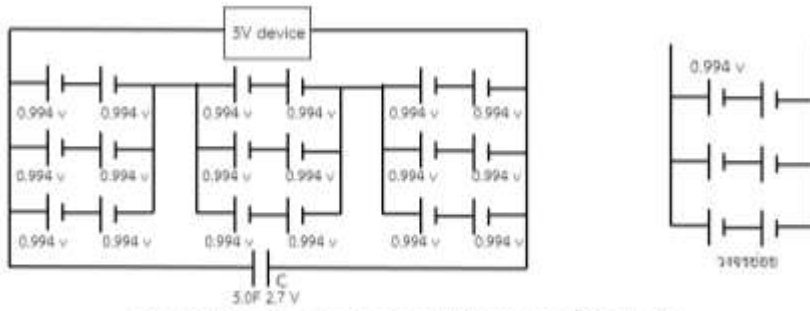
ภาพที่ 9 ภาพ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทาน ที่เก็บได้จากภาชนะชนิดทึบแสง และ ใส ที่ปลูกใฝ่กวนอิมจำนวน 4 ต้น โดย ค่าเฉลี่ยความต้านทานของภาชนะทั้ง 2 ชนิดมีดังนี้ ชนิดทึบแสง 38.89 kΩ และ ชนิดใส 39.72 kΩ จากนั้นจึงคำนวณหาค่ากระแส จากสูตร $V = IR$ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คำนวณหาค่ากระแส

$I = V/R$	ภาชนะชนิดทึบแสง	ภาชนะชนิดใส
V	0.9937 v	0.9403 v
R	39723 Ω	30090 Ω
I	0.0236 mA	0.0255 mA

ศึกษาพฤติกรรมและการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ และความสามารถของวงจร

จาก ค่าที่คำนวณข้างต้น นำมาจัดเรียงเป็นวงจร แบบผสม เพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามที่กำหนด คือ 5 V ออกแบบเป็นวงจรได้ดังนี้



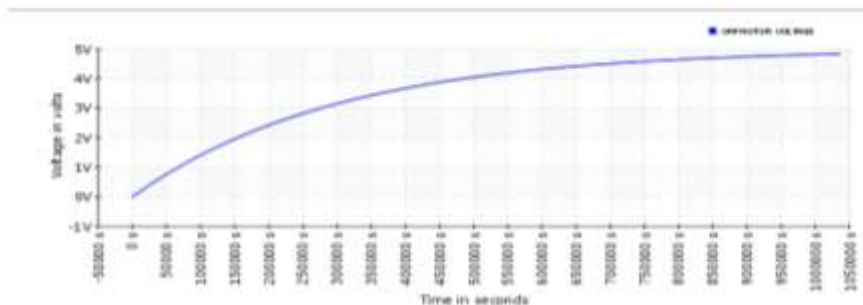
วงจรย่อยแบบสาม 3 วงจร ค่อดูรวมกันเป็นวงจรรวม ที่มีค่า V = 5.9

ภาพที่ 10 ภาพ วงจรประกอบด้วย วงจรย่อย 3 วงจร เป็นวงจรชนิด ผสม ประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ โดย เซลล์ทั้งหมดใช้จำนวน 18 เซลล์ และ ตัวเก็บประจุ ตารางที่ 3 การคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้า

คำนวณค่า V ของวงจรย่อย $V1+V2 = 0.9937 + 0.9937 \text{ V} = 1.987 \text{ V}$	คำนวณค่าความต้านทาน R ของวงจร วงจรย่อย $\text{วงจรรวม} = R1+R2 = 30.090 + 30.090 \text{ K}\Omega = 60.18 \text{ K}\Omega$ $\text{วงจรรวม} = 1/R1+1/R2+1/R3 = 1/60.18 + 1/60.18 + 1/60.18 = 20.06 \text{ K}\Omega$ $\text{วงจรรวม } R_t = R1+R2+R3 = 20.06 + 20.06 + 20.06 = 60.18 \text{ K}\Omega$
ค่า V วงจรรวม $= 1.987 + 1.987 + 1.987 = 5.961 \text{ V}$	คำนวณค่ากระแส I ของวงจรทั้งหมด $I = I1+I2+I3 = 0.0000255 + 0.0000255 + 0.0000255 = 0.0000765 \text{ A}$

ขนาดของตัวเก็บประจุที่เลือก คือ Super Capacitor 5F 2.7V ยี่ห้อ CDA ค่า ESR ต่ำจ่ายกระแสได้สูง ขนาด ความสูง 25mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5mm / pitch 3 mm โดยหากใช้ตัวเก็บประจุดังกล่าว 1 ตัว จะใช้เวลาประมาณ 12 วัน เพื่อชาร์จไฟเต็ม 5 V และทำการคำนวณการชาร์จตัวเก็บประจุ โดยมีตัวแปรดังต่อไปนี้ ตารางที่ 4 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการชาร์จตัวเก็บประจุ

ค่าความต่างศักย์ (V) ตัวเก็บประจุ (C)	2.7 V
ค่าความต่างศักย์ (V) ของวงจร	5 V
ค่าความต้านทาน (R) ของตัวเก็บประจุ (C)	5 F
ค่าความต้านทาน (R) ของวงจร	60180 Ω
ระยะเวลา	1036800 วินาที



ภาพที่ 12 ภาพ ระยะเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการเก็บประจุ เต็ม 5 V

สรุปผลและอภิปราย

1. จากกระบวนการวิจัยในการเก็บข้อมูล การเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ระหว่างภาชนะทั้ง 2 แบบ ได้แก่ แบบ ทึบแสงและแบบใส ที่แต่ละชนิด ปลุกต้นใฝ่กวนอิมจำนวน 1 ถึง 5 ต้น ปรากฏว่า ชนิดที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดและเหมาะสมที่สุดคือ ภาชนะชนิดทึบแสงที่ปลุกใฝ่กวนอิมจำนวน 4 ต้น โดยให้ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าเฉลี่ย ดังนี้ ค่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.9937 V ค่าความต้านทาน 39723 Ω และค่ากระแส 0.0236 mA

2. จากการออกแบบเป็นวงจรผสมโดยใช้เซลล์ทั้งหมดจำนวน 18 เซลล์ ความต่างศักย์ 5.96 v ความต้านทาน 60.18 K Ω และกระแส 0.0765 mA จะใช้เวลาประมาณ 12 วัน (1036800 วินาที) ในการเก็บประจุในตัวเก็บประจุขนาด 5.0F 2.7 V

ข้อเสนอแนะ

ปริมาณไฟฟ้าที่ได้มีค่าค่อนข้างน้อย หากต้องการไฟฟ้าที่มีกำลังสูงขึ้น หรือ ชาร์จได้ไวขึ้น อาจต้องเพิ่มจำนวน เซลล์ และวงจร โดยตรงผู้ใช้งานสามารถนำไฟฟ้าที่เก็บได้ไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ หรือ ขนาด 5 V เช่น ระบบเซนเซอร์ อุปกรณ์ให้แสงสว่าง เป็นต้น

Bio-Electric cell สามารถผลิตไฟฟ้า ซึ่งนอกจากจะมีการใช้ประโยชน์ทางตรงในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าในอาคารแล้ว ยังสามารถได้รับประโยชน์ทางอ้อม จากการมีต้นไม้ประกอบในวงจร ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางในการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- เชษฐสุดา เกิดเนตร,(2558). การออกแบบอุปกรณ์ให้แสงสว่างในอาคารโดยประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้า ชีวภาพ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.
- เชษฐสุดา เกิดเนตร, พาสินี สุนากร และ ศิรเดช สุริต.(2559). การออกแบบอุปกรณ์ให้แสงสว่างในอาคารโดยประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าชีวภาพ, น. 528-536. ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต. มหาวิทยาลัยรังสิต.ปทุมธานี.
- ณัฐวุฒิ คล้ายสงคราม, กันยรัตน์ โทละสุด. (2557). การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยใช้ต้นกรรณิณี. วิศวกรรมสาร มข. 42 (1):117-124. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.ขอนแก่น.
- พาสินี สุนากร, ศิรเดช สุริต. (2560). ทุนวิจัยต่อยอดนวัตกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [สวพ.]. โครงการวิจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้า ชีวภาพ ภาควิชาการนวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Bombelli, P., Bradley, R. W., Scott, A. M., Philips, A. J., McCormick, A. J., Cruz, S. M., . . . Cameron, P. J. (2011). Quantitative analysis of the factors limiting solar power transduction by *Synechocystis* sp. PCC 6803 in biological photovoltaic devices. *Energy & Environmental Science*, 4(11), 4690-4698.
- Bombelli, P., & Driver, A. (2011). Biophotovoltaics Energy from algae. Retrieved from <http://www.catalyststudent.org.uk/cs/article/>
- Cameron, C. (2014). Moss FM: World's First Plant-Powered Radio Uses "Biological Solar Panels". . Retrieved from <http://inhabitat.com/moss-fm-worlds-first-plant-powered-radio-uses-biological-solar-panels/>
- Driver, A., & Bombelli, P. (2011). Biophotovoltaics. *Catalyst*.
- Galvani, L., & Aldini, G. (1792). *De viribus electricitatis in motu musculari comentarius cum joannis aldini dissertatione et notis; accesserunt epistolae ad animalis electricitatis theoriam pertinentes*: Apud Societatem Typographicam.
- Howe, C. (2015). P2P Solar Hub Plant to power. Retrieved from <http://131.111.37.52/index.php>
- Potter, M. C., & Waller, A. D. (1911). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 84(571), 260-276. doi:doi:10.1098/rspb.1911.0073
- Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, 23(6), 291-298. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>

การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาของแผ่นเส้นใยชานอ้อยกับแบเรียมซัลเฟต โดยมีน้ำยางพาราเป็นตัวประสาน

อรอนงค์ เสนาะจิต

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี

email: ornanong.s847@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สร้างแผ่นลดทอนรังสีแกมมาจากวัสดุทางธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้ตะกั่ว และโดยต้องการวัสดุที่มีความยืดหยุ่น โดยในงานนี้เลือกใช้เส้นใยชานอ้อยที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าเส้นใยอื่นๆ และสารทนความร้อนได้ดี โดยผสมกับแบเรียมซัลเฟตซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีได้ดี จากนั้นจึงนำมาขึ้นรูปด้วยความหนา 3 ระดับ คือ 0.3 เซนติเมตร 0.7 เซนติเมตร และ 1.0 เซนติเมตร ขนาด 10X10 เซนติเมตร โดยใช้ น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน นำมาหาค่าความสามารถในการลดทอนรังสีแกมมาพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับความหนาของแผ่นกั้นรังสี จากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาเชิงเส้นของแผ่นกั้นมีค่าเท่ากับ $0.495 \text{ เซนติเมตร}^{-1}$ และมีค่าความหนาที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง (HVL) มีค่าเท่ากับ 1.396 เซนติเมตร แผ่นกั้นที่สร้างขึ้นมานั้นอาจลดทอนได้ มีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าและไม่ส่งผลเสียต่อร่างกายในระยะยาวอีกด้วย

คำสำคัญ : แผ่นกั้นรังสี, การลดทอนรังสีแกมมา, สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

Finding gamma radiation attenuation coefficient of bagasse fiber with BaSO₄ rubber is a binder.

Ornanong Sanorchit¹

¹Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lop Buri, Thailand
email: ornanong.s847@gmail.com

Abstract

The research is aimed to construct gamma ray attenuation plates from natural materials to replace lead and require flexible materials. In this work, use bagasse fibers that are more flexible than other fibers and heat resistant substances. By mixing with barium sulfate which is able to absorb radiation well After that, bring up the rock with 3 levels of thickness, 0.3 cm. 0.7 cm. And 1.0 cm., Size 10X10 cm. Using latex as a binder. The gamma-ray attenuation capability was determined from the gamma-ray attenuation coefficient. Which is more or less depending on the thickness of the radiation barrier from the experiment, it is found that the linear gamma attenuation coefficient of baffles is 0.495 cm⁻¹ and the thickness that causes gamma radiation intensity to be reduced to half (HVL) is 1.396 cm. Created may be reduced. Has better flexibility and does not adversely affect the body in the long run as well

Keywords : Radiation shield, Gamma radiation Shielding, Attenuation

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำรังสีมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น รังสีแกมมาที่นำมาใช้ในทางการแพทย์เป็นอย่างมาก (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2559) และได้มีการทำแผ่นกั้นรังสีขึ้นมาเพื่อป้องกันผลกระทบต่อร่างกายของผู้รับการรักษาและเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคด้วย โดยแผ่นกั้นที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นแผ่นกั้นที่ผลิตจากตะกั่วซึ่งมีราคาแพง (ชนิษฐา, 2549) เราจึงต้องการหาสิ่งที่จะมาทดแทนสิ่งที่มีอยู่และใช้อยู่ในขณะนี้ สอดคล้องกับประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรมจะมีผลผลิตหรือสิ่งที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรมากมายหลายพันล้านตัน จึงได้มีการวิจัยเพื่อนำสิ่งเหลือใช้เหล่านี้มาผลิตเป็นวัสดุใหม่ นอกเหนือจากการนำไปเป็นอาหารสัตว์และเชื้อเพลิง(สมพงษ์ ใจดี, 2544)

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกขานอ้อยซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรมาทำการทดสอบผลิตเป็นแผ่นกั้นรังสี เพราะเส้นใยขานอ้อยมีความยืดหยุ่นสูงและทนความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยอื่นๆ โดยนำสิ่งที่เหลือทิ้งนั้นมาใช้ทำเป็นแผ่นกั้นรังสีเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสีและยังจะช่วยชาวเกษตรกรให้มีรายรับเพิ่มขึ้นจากสิ่งที่เหลือจากการแปรรูปอีกด้วย จึงนับว่าเป็นแนวทางที่ดีในการพัฒนาแผ่นกั้นรังสีจากวัสดุธรรมชาติ

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีถ้าสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง ซึ่งสลายตามกระบวนการอย่างหนึ่งที่มีปริมาตรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกาลสลายดังต่อไปนี้

ถ้า N และ N_0 แทนจำนวนนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง ณ เวลา t และเวลา $t = 0$

λ แทนค่าคงตัวสลาย (decay constant) หรือค่าคงตัวแตกสลาย(disintegration-constant)

$\frac{dN}{dt}$ แทนอัตราการเปลี่ยนของนิวเคลียส N ตัวตามเวลา

$\mathcal{R} = \left| \frac{dN}{dt} \right|$ แทนอัตราสลาย หรือ กัมมันตภาพ ซึ่งมีหน่วยโดยทั่วไปเป็นคูรี (Ci) และเป็นเบ็กเคอเรล (Bq) ในระบบ

เอสไอ ที่ $\frac{dN}{dt}$ ต่างก็สัมพันธ์กับจำนวนครั้งการสลายต่อวินาที

กล่าวคือ $1 \text{ คูรี} = 3.7 \times 10^{10}$ ครั้งต่อวินาที
และ $1 \text{ เบ็กเคอเรล} = 1$ ครั้งต่อวินาที

และ $T_{1/2}$ แทนครึ่งชีวิต ซึ่งคือช่วงเวลาทีสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง มีจำนวนนิวเคลียสเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง

เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสสำหรับสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง ณ เวลาหนึ่งเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีชนิดดังกล่าว ณ ขณะนั้น

จะได้
$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

ดังนั้น
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ซึ่งคือสมการสลาย (decay equation) หรือสมการสลายเลขชี้กำลัง(exponential decay equation)และจะได้ความสัมพันธ์ที่แทนค่าอัตราสลาย (\mathcal{R}) ดังนี้

$$\begin{aligned} \mathcal{R} &= \frac{dN}{dt} = \left| \frac{d}{dt} (N_0 e^{-\lambda t}) \right| \\ &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N = \mathcal{R}_0 e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

เนื่องจาก $\mathcal{R} = \lambda N$ เป็นค่าอัตราสลาย ณ เวลา t แสดงว่าอัตราสลาย ณ เวลา $t = 0$ คือ $\mathcal{R}_0 = \lambda N_0$

เนื่องจาก ณ เวลา $t = T_{1/2}$ และ $N = \frac{N_0}{2}$

ดังนั้น

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ซึ่งก็คือ สมการครึ่งชีวิต

รังสีแกมมา (Gamma radiation หรือ Gamma ray) ใช้สัญลักษณ์ (γ) ค้นพบโดย พอล อูริช วิลลาร์ด (Paul Ulrich Villard) นักฟิสิกส์ฝรั่งเศส วิลลาร์ด ค้นพบรังสีแกมมาจากการศึกษาแก๊มมันตาภาพรังสีที่ออกมาจากเรเดียม ซึ่งถูกค้นพบมาก่อนแล้วว่าบางส่วนจะเบนไปทางหนึ่ง เมื่อผ่านสนามแม่เหล็กบางส่วนจะเบนไปอีกทางหนึ่ง แก๊มมันตาภาพรังสีทั้งสองประเภทนี้ คือ รังสีแอลฟา และรังสีบีตา

รังสีแกมมาคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ไม่มีประจุและไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า มีอำนาจทะลุทะลวงสูงสุด สามารถทะลุผ่านแผ่นไม้ โลหะ และเนื้อเยื่อได้ แต่ถูกกั้นได้โดยคอนกรีตหรือแผ่นตะกั่วหนา

รังสีแกมมา เกิดจากการสลายตัว มาจากนิวเคลียสของอะตอมธาตุที่เป็นไอโซโทปรังสีหรือที่เราเรียกกันว่า สาร แก๊มมันตรังสี เช่น สาร Co-60 ที่ให้รังสีแกมมาออกมาเพื่อนำไปใช้รักษาโรคมะเร็งในโรงพยาบาลสารแก๊มมันตรังสีนอกจากจะสลายตัวให้รังสีแกมมาแล้วยังสามารถสลายตัวให้รังสีอื่นได้อีก เช่น รังสีอัลฟา รังสีบีตา รังสีโปรตอน และรังสีนิวตรอน เป็นต้น ซึ่งเรียกกันโดยรวมว่า “รังสีนิวเคลียร์”

การดูดกลืนรังสีแกมมา

เมื่อรังสีส่องผ่าน (Transmission) วัสดุความเข้มของรังสีจะลดลง เนื่องจากอันตรกิริยา (Interaction) ของรังสีกับวัสดุ การลดลงของความเข้มรังสีขึ้นอยู่กับความหนา, ชนิดของวัสดุ และพลังงานของรังสี ซึ่งความเข้มของรังสีที่ลดลงเนื่องจากการดูดกลืนของวัสดุอยู่ในรูปความสัมพันธ์ตามสมการ

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

โดยที่	μ	เป็นค่าคงที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น (cm^{-1})
	I_0	เป็นความเข้มรังสีแกมมาก่อนที่จะผ่านแผ่นกั้น
	I	เป็นความเข้มรังสีแกมมาหลังผ่านแผ่นกั้น
	x	เป็นความหนาของวัสดุที่ใช้กั้นรังสี (cm.)

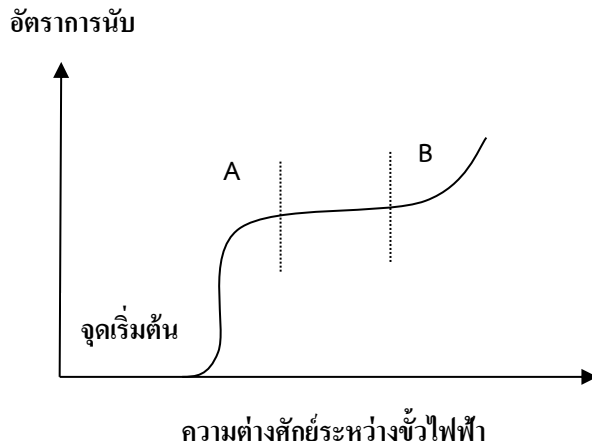
ไกเกอร์-มุลเลอร์ เคาน์เตอร์ (Gm) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจนับและวัดรังสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานเช่นการวัดปริมาณรังสีการป้องกันรังสีฟิสิกส์การทดลองและอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ เป็นหัววัดรังสีแบบแก๊สประกอบด้วยกระบอกรับรังสี และมิเตอร์ที่มีหน้าปัดบอกปริมาณรังสีได้ ลักษณะของไกเกอร์ประกอบด้วยกระบอกซึ่งบรรจุก๊าซอาร์กอนไว้ เมื่อนำไปวางไว้ในบริเวณที่มีการแผ่รังสี รังสีจะผ่านเข้าทางช่องด้านหน้าของกระบอก กระแทกกับอะตอมของอาร์กอน ทำให้ไอเล็กตรอนของอาร์กอนหลุดออกไป กลายเป็น Ar^+ ก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่าง Ar^+ กับ e^- ในหลอด ซึ่งจะแปลงค่าความต่างศักย์ออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าปัด ค่าที่ได้นี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี และความเข้มชั้นของรังสีที่จะทำให้ Ar กลายเป็น Ar^+ ได้มากหรือน้อย



ภาพที่ 1 ไกเกอร์มุลเลอร์เคาน์เตอร์แบบดิจิตอล

2.3.1 กราฟแสดงคุณสมบัติของหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์

กราฟแสดงคุณสมบัติของหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ จะเห็นได้จากการพล็อตกราฟระหว่างค่าอัตราการนับ(cpm) กับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหัววัดไกเกอร์ จะเห็นได้ว่าบางส่วนของกราฟมีลักษณะเกือบขนานกับแกน X ส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า พลาโต (Plateau) เป็นส่วนที่ค่าอัตราการนับเกือบไม่ขึ้นกับความต่างศักย์ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหัววัดไกเกอร์จะมีค่าอยู่ช่วงนี้

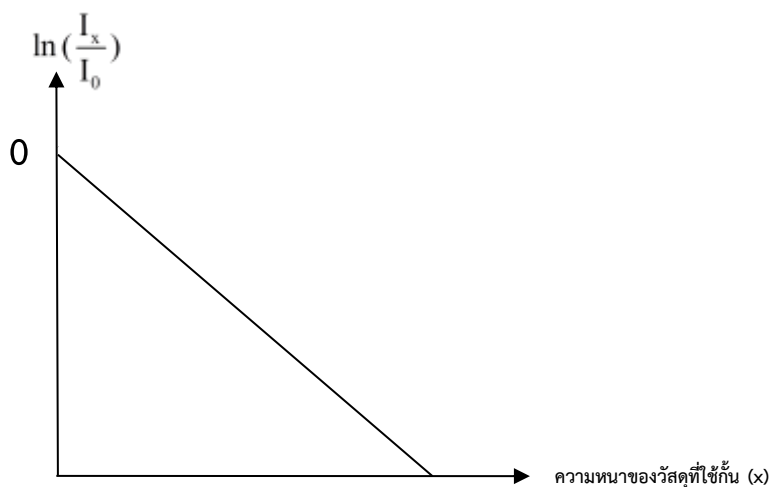


ภาพที่ 2 กราฟแสดงคุณสมบัติของหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์

เมื่อเริ่มให้ความต่างศักย์แก่หัววัดไกเกอร์ จะไม่เกิดสัญญาณที่โตพอที่จะนับได้ จนกระทั่งความต่างศักย์มีค่าถึงจุดเริ่มต้นสัญญาณจะมีขนาดโตพอที่เครื่องนับจะนับได้ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นเรื่อยๆ ค่าอัตราการนับจะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่ง(จุดA) ค่าอัตราการนับเริ่มจะมีค่าเกือบคงที่ ไม่ว่าจะเพิ่มความต่างศักย์เท่าไรค่าอัตราการนับจะเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์จนถึงจุด B ค่าอัตราการนับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้หัววัดไกเกอร์เกิดการชาร์จ เนื่องจากแก๊สภายในหัววัดเกิดการแตกตัวอย่างมากมาย ช่วงความต่างศักย์ระหว่าง A กับ B เรียกว่า พลาโต หัววัดไกเกอร์ที่ดีจะมีความชันของ AB น้อยกว่า 5% ต่อ 100 โวลต์

การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้น

จาก สมการการดูดกลืนรังสีแกมมาสามารถคำนวณในรูปแบบสมการเส้นตรงได้โดยการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (Logarithm) ดังนั้น ถ้านำค่า $\ln(I_x / I_0)$ กับค่าความหนา(x) มาเขียนกราฟ semi-log จะได้เส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ $-\mu$ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงกราฟความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อใช้วัสดุกัน หรืออีกวิธีหนึ่ง จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้น (μ) ได้จากความสัมพันธ์ (I_x / I_0) กับค่าความหนา(x) ดังสมการที่ (2.6)

$$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I_x}}{x}$$

เมื่อทราบค่าของ μ จะสามารถหาค่าความหนาของวัสดุที่ทำให้ความเข้มรังสีลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Value Layer ; HVL) เมื่อแทนค่า $x = HVL$ และ $I_x = I_0/2$ ในสมการ (2.6)

$$\mu = \frac{\ln \left(\frac{I_0}{I_0/2} \right)}{HVL}$$

จะได้
$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

เส้นใยชานอ้อย (Bagasse fiber)

เป็นส่วนที่เหลือจากการนำชานอ้อยมาฟอกขาวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยการต้มเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเราก็จะได้เส้นใยชานอ้อยมาซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยชานอ้อยนั้น ได้แก่ มีความยืดหยุ่นสูงกว่าเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ ทดความร้อนได้สูง เป็นต้นซึ่งเส้นใยชานอ้อยที่ได้จากการเตรียมนั้นจะมีลักษณะ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เส้นใยชานอ้อย

แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate)

แบเรียมซัลเฟตเป็นสารประกอบไอออนิกใช้ในทางการแพทย์มีสูตรโมเลกุลคือ $BaSO_4$ เป็นสารทึบแสงหรือเรดิโอคอนทราสต์ (radiocontrast) สำหรับแสงเอกซ (X-ray) เพื่อการถ่ายภาพทางการแพทย์ สำหรับการวินิจฉัยโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคในช่องท้องและทางเดินอาหาร (Gastrointestinal tract) ซึ่งจะรู้จักกันในชื่อที่คุ้นเคยว่าอาหารแบเรียม (Barium meal) และนำเข้าสู่ร่างกายผู้ป่วยโดยการรับประทานหรือสวนทางทวารหนัก (enema) แบเรียมซัลเฟตจะอยู่ในรูปซัสเพนชัน (suspension) ของผงละเอียดที่กระจายตัวในสารละลายน้ำ ถึงแม้ว่าแบเรียมจะเป็นโลหะหนักที่สารประกอบของมันเมื่อละลายน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเป็นพิษสูง แต่เนื่องจากแบเรียมซัลเฟตละลายน้ำได้น้อยมากคนไข้จึงไม่ได้รับอันตรายจากพิษของมัน

นอกจากประโยชน์ทางการแพทย์แล้วแบเรียมซัลเฟตยังมีประโยชน์ทางอื่นอีกดังนี้

- 1.) ส่วนผสมของแบเรียมซัลเฟตใช้เป็นพื้นสีขาวสำหรับการผลิตสี โดยถ้าผสมกับซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จะถูกเรียกว่าลิโทโปน (lithopone) และผสมกับโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เรียกว่าบลังฟิกซ์ (blanc fixe)
 - 2.) ใช้เป็นตัวฟิลเลอร์ (filler) ในการทำพลาสติก
 - 3.) ช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้ของเหลวที่ใช้ขุดเจาะน้ำมันในบ่อน้ำมัน (oil well)
 - 4.) เป็นตัวออกซิไดเซอร์สำหรับสูตรทำดอกไม้ไฟโดยตัวของมันเองจะให้แสงสีเขียว
- แบเรียมซัลเฟตที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของแร่แบเรียมซัลเฟต (barite)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาเชิงเส้นจากแผ่นกั้นที่สร้างขึ้น
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการป้องกันรังสีจากเส้นใยชานอ้อยกับแผ่นตะกั่ว

ระเบียบวิธีวิจัย

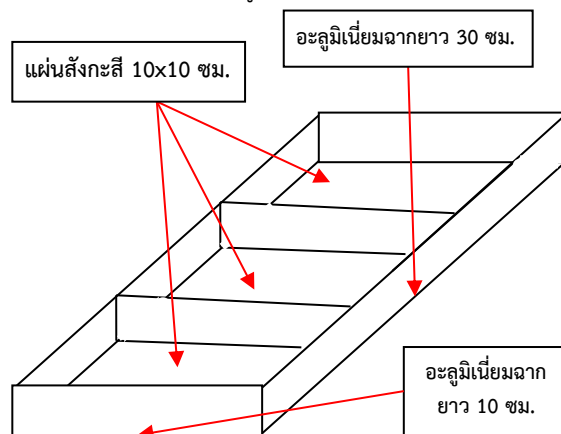
ตัวแปรต้น คือ เส้นใยชานอ้อย

ตัวแปรตาม คือ ค่าการลดทอนรังสีแกมมา

ตัวแปรควบคุม คือ น้ำยาฟารา, BaSO_4 และความหนาของแผ่นกั้น

เตรียมแบบเพื่อขึ้นรูปแผ่นกั้น

- 1) เตรียมวัสดุสำหรับการขึ้นรูปแผ่นกั้นรังสี ได้แก่
 - 1.1) อะลูมิเนียมฉากยาว 10 ซม. จำนวน 4 เส้นกับความยาว 30 ซม. จำนวน 2 เส้น
 - 1.2) แผ่นสังกะสีขนาด 10 ซม. × 10 ซม. จำนวน 3 แผ่น
- 2) นำวัสดุในขั้นตอนที่ 1 ประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.1



ภาพที่ 5 อุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปแผ่นกั้น

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุสำหรับการขึ้นรูปแผ่นกั้นรังสี

- 1.) เตรียมเส้นใยชานอ้อย โดยการนำชานอ้อยไปต้มในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จนได้เป็นเส้นใยออกมา แล้วนำมาตากให้เส้นใยแห้ง
- 2.) เตรียมวัสดุสำหรับการผสมการผสมเพื่อขึ้นรูปแผ่นกั้นรังสี ได้แก่ น้ำยาฟาราและ BaSO_4
- 3.) นำส่วนผสมแต่ละชิ้นมาผสมเข้าด้วยกัน โดยมีอัตราส่วนของน้ำยาฟาราต่อ BaSO_4 เท่ากับ 1 ลิตรต่อ 50 กรัม จะได้เป็นส่วนชานอ้อยประสาน
- 4.) นำเส้นใยชานอ้อยมาผสมกับน้ำยาประสานในอัตราส่วน 70 ต่อ 30) นำส่วนผสมมาเทลงในแบบที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1 โดยเทแต่ละช่องให้ได้ความหนาเป็น 0.5 ซม. , 0.7 ซม. และ 1.0 ซม.
- 6.) นำเข้าตู้อบ Oven : Hot Air ที่อุณหภูมิ 60 องศา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

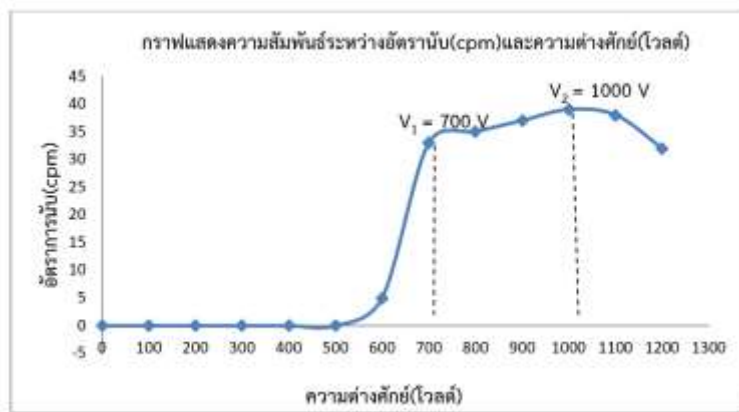
- 7.) นำแผ่นกั้นออกจากตู้แล้วนำแผ่นกั้นออกมาตากลมเพื่อให้แห้งสนิท
- 8.) นำแผ่นกั้นมาตัดให้ได้ขนาด 5X5 ซม. แล้วทำขอบให้กับแผ่นกั้น เพื่อนำไปใส่ในเครื่องเพื่อทำการทดสอบ

ขั้นตอนวิธีการทดลอง

- 1.) หาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ เพื่อใช้ในการทดสอบ
- 2.) ตรวจวัดรังสีที่อยู่ภายในห้อง (Background) บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที จนครบ 50 นาที
- 3.) นำ Co-60 มาใส่ในเครื่องเพื่อวัดค่าความเข้มของรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมา แต่ค่าที่ได้นั้นเป็นค่าความเข้มรวมทั้งห้อง เราจึงต้องนำค่าที่ได้มาลบกับค่า Background เราจะได้ค่าของความเข้มรังสีแกมมาจาก Co-60 จริงๆ
- 4.) นำแผ่นกั้นแต่ละขนาดที่ขึ้นรูปมานั้นไปทดสอบกับเครื่องไกเกอร์-มูลเลอร์
- 5.) ทดสอบที่ความหนาละ 5 นาที ทดสอบ 3 ครั้ง แล้วบันทึกค่าความเข้มของรังสีแต่ละแผ่น

ผลการวิจัย

โดยการจ่ายศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0-1200 โวลต์ เข้าไปที่หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ เพื่อดูอัตราการนับ (cpm) กับค่าโวลต์ที่ใส่เข้าไป จะได้กราฟดังภาพที่ 6 และจากการทดสอบรังสีที่อยู่ภายในห้อง (Background) มีค่า 30.3 จำนวนนับ/1นาที



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับ (cpm) และความต่างศักย์ (โวลต์)

จากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ ได้จากสมการ

$$V = V_1 + \frac{1}{3}(V_2 - V_1)$$

เมื่อ V = ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์

V_1 = ศักย์ไฟฟ้าขีดเริ่ม (โวลต์)

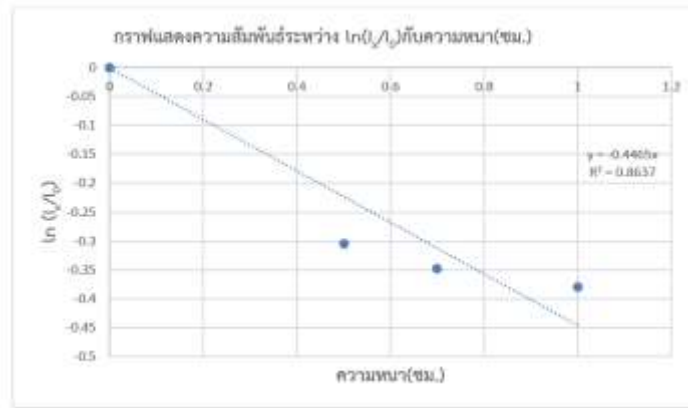
V_2 = ศักย์ไฟฟ้าใช้งานสูงสุด (โวลต์)

แทนค่า
$$V = 700 + \frac{1}{3}(1000 - 700)$$

$$V = 800 \text{ โวลต์}$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ มีค่าเท่ากับ 800 โวลต์

จากการทดสอบวัดความเข้มของรังสีแกมมา Co-60 โดยมีแผ่นกั้นแต่ละความหนา เมื่อนำข้อมูลที่ได้ มาแสดงข้อมูลแบบกราฟ แล้วใช้ข้อมูลจากกราฟมาวิเคราะห์แนวโน้มของรังสีแกมมาที่ถูกลดทอนไป ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I_0/I_x)$ กับความหนา(ซม.)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I_0/I_x)$ กับความหนา(ซม.) จะเห็นได้ว่า เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นความเข้มของรังสีจะมีค่าลดน้อยลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential) ในทางคณิตศาสตร์สามารถคำนวณเป็นสมการเส้นตรงได้ โดยเปลี่ยนกราฟให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (Logarithm) ดังนั้นจะได้เส้นตรงดังภาพที่ 7

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาจากแผ่นเส้นใยชานอ้อยกับ $BaSO_4$ โดยใช้น้ำยารังสีเป็นตัวประสาน ได้ผลดังนี้ แผ่นกั้นรังสีที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถลดทอนรังสีแกมมาได้ โดยตัวเส้นใยนั้นมีส่วนที่ช่วยในการลดทอนรังสีแกมมาด้วยเช่นกันและเมื่อยิ่งมีความหนามากขึ้นก็ยิ่งสามารถลดทอนรังสีแกมมาได้มากขึ้นเหมือนกัน โดยแผ่นกั้นที่สร้างขึ้นมานั้นมีสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาเชิงเส้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.496 เซนติเมตร⁻¹ และมีค่าความหนาที่จะทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลงเหลือกึ่งหนึ่ง (HVL) มีค่าเท่ากับ 1.395 เซนติเมตร เมื่อเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีแกมมาของแผ่นเส้นใยชานอ้อยกับ $BaSO_4$ โดยใช้น้ำยารังสีเป็นตัวประสานกับแผ่นตะกั่ว นั้นพบว่าแผ่นของเส้นใยชานอ้อยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาเชิงเส้นน้อยกว่าแผ่นตะกั่วมาก โดยสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่ว นั้นมีค่า 6.4107 เซนติเมตร⁻¹ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะมีค่าเท่ากับ 7.745% เมื่อเทียบกับแผ่นตะกั่ว

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยในครั้งนี้นี้ยังต้องมีการวิจัยชนิดน้ำยาผสม ความหนาแน่นของแผ่นกั้น สัมประสิทธิ์การลดทอนของน้ำยาผสมและเส้นใยชานอ้อย เพิ่มความหนาให้มากขึ้น การขึ้นรูป อลูมิเนียมที่ใช้ในการอบเพื่อขึ้นรูป ความเข้มข้นของแต่ละแผ่น เพื่อให้แผ่นกั้นที่ได้มีประสิทธิภาพครบถ้วนตามคุณสมบัติของแผ่นกั้นรังสีที่ดี

เอกสารอ้างอิง

ผกาภาส ลิ้มอรุณ ,เอกชัย วิมลมาลา , ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง. การผลิตแผ่นยางฟองปลอดสารตะกั่วกับังรังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมาจากวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติผสมบิสมัทออกไซด์. การประชุมวิชาการเสนอผลงานระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 20 (NGRC 20th). วันที่ 15 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 418-428

จงกลณี แซ่จั้ง และ นุสรรา ดิลกรัตนพิจิตร. ประสิทธิภาพของการป้องกันรังสีเอกซ์ระหว่างฉากป้องกันที่ประดิษฐ์ขึ้นกับฉากมาตรฐานและฉากกระจก. วิทยุสื่อสาร ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2555. หน้า 42-51

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง ร่วมกับ รศ.เอกชัย วิมลมาลา และนายวรวัฒน์ ผลทับทิม จากภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไพเสริฐ ธรรมมานุธรรม. (2551) นิวเคลียร์ฟิสิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ขนิษฐา (2561, มีนาคม 3). เข้าถึงได้จาก <http://futurexray.com>

ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์. (2561, มีนาคม 5). เข้าถึงได้จาก <http://nakhamwit.ac.th>

นิพนธ์ ตั้งประเสริฐ. (2560). พิสิกส์รังสี. พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

สมพงษ์ ใจดี. (2544). พิสิกส์มหาวิทยาลัย 4. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นาโนเมททีเรียลส์เทคโนโลยี. ซิงค์ออกไซด์นาโน. (2561, เมษายน 5) เข้าถึงได้จาก <http://www.nanomaterials.co.th>

สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. การใช้รังสีแกมมาในทางการแพทย์. (2561, มีนาคม 7) เข้าถึงได้จาก <http://www.nst.or.th>

การเปรียบเทียบศักยภาพเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้

ชเนษฐ์ วิชาศิลป์

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
email: cnwichasilp@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ 3 ชนิดได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรด มาเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ โดยทำการหมักเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากสับปะรด มีค่า pH แสดงความเป็นกรดสูงที่สุดคือ 3.43 ค่าการนำไฟฟ้า 8.35 ms/cm รองลงมาเป็นน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอ มีค่า pH คือ 3.50 ค่าการนำไฟฟ้า 11.65 ms/cm และ น้ำหมักชีวภาพจากมะม่วง มีค่า pH คือ 3.65 ค่าการนำไฟฟ้า 11.96 ms/cm ตามลำดับ สำหรับค่าความต่างศักย์ในวงจรเปิดสูงสุดได้จากน้ำหมักชีวภาพของมะม่วง วัดค่าความต่างศักย์เฉลี่ยได้ 1.859 โวลต์ต่อเซลล์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดได้จากน้ำหมักชีวภาพของมะละกอ วัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 16.818 มิลลิแอมป์ต่อเซลล์ โดยให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 30.071 mWต่อเซลล์

คำสำคัญ : น้ำหมักชีวภาพ เซลล์ไฟฟ้าเคมี

Comparison of the potential of electrochemical cells Using bio-fermented water from fruits

Chanade Wichasilp

Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand
E-mail; cnwichasilp@gmail.com

Abstract

This research is a comparative study of the electrical properties of electrochemical cells using bio-fermented juice from 3 fruits; mango, papaya and pineapple as electrolytes. By fermentation for 3 months, it was found that the bio-fermented juice from pineapples showed the highest pH, 3.43, electrical conductivity 8.35 ms/cm, followed by the bio-fermented from papaya, with a pH of 3.50, conductivity 11.65 ms/cm and the bio-fermented juice from mangoes has a pH value of 3.65, the electrical conductivity of 11.96 ms/cm, respectively. For the maximum open-circuit voltage, the bio-fermented juice of mangoes has an average potential of 1.859 Volts/cell and the highest electricity value produced from bio-papaya fermentation measure an average current of 16.818 mA /cell with an average maximum power output of 30.071 mW/cell

Keywords: bio-fermented water; Electrochemical cell

บทนำ

ปัจจุบันกิจกรรมต่างๆที่มนุษย์ต้องทำในชีวิตประจำวันแล้วแต่ต้องใช้พลังงานเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า นับวันจะมีความต้องการต่อการพัฒนาของประเทศไทยมากขึ้นทุกที ดังนั้นจึงต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยการหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทนแหล่งพลังงานที่กำลังจะหมดไปโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญ

งานวิจัยนี้ต้องการหาแหล่งพลังงานใหม่ ที่สามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ง่าย และคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นที่มาของการศึกษาเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ โดยในขั้นตอนการหมักได้เลือกใช้ผลไม้ที่อยู่มากมายในสวนได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรด มาเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำน้ำหมักด้วย EM หรือ Effective Microorganisms หมายถึง กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่ง Dr.Teruо Higa ผู้เชี่ยวชาญสาขาพืชสวนมหาวิทยาลัยวิริวคิ เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้ค้นพบเมื่อ พ.ศ. 2526 อีเอ็ม หรือน้ำจุลินทรีย์ มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาลดำ มีกลิ่นอมเปรี้ยวอมหวาน ค่า พีเอช อยู่ที่ประมาณ 3.5 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจำนวนมากกว่า 80 ชนิด จึงไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมี หรือยาปฏิชีวนะและยาฆ่าเชื้อต่างๆ ได้ อีเอ็ม ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืช และแมลงที่เป็นประโยชน์ แต่ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี (ครูอดิศร ก้อนคำ, 2548)

บุญช่วย ขาญประโคน (2542) ได้ศึกษาการเกิดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ของเหลือจากต้นกล้วยเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าของของเหลือที่สกัดได้จากส่วนต่างๆของต้นกล้วยกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1M พบว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่สกัดจากลำต้นกล้วย ให้ศักย์ไฟฟ้า 0.5 V และให้กระแสไฟฟ้า 2.5mA สำหรับเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพในงานวิจัยนี้จะทำการหมักน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรดเป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งในระยะเวลาหมักนี้ได้ทำการวัดค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพ รวมถึงวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิด รวมไปถึงการวัดค่าทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์ไฟฟ้าโดยใช้แผ่นทองแดง และแผ่นแมกนีเซียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดจากน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้สามชนิดได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรด
2. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เตรียมน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ 3 ชนิดได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรด อย่างละ 3 กิโลกรัมมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับกากน้ำตาลอย่างละ 1ลิตร ใช้ EM อย่างละ 1ลิตร และน้ำเปล่าอย่างละ 10 ลิตร มาใช้หมักเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นระยะเวลา 3 เดือน ในระยะเวลาหมักได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด เดือนละ 1 ครั้ง(วัดค่า 3 ชั่วโมง) เป็นเวลา 3 เดือน
2. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในน้ำหมักในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 เดือนละ 1 ครั้ง
3. ในเดือนที่ 3 ทำการวัดค่าทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เปิดวงจร) และ ค่ากระแสไฟฟ้า (เมื่อนำมาต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 1Ω 4Ω 7.5Ω 10Ω และ 12Ω) ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิด อย่างละ 1 เซลล์ โดยเลือกใช้แผ่นทองแดงคู่กับแผ่นแมกนีเซียมเป็นขั้วไฟฟ้า

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการหมักน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ 3 ชนิดได้แก่ มะม่วง มะละกอ และสับปะรดเมื่อหมักเป็นระยะเวลา 3 เดือนแล้วจะได้น้ำหมักชีวภาพที่ได้เป็นสารละลายสีน้ำตาล ไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น และไม่มึกลิ่นเหม็นบูด รูปที่ 1

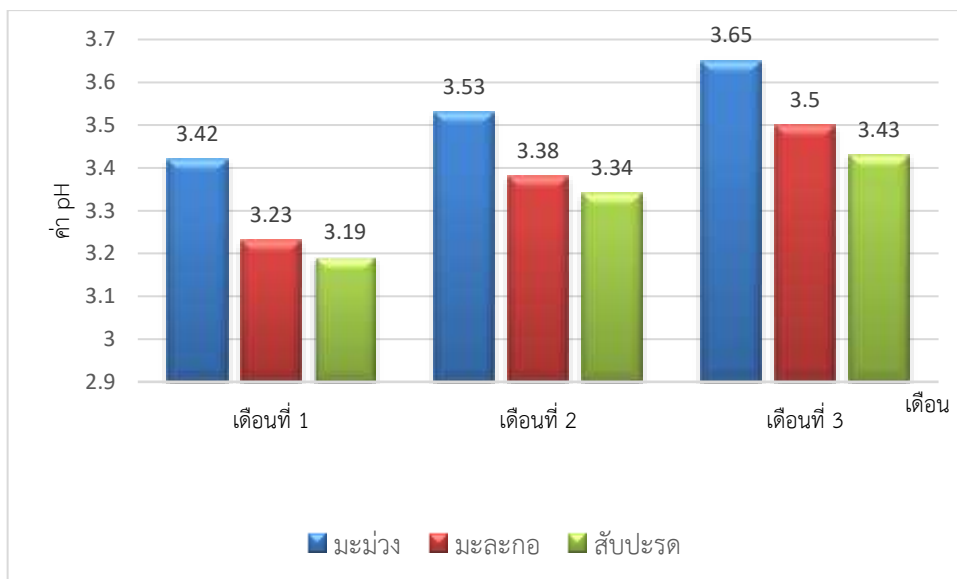


รูปที่ 1 น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิดภายหลังจากกรองเอาเศษจากการหมักออก
ที่มา : ภาพถ่ายโดย น.ส.ศิริพร คำยอง เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2559

1. ข้อมูลค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิดในแต่ละเดือน

1.1 ค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิดในแต่ละเดือน

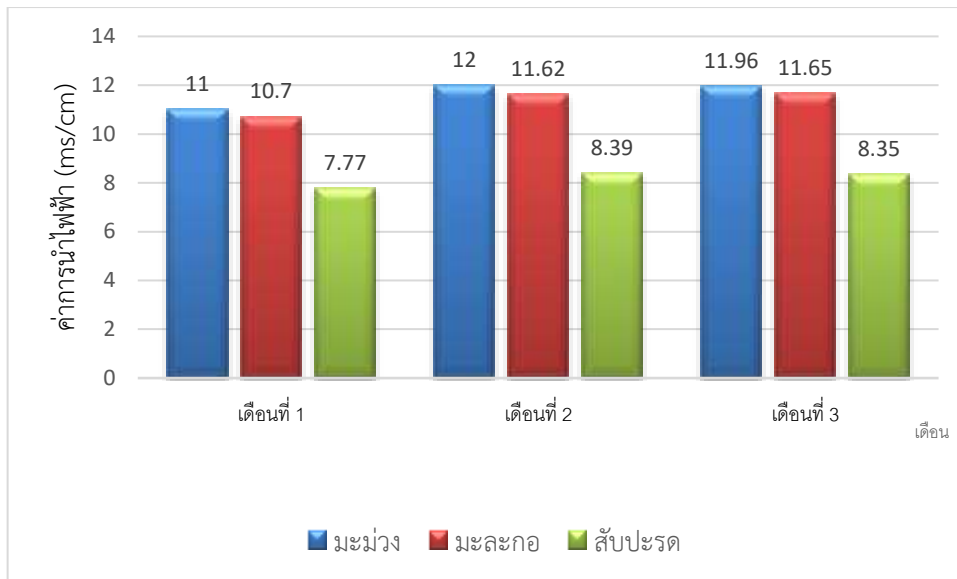
สำหรับค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลไม้แต่ละชนิดพบว่าสับปะรดมีค่า pH น้อยที่สุดหรือมีความเป็นกรดมากที่สุดในผลไม้ทั้ง 3 ชนิด โดยมีค่า pH เท่ากับ 3.19 และค่าความเป็นกรดนี้จะค่อยๆ ลดลงในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบค่า pH เฉลี่ยของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดในแต่ละเดือน

1.2 ค่าการนำไฟฟ้า ของน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิดในแต่ละเดือน

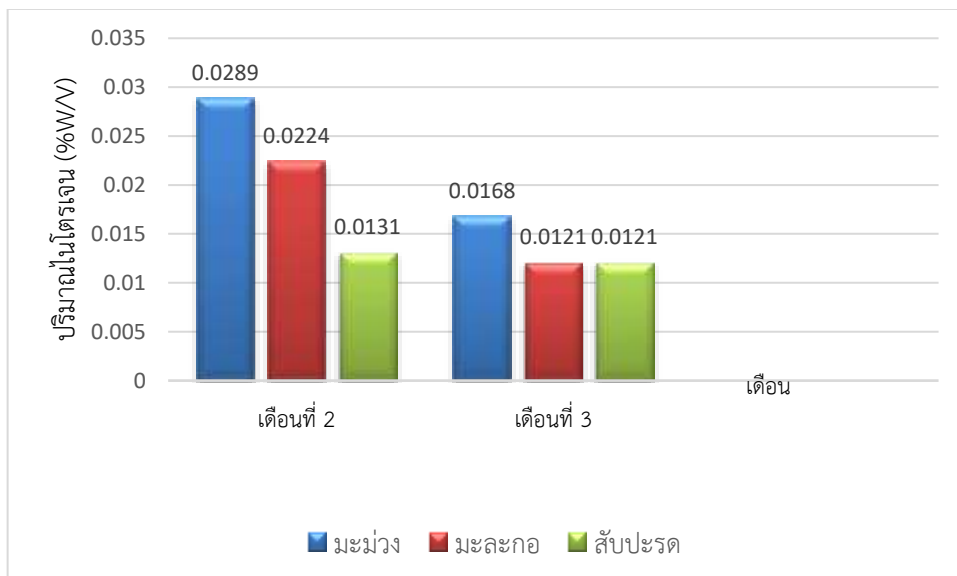
สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลไม้แต่ละชนิดพบว่ามะม่วงมีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดที่ 12 ms/cm ในเดือนที่ 2 ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอ และสับปะรดจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ลดหลั่นลงมาตามลำดับ



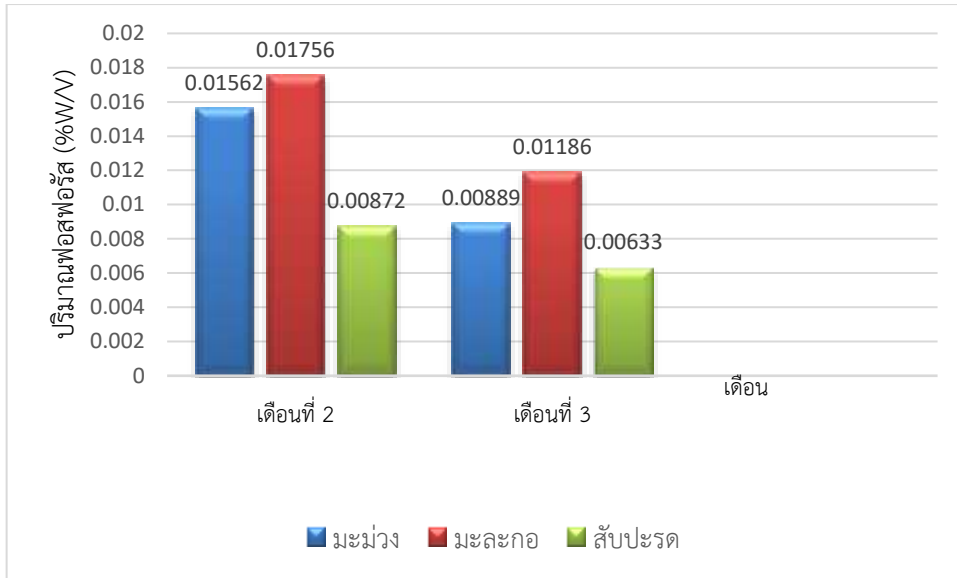
รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดในแต่ละเดือน

2. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำหมักชีวภาพ

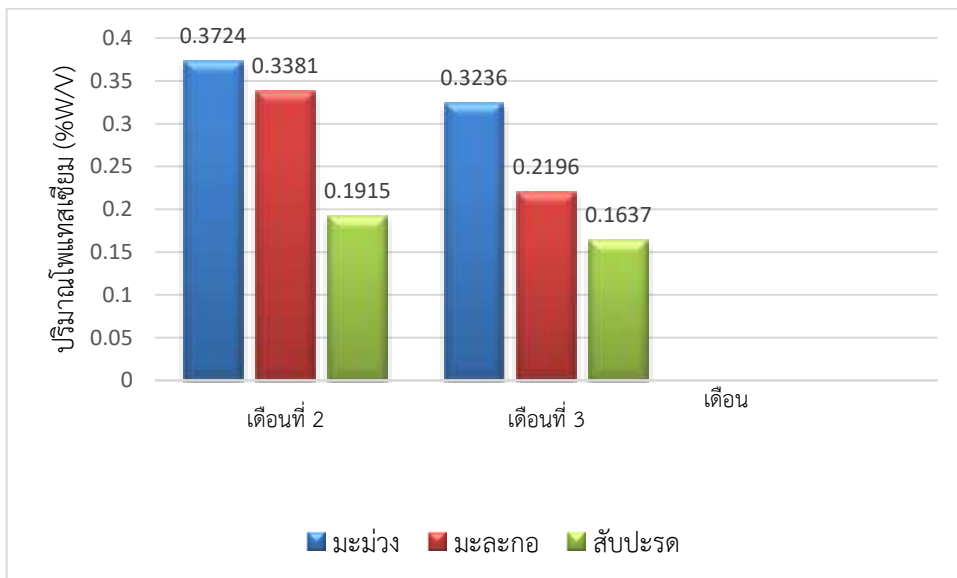
จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำหมักชีวภาพพบว่า ในน้ำหมักชีวภาพมีองค์ประกอบของธาตุโพแทสเซียมมากที่สุด โดยน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมมากที่สุดถึง 0.372%W/V ในการหมักเดือนที่ 2 ดังรูปที่ 6 สำหรับธาตุไนโตรเจนมีปริมาณในน้ำหมักรองลงมาดังรูปที่ 4 และมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสน้อยที่สุดในรูปที่ 5 ซึ่งในน้ำหมักชีวภาพจากมะละกามีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าในน้ำหมักจากผลไม้ชนิดอื่นๆ โดยปริมาณธาตุองค์ประกอบที่ตรวจวัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดในแต่ละเดือน



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดในแต่ละเดือน



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดในแต่ละเดือน

3. การวัดค่าทางไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ

ในการวัดค่าทางไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ จะทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะเปิดวงจรของแต่ละเซลล์ เปรียบเทียบกันโดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งติดต่อกัน และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ไฟฟ้าโดยใช้การต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 1Ω 4Ω 7.5Ω 10Ω และ 12Ω แล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์
ที่มา : ภาพถ่ายโดย น.ส.ศิริพร ค่ายอง เมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2560

3.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เปิดวงจร) ของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ

จากการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิด พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 1.859 V และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอมีค่าน้อยที่สุด แต่มีค่าใกล้เคียงกับน้ำหมักชีวภาพจากสับปะรดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เปิดวงจร) ของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ จำนวน 1 เซลล์

ส่วนประกอบหลัก น้ำหมักชีวภาพ	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
มะม่วง	1.842	1.876	1.860	1.859
มะละกอ	1.784	1.793	1.788	1.788
สับปะรด	1.789	1.787	1.797	1.791

3.2 ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยเฉลี่ยจากการต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาดต่างๆ พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอมีค่าสูงสุดถึง 16.818 mA แต่ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจากน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงมีค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่ 13.524 mA ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ จำนวน 1 เซลล์

ส่วนประกอบหลัก น้ำหมักชีวภาพ	ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (mA)

มะม่วง	13.524
มะละกอ	16.818
สับปะรด	14.224

เมื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือ 30.071 mW/เซลล์ ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยสุดเพียง 25.141 mW/เซลล์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพของเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพ จำนวน 1 เซลล์

ส่วนประกอบหลัก น้ำหมักชีวภาพ	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (mW)
มะม่วง	25.141
มะละกอ	30.071
สับปะรด	25.475

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการเก็บข้อมูลค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำหมักชีวภาพ และส่วนที่สามเป็นการวัดค่าทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากน้ำหมักชีวภาพ

ในการเก็บข้อมูลค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดพบว่า น้ำหมักชีวภาพจากสับปะรดแม้ว่าจะมีค่าความเป็นกรดมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหมักจากผลไม้ชนิดอื่น แต่ค่าการนำไฟฟ้ากลับมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหมักจากผลไม้ชนิดอื่น สำหรับน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วง และมะละกอมีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้แต่ละชนิดพบว่า น้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงมีปริมาณไนโตรเจน และ โพแทสเซียม มากที่สุด ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด

สำหรับค่าทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพจากมะม่วงมีค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุด แต่ให้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยที่สุด ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบค่าเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ชนิดอื่นๆ สำหรับน้ำหมักชีวภาพจากมะละกอแม้ว่าจะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับของน้ำหมักจากสับปะรด แต่ให้ค่ากระแสไฟฟ้ามากที่สุดถึง 16.818 mAต่อเซลล์ จึงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้านี้มีค่ามากที่สุดถึง 30.071 mWต่อเซลล์

จากผลการวิจัยนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าความเป็นกรดที่มากของน้ำหมักชีวภาพไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ควรจะได้ แต่ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าคือค่าการนำไฟฟ้าที่สูงในระดับหนึ่ง และปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในน้ำหมักชีวภาพ รวมถึงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในการหมักก็จะส่งผลให้กระแสที่วัดได้มีค่าน้อยลงไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากน้ำหมักชีวภาพได้ แต่ปัญหาที่พบในการวิจัยนี้คือ ขั้วไฟฟ้าของใช้จะเกิดการกร่อนของแผ่นแมกนีเซียม โดยเมื่อทำการทดสอบต่อกับหลอดLED พบว่าสามารถใช้ได้ไม่เกิน 5 ชั่วโมง ต้องเปลี่ยนแผ่นแมกนีเซียมใหม่ ดังนั้นจะลองใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับเซลล์ไฟฟ้านี้ในการวิจัยครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ครูอดิศร ก้อนคำ. (2552). การทำ EM จากเศษผักผลไม้. (ออนไลน์). (2559). สืบค้นจาก : <http://www.kroobannok.com/21300> (6 ธันวาคม 2559)

บุญช่วย ชาณุประโคน. (2542). การศึกษาการเกิดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ของเหลวที่ได้จากต้นกล้วยเป็นสารละลาย
อิเล็กโทรไลต์. หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรพิมล วงศ์อินทร์. (2558). **เซลล์ไฟฟ้าจากปุ๋ยเคมี**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

ศิริวรรณ ต้นหยง. (2554). **การพัฒนาเซลล์กัลวานิกต้นทุนต่ำและเซลล์แบตเตอรี่อย่างง่ายจากน้ำเสาวรส**. วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (เคมีศึกษา), มหาวิทยาลัยบูรพา.

กัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาด

อมรา อธิพงษ์ , ธนัฐ กรอบทอง , วิชาญ เลิศลพ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

email: ammara.it@ssru.ac.th , thanat.kr@ssru.ac.th , wichan.le@ssru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวัดและวิเคราะห์หาชนิดและค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของทรายในทรายชายหาด 3 ตัวอย่าง ดังนี้ หาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, หาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประเทศไทย โดยวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) หาชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ค้นพบในตัวอย่างทรายชายหาดและนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ($R_{a_{eq}}$) ในตัวอย่างทรายชายหาด ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ผลการศึกษาพบว่าทรายชายหาดจาก 3 สถานที่ มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีดังนี้ คือ เรเดียม-226 ตะกั่ว-212 ตะกั่ว-214 แทลเลียม-208 บิสมัท-214 แอกทิเนียม-228 โพแทสเซียม-40 นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนปริมาณกัมมันตภาพรังสีชายหาดสมิหลา ชายหาดเขาตะเกียบ และชายหาดบาหลี่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติ (UNSCEAR, 2000) เกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณอยู่ในระดับไม่ได้เป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยหรือผู้ที่มาท่องเที่ยว

คำสำคัญ : ทรายชายหาด, นิวไคลด์กัมมันตรังสี, ดัชนีความเสี่ยงรังสี

Radioactivity in beach sand

Ammara Ittipongse, Thannat Krobtong ,Wichan Lertlob

Applied Physics Faculty of Science and Technology Suan Sunandha Rajabhat University

email: ammara.it@ssru.ac.th , thanat.kr@ssru.ac.th , wichan.le@ssru.ac.th

Abstract

This study investigated the radioactivity of radioactive nuclide on 3 beach sample: Bali Indonesia, Samila Songkhla and Khao Takiab Prachuap Khiri Khan. By using gamma spectrometer and high purity germanium detector (HPGe) analyzed: 1. type and radioactivity of nuclide 2. the radiation risk index, radioactive equivalent Radium (D) and absorbed dose (Ra_{eq}) of sand beach sample External radiation risk index (H_{ex} Bq/kg), internal radiation risk index (H_{in} Bq/kg) and finally, annual dose. the results shown the radioactive type of 3 sample sand beach that were Radium-226, Lead-212, Lead-214, thallium-208, Bismuth-214, actinium-228, Potassium-40. Furthermore, by comparing to standard value of UNSCEAR, 2000 indicated that the annual dose at Samila, Khao Takiab and Bali were low than standard. Moreover, by comparing to United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 2000 showed that these annual dose were not harmful to the human.

Keywords : Beach sand, Radioactive nuclide, Radiation risk index

บทนำ

กัมมันตภาพรังสีเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งของพลังงานนิวเคลียร์ และกัมมันตภาพรังสีก็มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมทั้งในร่างกายของเราเอง เช่น โพแทสเซียม-40 และ คาร์บอน-14 ภายในกระดูกก็มีกัมมันตภาพรังสีเช่นกัน การหาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน ในน้ำ ในอากาศและในพืช [1] เป็นมาตรการหนึ่งในการตรวจสอบความผิดปกติจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์และรังสีต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะเป็นกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Natural Radiation) เป็นกัมมันตภาพรังสีระดับต่ำและบางส่วนเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man Made Radiation) ปัจจุบันมนุษย์ได้รับประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์อยู่แล้วโดยไม่รู้ตัว เช่น ในอาหาร น้ำดื่ม อากาศ ตลอดจนด้านการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ในขณะที่ได้รับประโยชน์นั้นก็ย่อมได้รับโทษเช่นกัน เนื่องจากสารกัมมันตรังสีนั้นมีอยู่ในทุกๆ แห่งในธรรมชาติ ดังนั้น เมื่อร่างกายของเราดื่ม กิน หายใจเข้า - ออก ก็จะได้รับกัมมันตรังสีจากอากาศ อาหาร และน้ำเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำ

ปัจจุบันรังสีพบได้ในทุกๆ บริเวณตามธรรมชาติ โดยในแต่ละบริเวณก็จะมีปริมาณรังสีมากน้อยที่ต่างกัน จึงเป็นผลว่าหากปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติ จะทำให้มนุษย์ได้รับรังสีในปริมาณที่มากตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้กลุ่มนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลกได้ให้ความสนใจในการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีต่างๆ ในหลายแห่งด้วยกัน สำหรับในประเทศไทยนั้นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบเรื่องการตรวจวัดปริมาณสารกัมมันตรังสีในธรรมชาติภายในบริเวณของประเทศไทยโดยตรง คือ สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี (สร.) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ทำการศึกษาวิจัยและประเมินค่าปริมาณกัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม จากตัวอย่างสิ่งแวดล้อมประเภทน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำฝน น้ำทะเล ดิน ทราบหญ้า และในอาหารประเภทต่างๆ ที่บริเวณต่างๆ ทั่วประเทศไทย เป็นต้น

ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจมุ่งศึกษาในการตรวจวัดปริมาณของค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติที่มีการสะสมอยู่ในทรายชายหาด เนื่องจากเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีผู้คนมาท่องเที่ยวมากมาย โดยทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีด้วยหัววัดรังสี แบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในทรายชายหาด
2. เพื่อประเมินดัชนีที่บ่งชี้ที่เสี่ยงความเป็นอันตรายเชิงรังสีที่มีในทรายชายหาดต่อผู้ที่อาศัยหรือผู้ที่มาท่องเที่ยว

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการตรวจวัดการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณนิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาด และการประเมินดัชนีที่บ่งชี้ที่เสี่ยงการเป็นอันตรายเชิงรังสีที่มนุษย์ได้รับที่มีอยู่ในทรายชายหาด

- (1) นำตัวอย่างทรายมาอบในตู้อบที่ 150 องศาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนตัวอย่างแห้งไม่มีความชื้นวางภาควัดตัวอย่างทรายไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง
- (2) จากนั้นนำตัวอย่างมาอุ่นด้วยตะแกรงเพื่อเอาเศษตะกอนต่างๆออก แล้วเก็บตัวอย่างใส่ถุง
- (3) เตรียมบีกเกอร์สำหรับใส่ตัวอย่างทรายเพื่อนำไปวัดกัมมันตภาพรังสี
- (4) นำตัวอย่างทรายบรรจุลงบีกเกอร์พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง
- (5) นำมาวิเคราะห์ด้วยระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีด้วยหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์โดยตรวจดูปริมาณไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) สำหรับหล่อเลี้ยงหัววัดว่ามีเพียงพอหรือไม่ โดยสังเกตได้จากตัวเลขที่แสดงไว้ข้างๆ ตัวกำบังรังสี (Shielding) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงถึงน้ำหนักรวมของหัววัดและไนโตรเจนเหลว
- (6) ตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการวัดที่ 20,000 sec และทำการปรับเทียบพลังงาน โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานและวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาของตัวอย่างทรายชายหาด
- (7) ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานที่ได้จากการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีต่อไป

ผลการวิจัย

จากที่ได้ทำการตรวจวัด และวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (Ra-226, Th-232, K-40) ในตัวอย่างทรายชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รวม 3 พื้นที่ ศึกษาโดยใช้ห้วงรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี หลังจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลทางผู้ทำวิจัยได้นำเสนอผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสี ดังต่อไปนี้

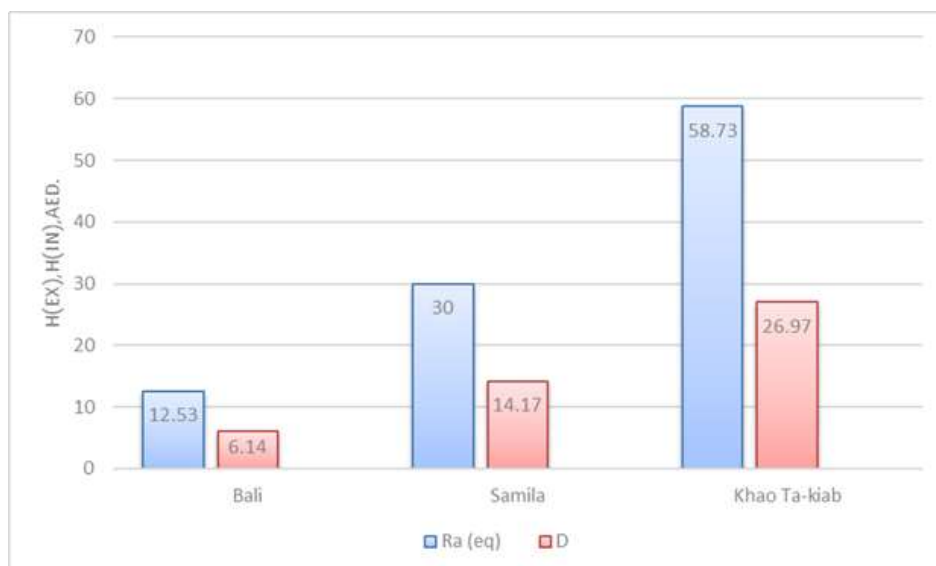
ตารางที่ 1 แสดง ชนิด ค่าพลังงานนิวไคลด์และปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ค้นพบในตัวอย่างทรายชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา, ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ชายหาดบาหลี่ : กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)	ชายหาดสมิหลา: กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)	ชายหาดเขาตะเกียบ : กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)
Ra-226	1.66	0.96	1.24
Pb-212	4.60	15.30	33.87
Pb-214	6.47	13.56	20.79
Pb-214	6.77	13.99	14.61
Tl-208	1.09	3.67	9.21
Bi-214	5.87	12.03	17.86
Ac-228	4.59	9.38	25.41
Tl-208	1.91	0.66	0.69
K-40	61.50	120.57	129.47

ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซียชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณหรือพื้นที่ต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการหรือสูตรที่ได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้และความสนใจทางด้าน การตรวจวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติทั่วโลก ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในพื้นที่ตัวอย่าง ได้แสดงผลที่ได้ไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดง ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืน (Ra_{eq}) ในตัวอย่างทรายชายหาด

สถานที่	ตัวอย่าง	Ra_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/h)
อินโดนีเซีย	ชายหาดบาหลี่	12.53	6.14
สงขลา	ชายหาดสมิหลา	30	14.17
ประจวบคีรีขันธ์	ชายหาดเขาตะเกียบ	58.73	26.97
ค่ามาตรฐาน(UNSCEAR,2000)		370 Bq/kg	55 (nGy/h)

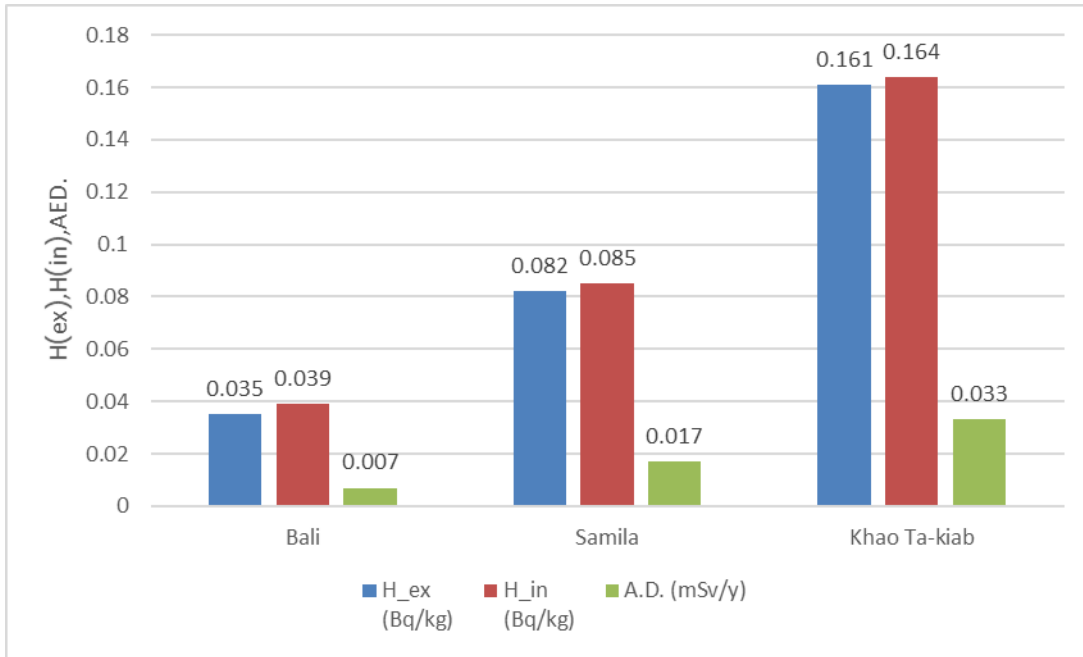


รูปที่ 1 แสดง ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืน (Ra_{eq}) ในตัวอย่างทราย

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียมและอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศพบว่า บริเวณพื้นที่ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะค่ากัมมันตภาพรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียมและอัตราปริมาณรังสีดูดกลืน มีค่าสูง ส่งผลให้ค่าดังกล่าวสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 3 แสดง ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y)

สถานที่	ตัวอย่าง	ปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอก ร่างกาย (Bq/kg)	ปริมาณรังสีที่ได้รับ ภายใน(Bq/kg)	ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อ ปี(mSv/y)
อินโดนีเซีย	ชายหาดบาห์ลี	0.035	0.039	0.007
สงขลา	ชายหาดสมิหลา	0.082	0.085	0.017
ประจวบคีรีขันธ์	ชายหาดเขา ตะเกียบ	0.161	0.164	0.033
ค่ามาตรฐาน (UNSCEAR,2000)		1	1	0.48



รูปที่ 2 แสดง ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y)

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีพบว่า บริเวณพื้นที่ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอก ร่างกายและปริมาณรังสีที่ได้รับภายในสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ มีค่า 0.161, 0.164 และ 0.033 ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะค่ากัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 มีค่ามาก ส่งผลให้การวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอกค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี รองลงมาได้แก่ ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ที่มีค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก และดัชนีความเสี่ยงรังสีภายในและอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี มีค่าเท่ากับ 0.082, 0.085 และ 0.017 ตามลำดับ แต่ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก และดัชนีความเสี่ยงรังสีภายในและอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปียังน้อยกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน (UNSCEAR,2000) กำหนดไว้

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่า ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226,ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 ในพื้นที่ชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเกิดจากพื้นที่ทำการศึกษามีความแตกต่างทางลักษณะภูมิศาสตร์ หรืออาจจะมีการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีที่มาจากในธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้นมา ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่ากัมมันตภาพรังสีมีค่าแตกต่างกัน หรืออาจเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสูง ภูเขา มีการสะสมของหินต่างๆ โดยเฉพาะหินแกรนิตจะมีการสะสมสารกัมมันตภาพรังสีมากกว่าหินชนิดอื่นๆ มากที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

จากตารางการศึกษาผลของชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเป็นการเปรียบเทียบ อัตราส่วนของปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 แหล่งที่นำมาวัดรังสีโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ใช้เวลาในการตรวจวัด 20,000 sec/sample โดยวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ประกอบด้วย เรเดียม-226 ตะกั่ว-212 ตะกั่ว-214 แทลเลียม-208 บิสมัท-214 แอกทิเนียม-228 โพแทสเซียม-40 พบว่าอัตราส่วนปริมาณกัมมันตภาพรังสีมีค่าอยู่ในเกณฑ์เดียวกันแสดงผลดังตาราง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบอัตราส่วนปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างทรายทั้ง 3 แหล่ง

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ชายหาดบาหลี่ : กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)	ชายหาดสมิหลา: กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)	ชายหาดเขาตะเกียบ : กัมมันตภาพรังสี (Bq/kg)
----------------------	-------------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------------

Ra-226	1.66	0.96	1.24
Pb-212	4.60	15.30	33.87
Pb-214	6.47	13.56	20.79
Pb-214	6.77	13.99	14.61
Tl-208	1.09	3.67	9.21
Bi-214	5.87	12.03	17.86
Ac-228	4.59	9.38	25.41
Tl-208	1.91	0.66	0.69
K-40	61.50	120.57	129.47

ส่วนค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ในตัวอย่างทรายชายหาดแสดงผลดังตาราง

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y)

ตัวอย่าง	อัตราปริมาณรังสีดูดกลืน (nGy/h)	กัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Bq/kg)	ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก (Bq/kg)	ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน (Bq/kg)	อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (mSv/y)
บาห์ลี	6.14	12.53	0.035	0.039	0.007
สมิหลา	14.17	30	0.082	0.085	0.017
เขาตะเกียบ	26.97	58.73	0.161	0.164	0.033

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ในพื้นที่ชายหาดบาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 6.14 (nGy/h), 12.53 (Bq/kg), 0.035 (Bq/kg), 0.039 (Bq/kg) และ 0.007 (mSv/y) ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ในพื้นที่ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 14.17 (nGy/h), 30 (Bq/kg), 0.082 (Bq/kg), 0.085 (Bq/kg) และ 0.017 (mSv/y) ตามลำดับ

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ในพื้นที่ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 26.97 (nGy/h), 58.73 (Bq/kg), 0.161 (Bq/kg), 0.164 (Bq/kg) และ 0.033 (mSv/y) ตามลำดับ

ขีดจำกัดปริมาณทางรังสี (dose limit) ได้กำหนดปริมาณรังสียอมรับสูงสุด (maximum permissible dose) สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี คือ 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี เฉลี่ยในระยะเวลาต่อเนื่อง 5 ปี โดยค่าสูงสุดในปีใดปีหนึ่ง คือ 50 มิลลิซีเวิร์ต ทั้งนี้ คิดนอกเหนือจากรังสีพื้นหลัง และไม่รวมการรับรังสีทางการแพทย์ ค่านี้ริเริ่มโดยคณะกรรมการการระหว่างประเทศด้านการป้องกันทางรังสี ขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับบุคคลทั่วไป สำหรับการรับรังสีตามปกติกำหนดไว้เท่ากับ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

นอกจากนี้ ยังได้นำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดย UNSCEAR ซึ่งพบว่าค่าของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity) ที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัด

ประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 58.73 (Bq/kg) รองลงมาได้แก่ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 30 (Bq/kg) และที่ชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 12.53 (Bq/kg) ตามลำดับ

ส่วนค่าของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate) ที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 26.97 (Bq/kg) รองลงมาได้แก่ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 14.17 (Bq/kg) และชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 6.14 (Bq/kg) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียมและค่าของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนของตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 แหล่ง มีค่าที่ 15.76 (Bq/kg) และ 33.75 (Bq/kg) ตามลำดับ

สำหรับค่าเฉลี่ยของดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index) ที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.161(Bq/kg) รองลงมาได้แก่ ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 0.082 (Bq/kg) และชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 0.035 (Bq/kg) ตามลำดับ

ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายในที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.164 (Bq/kg) รองลงมาได้แก่ ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 0.085 (Bq/kg) และชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 0.039 (Bq/kg) ตามลำดับ และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) ที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.033 (mSv/y) รองลงมาได้แก่ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 0.017 (mSv/y) และชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าเท่ากับ 0.007 (mSv/y) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีของตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 แหล่ง มีค่าที่ 0.092 (Bq/kg) , 0.096 (Bq/kg) และ 0.019 (mSv/y) ตามลำดับ

ในการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาด สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้ จากที่ได้ทำการตรวจวัด และวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รวม 3 พื้นที่ ศึกษาโดยใช้ห้วงวัดรังสีชนิดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี หลังจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพลังงานนิวไคลด์กัมมันตรังสี ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ค้นพบในตัวอย่างทรายชายหาด ค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (D) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Ra_{eq}) ในตัวอย่างทรายชายหาด ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอก H_{ex} (Bq/kg) ดัชนีความเสี่ยงรังสีภายใน H_{in} (Bq/kg) และเมื่อคำนวณอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี Annual Dose (mSv/y) แล้วพบว่าอัตราส่วนปริมาณกัมมันตภาพรังสีมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันกัน คือ 0.007 (mSv/y) สำหรับชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย, 0.017 (mSv/y) สำหรับชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และ 0.033 (mSv/y) สำหรับชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งปริมาณรังสีที่ได้รับนั้นต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของข้อมูลจากทั่วโลก (UNSCEAR,2000) ซึ่งมีความหมายว่าประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจะได้รับปริมาณรังสีธรรมชาติในระดับปกติเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของโลก ปริมาณรังสีดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับต่ำไม่ได้เป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยหรือผู้ที่มาท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ (2549) และคณะที่ได้ทำการวัดปริมาณและคุณภาพของกัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยใช้ห้วงวัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโกปี ใช้เวลาในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของแต่ละตัวอย่าง 10,000 วินาที พบว่ามีไอโซโทปรังสี ของ Pb-212, Ac-228, Tl-208, Pb-214, Ra-226, Cs-137, Th-232 และ K-40 ปรากฏอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาดดังกล่าว และได้ทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในไอโซโทปรังสีพบว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ปกติ และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของ นางสาวมรรณี ดาโอะ(2558), ประสงค์ เกษราธิคุณ(2552) ที่ได้ทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีและพบว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ปกติ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยหรือผู้ที่มาท่องเที่ยว

จากสมมติฐานพบว่าค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีดูดกลืนในอากาศที่ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าที่ชายหาดบาหลี่ ประเทศอินโดนีเซีย และชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา จากผลการวิจัยที่พบนี้เนื่องมาจากลักษณะภูมิประเทศแต่ละท้องที่ จึงส่งผลให้ค่านิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน ซึ่งผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงปริมาณรังสีโดยรวมที่ได้รับจากผลการวิจัยของตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 แหล่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานกำหนด(UNSCEAR,2000) ความเสี่ยงการเป็นอันตรายอยู่ที่ระดับปกติ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีธรรมชาติในทรายชายหาดมีต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของข้อมูลจากทั่วโลก (UNSCEAR,2000) ซึ่งมีความหมายว่าประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจะได้รับปริมาณรังสีธรรมชาติในระดับปกติ ค่าปริมาณรังสีดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับต่ำไม่ได้เป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าวแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่ควรตรวจสอบเพิ่มเติมได้แก่ ชายหาดเขาตะเกียบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งตัวอย่างที่เก็บจากจุดนี้พบว่ามีอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอก ร่างกายและภายในสูงกว่าจุดอื่นและใกล้บริเวณแหล่งชุมชน ข้อมูลที่ควรตรวจสอบเช่น

1. ปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure rate) ที่ระดับ 1 เมตรเหนือพื้นดิน ปริมาณสารกัมมันตรังสีในดินและในน้ำ บริเวณของชุมชน ปริมาณเรดอนในอากาศ
2. จำนวนผู้ป่วยมะเร็งในพื้นที่ หากไม่พบว่ามีปริมาณผู้ป่วยมะเร็งผิดปกติ ก็สรุปได้ว่าปริมาณรังสีส่วนเกินที่ประชาชนขณะแวกนี้ได้รับนั้นไม่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยมะเร็ง คือปริมาณรังสีส่วนเกินที่ได้รับนั้นยังไม่สูงจนถึงระดับที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพ แต่หากพบว่ามีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งมากผิดปกติ ยังต้องตรวจสอบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เป็นมะเร็งนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องมากน้อยเพียงใด ปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ บุหรี่ เหล้า มลพิษทางเคมีในอากาศและในน้ำ
เป็นต้น หลังจากนั้นจึงจะมาพิจารณาว่าปริมาณรังสีส่วนเกินที่ได้รับซึ่งเป็นปัจจัยเสริมก่อ มะเร็งมีผลมากน้อยเพียงใด
3. แหล่งก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nuclear Society of thailand articles, 2560, “กัมมันตภาพรังสี” [Online], Available: <http://www.nst.or.th/article/article5101/article5101e.htm> [2560 สิงหาคม 6].
- [2] ฝ่ายบริหารงานวิศวกรรมโรงไฟฟ้าและพลังงานนิวเคลียร์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560, “กัมมันตภาพรังสี” [Online], Available: <http://www.ned.egat.co.th/> [2560 สิงหาคม 10].
- [3] วิกิพีเดีย, 2560, “ความหมายและคุณสมบัติกัมมันตภาพรังสี” [Online], Available: <https://th.wikipedia.org/wiki> [2560 สิงหาคม 11].
- [4] บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2560, “หน่วยวัดปริมาณทางรังสี” [Online], Available: <http://www.nst.or.th> [2560 สิงหาคม 11].
- [5] ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (physicsnuclear), 2560, “การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี” [Online], Available: <https://physicsnuclear6.wordpress.com/> [2560 สิงหาคม 14].
- [6] ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (physicsnuclear), 2560, “ค่าคงที่ของการสลายตัว และครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี” [Online], <http://physicsnuclearscience.blogspot.com> [2560 สิงหาคม 15]
- [7] ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (physicsnuclear), 2560, “แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ” [Online], Available: <https://physicsnuclear6.wordpress.com/> [2560 สิงหาคม 15].
- [8] ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (physicsnuclear), 2560, “” [Online], <http://physicsnuclearscience.blogspot.com> [2560 สิงหาคม 15].
- [9] Nuclear Society of thailand articles, 2560, “แหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีในธรรมชาติ” [Online], Available: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2554/mat21054jd_pdf [2560 สิงหาคม 20].
- [10] Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT), 2553, “รังสีที่มีอยู่ในร่างกาย” [Online], Available: <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/content/nstkc53-064.html> [2560 สิงหาคม 23].
- [11] สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2547, “ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต” [Online], Available: <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc5004/nkc5004g.html> [2560 สิงหาคม 26].
- [12] Musammin Sulong, 2558, “การตรวจวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนใต้ของประเทศไทย” Applied Physics Prince of Songkla University. 13-24 [2560 สิงหาคม 28].

- [13] นางสาวมูรณ์ ดาโอะ, 2558, “การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Th-232, Ra-226, K-40 และ Cs-137 ในตัวอย่างทรายชายหาดจาก อำเภอจะนะ และอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี” วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา [2560 สิงหาคม 29].
- [14] ธัชชัย สุมิตร นเรศร์ และคณะ, 2560, “การวัดรังสีแกมมาในภาคสนามโดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง, [2560 กันยายน 2].
- [15] คณะอนุกรรมการความปลอดภัยทางรังสี มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555, “อันตรายจากผลของรังสี”, [Online], Available: <https://www.mahidol.ac.th/sustainable/pdf/Radiation-Safety.pdf> [2560 กันยายน 2].
- [16] Nuclear Society of thailand articles, 2560, “รังสี ปริมาณและหน่วยวัดรังสี” [Online], Available: <http://www.nst.or.th/article/article493/article493020.html> [2560 กันยายน 3].
- [17] Nuclear Society of thailand articles (NST), 2560, “รังสีจากสิ่งแวดล้อม” [Online], Available: <http://www.nst.or.th/article/article54/article54-006.html> [2560 กันยายน 3].
- [18] มหิดล, 2560, “หัววัดรังสี” [Online], Available: http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/instrumentation/NMP_chap2_48/2_mainmac.htm [2560 กันยายน 3].

การประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินเพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาล

ธนวัฒน์ รุ่งสูงเนิน*

โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

email: kruneng.kk@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินเพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินมาประยุกต์เพื่อหาแหล่งน้ำบาดาล และเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาภัยแล้งในท้องถิ่นที่ประสบปัญหาเรื่องน้ำ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและเลือกเทคนิควิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน โดยวิธีการวางหลักขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ และเลือกพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งและห่างไกลแหล่งน้ำเป็นกรณีศึกษา คือ บ้านโสกงานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา โดยได้ทำการสำรวจและมีเป้าหมายเลือกจุดพิกัด โดยอ้างอิงจากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่เคยดำเนินการสำรวจเบื้องต้น ผู้วิจัยได้เลือกจุดในการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจำนวน 7 จุด และมีจุดเปรียบเทียบ จำนวน 1 จุด ผลการวิจัยพบว่า ผลการวิเคราะห์จากการคำนวณสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินและการใช้โปรแกรม IPI2win วิเคราะห์ผล สามารถสรุปได้ว่า บริเวณจุดสำรวจที่ A1 และ A3 มีน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 34.7 และ 39.8 เมตร ตามลำดับ สามารถประเมินศักยภาพได้ว่า ที่ระดับความลึกดังกล่าวมีศักยภาพเพียงพอที่สามารถจะพัฒนาเป็นแหล่งขุดเจาะน้ำบาดาลได้ ส่วนจุดสำรวจ A5 มีน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 62.35 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่มีความลึกมากเกินไป อย่างไรก็ตามน้ำบาดาลที่สามารถขุดเจาะและนำมาใช้งาน ต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานของแหล่งน้ำก่อนเพื่อความปลอดภัยในการอุปโภคและบริโภคของประชาชนในพื้นที่

คำสำคัญ: ชลัมเบอร์เจอร์ น้ำบาดาล ภัยแล้ง

Application of the electrical resistivity determination of ground layer for the groundwater sources prediction

Thanawat RangSungnoen¹

¹Physics and General Science Program, Faculty of Science and Technology,
NakhonRatchasima Rajabhat University, NakhonRatchasima, Thailand
E-mail; kruneng.kk@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to determine the electrical resistivity of the ground layer to search for groundwater sources to find drought solutions. I has studied and selected techniques for determining the electrical resistivity of the soil layer to conduct this research. By the method of placing Schlumberger pole and choose areas that are affected by droughts and remote water sources as a case study at Baan Sok Chan Phatthana Makluea Kao Subdistrict, Sung Noen District, Nakhon Ratchasima Province. By conducting surveys and targets with selecting coordinate points and referring to the data from the Department of groundwater resources, that used to conduct preliminary surveys. I selected 7 points for measuring the electrical resistivity of the soil layer and 1 comparison point. The analysis results from the ground resistivity calculation and using the IPI2win program, it can be concluded that the survey points at A1 and A3 are groundwater at the depths of 34.7 and 39.8 meters, respectively. There is sufficient potential for groundwater drilling. The exploration point A5 has groundwater at a depth of 62.35 meters, which is too deep. However, groundwater that can be drilled and used must pass the quality inspection process in accordance with the standards of water sources for the safety of consumption of people in the area.

Keywords: Schumberberger, Groundwater, drought

บทนำ

น้ำนับว่าเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงชีวิต โลกของเรามีน้ำอยู่ประมาณ 3 ส่วนหรือ 75% ของพื้นผิวโลก (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2562) และน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์บนโลกรวมทั้งมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นอย่างใดก็ตามในด้านอุปโภคและบริโภค ปัจจุบันทรัพยากรน้ำมีปริมาณที่ลดน้อยลง เนื่องจากสภาวะอากาศที่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์โลกร้อน ปรากฏการณ์เอลนีโญ ส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนในแต่ละปีไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคตลอดทั้งปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทยได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้ (ทองเปลว กองจันทร์, 2562) ดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปีมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน หรือเกิดภาวะฝนแล้ง อันเป็นภัยธรรมชาติรูปแบบหนึ่ง ทำให้ความต้องการในการใช้น้ำของประชาชนมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาประการหนึ่งคือการสำรวจหาแหล่งน้ำทดแทนเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำ ซึ่งมีวิธีการโดยทั่วไปสองวิธี คือการสำรวจบนผิวดินและการสำรวจใต้ผิวดิน (การประปาส่วนภูมิภาค, 2554) หมู่บ้านโสภจนาพัฒนามีบ้านหนึ่งซึ่งกำลังเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ เนื่องจากหมู่บ้านมีสภาพทางธรณีวิทยาเป็นป่าไม้โปร่งสลับกับการเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการทำเกษตร ส่วนใหญ่ชาวบ้านในหมู่บ้านโสภจนาพัฒนามีอาชีพเกษตรกร ได้อาศัยแหล่งน้ำที่สำคัญของหมู่บ้านคือ อ่างเก็บน้ำ ในการอุปโภคบริโภค รวมไปถึงใช้ในการทำการเกษตร ในแต่ละปีปริมาณน้ำฝนที่ตกเก็บได้ในอ่างเก็บน้ำจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน บางปีก็มีปริมาณน้ำฝนมากเพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคของคนในหมู่บ้าน แต่บางปีก็มีปริมาณน้ำฝนน้อยจนทำให้ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภค ซึ่งในปัจจุบันน้ำจะมีปริมาณไม่เพียงพอเนื่องจากฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล รวมไปถึงคนในหมู่บ้านก็หันมาทำการเกษตรมากขึ้น จึงทำให้ในแต่ละปีนั้นจึงมีปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของชาวบ้าน

การสำรวจหาน้ำบาดาลเป็นวิธีแก้ปัญหาอย่างหนึ่งเพื่อแก้ไขการขาดแคลนน้ำ โดยการสำรวจแหล่งน้ำบาดาลมีวิธีการตรวจสอบที่หลากหลาย (กิตติชัย วัฒนานิก, 2526) วิธีการหนึ่งคือการสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ซึ่งค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินและหินแต่ละแหล่ง จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของดินและหิน ความหนาแน่น ความพรุน ขนาดและรูปร่างของช่องว่าง การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในดินที่มีลักษณะที่ต่างกัน ทำให้ความสามารถในการพบปริมาณและคุณภาพของน้ำแต่ละที่ย่อมแตกต่างกัน หากบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาก แสดงว่าอัตราการอุ้มน้ำของดินจะมีค่าต่ำ หรือบริเวณใดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าน้อย แสดงว่าดินในบริเวณนั้นมีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีค่ามาก ส่งผลให้บริเวณนั้นจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำหรือน้อย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) อย่างไรก็ตามจากสภาพทางธรณีวิทยาของหมู่บ้านโสภจนาพัฒนา ซึ่งเป็นชั้นหินทราย หินทรายแป้ง สีนํ้าตาลแกมแดง มีหินกรวดมนเนื้อปูนแทรก (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) ในชั้นผิวดินลึกลงไปประมาณไม่เกิน 3 เมตร แสดงว่าในชั้นดินที่ลึกลงไปไม่สามารถคาดการณ์ได้ จึงมีความเหมาะสมกับการเลือกวิธีการสำรวจน้ำบาดาลโดยใช้วิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ในการอุปโภคบริโภค รวมไปถึงใช้ในการเกษตร เพื่อสามารถลดปัญหาการขาดแคลนน้ำของคนในหมู่บ้าน จึงได้มีการทำวิจัยเพื่อที่จะสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลภายในบริเวณหมู่บ้าน เนื่องจากถ้ามีปริมาณน้ำฝนน้อยไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภค อาจทำให้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรของชาวบ้าน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสำรวจและประเมินศักยภาพสภาพพื้นที่เพื่อพัฒนาเป็นแหล่งน้ำบาดาล กรณีศึกษาบริเวณบ้านโสภจนาพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ระเบียบวิธีวิจัย

การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์เป็นงานพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิชาการ น้ำบาดาลด้านต่าง ๆ ได้แก่ การสำรวจเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดเจาะบ่อน้ำบาดาล การสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา และแผนที่น้ำบาดาล เป็นต้น วิธีการสำรวจวัดค่าทางฟิสิกส์ เพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดินและชั้นหิน คุณภาพน้ำ ปริมาณน้ำ ความลึกและความหนาของชั้นน้ำ การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Electrical Resistivity) เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่มีความต้านทานแตกต่างกัน นำมาแปลความหมายโครงสร้างธรณีวิทยา ชนิดของหิน ช่องว่าง ความชื้นและ คุณภาพของน้ำ เป็นต้น (เพียงตา สาตรักษ์, และสาคร แสงชมพู, 2554) การวัดค่าความ

ต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity, ρ) ของวัสดุใด ๆ ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ จะเป็นส่วนกลับกับค่าความนำไฟฟ้า คือ เมื่อวัสดุใด ๆ มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงจะมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำ (เพียงตา สาดราร์กซ์, วินิจ ยังมี และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์, 2549)

ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของวัสดุใด ๆ หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้า (R) ของวัตถุนั้นต่อหน่วยความยาว (L) เมื่อวัตถุนั้นมีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางหน่วย (A) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตามความยาวแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

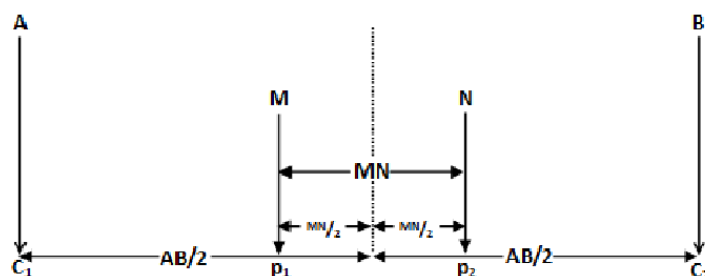
$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นหินจะแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับชนิดของหิน ความหนาแน่น ความพรุน ขนาดและรูปร่างของช่องว่าง ปริมาณและคุณภาพของน้ำ และอุณหภูมิ แต่เนื่องจากหินมีช่องว่างซึ่งมีน้ำและสารละลายกักเก็บอยู่ อาจเป็นในลักษณะเพียงบางส่วนหรืออิมมิตัวทั้งหมด น้ำหรือสารละลายเหล่านี้ จึงเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านไปมาในชั้นดินหรือหินได้ ดังนั้นความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ซึ่งเป็นส่วนกลับกับการนำไฟฟ้าจำเพาะจะขึ้นอยู่กับสาเหตุหรือปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก การนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารละลายที่แทรกอยู่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุที่ละลายอยู่หรือขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำ ส่วนประการที่สอง ปริมาณของสารละลายที่แทรกอยู่ในช่องว่าง จะขึ้นอยู่กับค่าความพรุนตลอดจนสถานะที่หินนั้นอยู่ (เพียงตา สาดราร์กซ์, อภิชาติ บุตรพิเศษ, ประดิษฐ์ นูแล, และถนัด สร้อยชา, 2545)

การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเป็นการใช้เครื่องมือวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการวัดในแนวตั้ง (ศุภกร กดาธิกรกุล, ภรพนา บัวเพชร และฉัตร ผลนาค, 2549) มีหลักขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว โดยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจะทำหน้าที่เป็นขั้วกระแสไฟฟ้า (Current electrodes) และอีก 2 ขั้วจะทำหน้าที่เป็นขั้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential electrodes) ขั้วทั้งสองจะปักลงไปในดินในพื้นที่สำรวจ การวางหลักขั้วสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ในการทดลองคือ วิธีการวางหลักขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger configuration) วิธีการวางหลักขั้วแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการทราบถึงสภาพของชั้นดินในแนวตั้ง โดยกำหนดให้ระยะ L ระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้า มีค่ามาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ b ซึ่งเป็นระยะระหว่างขั้วความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยระยะห่างน้อยที่สุดของ L ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 5 เท่าของระยะ b ($L \geq 5b$) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ (ρ_a) แสดงได้ดังสมการที่ 2 และภาพที่ 1

$$\rho_a = \frac{\pi(L/2)^2 - (b/2)^2}{b} \frac{V}{I} \quad (2)$$

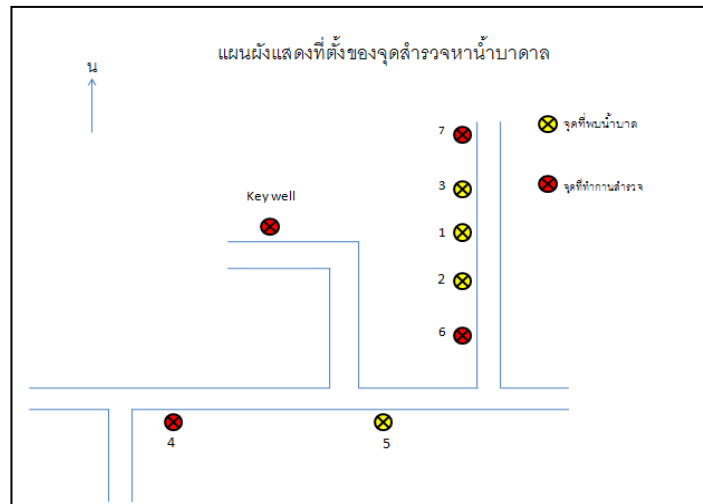
- เมื่อ
- ρ_a = ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ
 - b = ระยะห่างของขั้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า
 - L = ระยะห่างขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้า
 - V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า
 - I = กระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไป



ภาพที่ 1 วิธีการวางหลักขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์

ที่มา : Chukwudi C. Ezeh, 2014.

การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ โดยการวัดค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่เกิดจากการปล่อยกระแสลงไปในดินด้วยเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าอย่างช้า ๆ (เพียตาสา สาทริกซ์, วินิจ ยังมี, และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์, 2548) และทำการการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งจากค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ เนื่องจากพื้นที่ที่เลือกจุดสำรวจอยู่ภายในชุมชนหมู่บ้าน พื้นที่ไม่กว้างขวางเพียงพอที่จะเลือกวิธีการวางหลักขั้วแบบอื่น ดังนั้นพื้นที่จึงมีความเหมาะสมในการวางหลักขั้วแบบแบบขลัมเบอเจอร์ และการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่มีความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินที่มีความแตกต่างกันแล้วนำมาแปลความหมายโครงสร้างทางธรณีวิทยา สำหรับบริเวณที่เลือกสำรวจใช้จำนวน 8 จุด บริเวณบ้านโสกงานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ในระหว่างเดือนมีนาคม – เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2561 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงจุดสำรวจเพื่อหาตำแหน่งน้ำบาดาลบริเวณบ้านโสกงานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

- จุดที่ 1 กำหนดให้เป็นจุด A1 ที่พิกัด XUTMMAX 0800234,YUTMMAX 1634150
- จุดที่ 2 กำหนดให้เป็นจุด A2 ที่พิกัด XUTMMAX 0800215,YUTMMAX 1034146
- จุดที่ 3 กำหนดให้เป็นจุด A3 ที่พิกัด XUTMMAX 0800195,YUTMMAX 1634144
- จุดที่ 4 กำหนดให้เป็นจุด A4 ที่พิกัด XUTMMAX 0800558,YUTMMAX 1634075
- จุดที่ 5 กำหนดให้เป็นจุด A5 ที่พิกัด XUTMMAX 0800500,YUTMMAX 1634081
- จุดที่ 6 กำหนดให้เป็นจุด A6 ที่พิกัด XUTMMAX 0800437,YUTMMAX 1634097
- จุดที่ 7 กำหนดให้เป็นจุด A7 ที่พิกัด XUTMMAX 0800042,YUTMMAX 1634159

จุดที่ 8 กำหนดให้เป็นจุดวัดเปรียบเทียบ โดยจะเป็นการวัดบ่อน้ำใต้ดินที่ชาวบ้านขุดเจาะใช้เองในปัจจุบัน มีพิกัด XUTMMAX 0800424 , YUTMMAX 1633752 ซึ่งจะใช้เป็นจุดเพื่อนำค่าความต้านทานไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับบริเวณที่จะทำการสำรวจใหม่ ทั้ง 7 จุดที่กล่าวมาข้างต้น มีขั้นตอนในการทำวิจัยดังนี้

1. วิธีการสำรวจผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก โดยเป็นผลิตภัณฑ์ของ OYO ผลิตในประเทศญี่ปุ่น มีความทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ดี โดยทำการสำรวจเก็บข้อมูลในแนวตั้ง จากการวางจุดรวมทั้งสิ้น 7 จุดแต่ละจุดสำรวจถึง AB/2 หรือ เป็นระยะที่ 200 เมตร การสำรวจจะเริ่มที่การกำหนดจุด ตั้งเครื่องให้อยู่กึ่งกลางของแนวการวัด จากนั้นวางหลักขั้วเพื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้า โดยหลักนอกจะกำหนดให้เป็น A,B ที่ระยะ AB/2 และหลักในจะกำหนดให้เป็นขั้ววัดศักย์ไฟฟ้า M,N ที่ระยะ MN/2 ตามลำดับ เพื่อวัดความต้านทานไฟฟ้าของจุดแรก และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต่อเนื่องในระดับลึกจึงกำหนดระยะห่างของขั้วไฟฟ้า AB/2 ไว้ในระยะต่าง ๆ คือ 1, 1.5, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 , 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 135, 150,160, 175,185 และ 200 เมตร โดยจะทำการวัดเหมือนกันทุก ๆ จุด

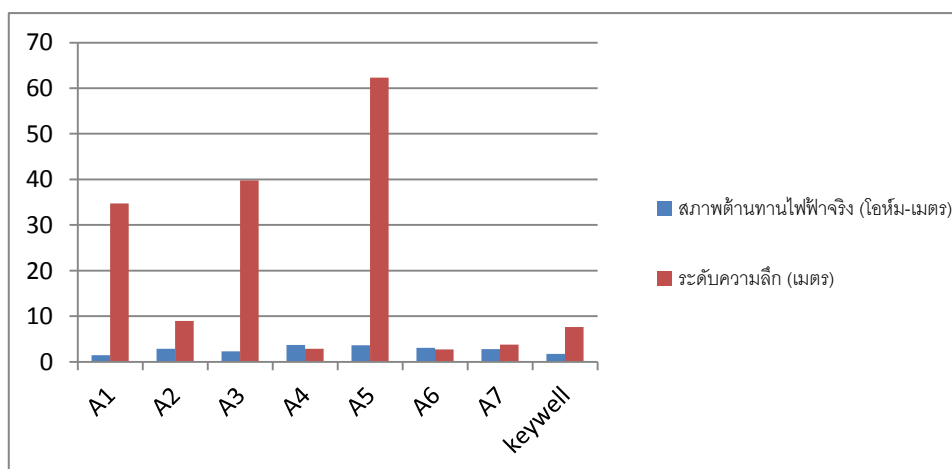
2. การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่จะนำมาเขียนลงในกระดาษกราฟ (Log-Log scale) และแปลงข้อมูลโดยคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการคำนวณข้อมูลจะเป็นผลของความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็น โอห์ม - เมตร การสำรวจตำแหน่งเดียวกัน เมื่อขยายระยะขั้วแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าทั้งสองข้างกว้างออกไปเรื่อย ๆ ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏจะแตกต่างกัน แต่ละค่าจะนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ในการแปลความหมายจะนำมาเปรียบเทียบเส้นกราฟจากทฤษฎี และจำลองค่าความลึกของชั้นน้ำบาดาลด้วยโปรแกรม IPI2WIN (อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล, 2555) ซึ่งจะแปลได้ค่าความลึก ความหนาในระดับต่าง ๆ ที่ทำการสำรวจ และนำกราฟในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสำรวจ ณ จุดเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ถึงระดับความลึกที่ได้จากการคำนวณว่า ที่ความลึกระดับใดมีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาล จากนั้นดำเนินการสรุปข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพของจุดที่ทำการสำรวจว่า จุดสำรวจใดมีศักยภาพเพียงพอสำหรับพัฒนาเป็นแหล่งน้ำบาดาล

ผลการวิจัย

การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลบริเวณบ้านโสกจานพัฒนา หมู่ที่ 17 ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจะใช้หลักการวัดแบบซลัมเบอร์เจอร์ หลักการวัดนี้อาศัยการเปลี่ยนแปลงสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหิน โดยกำหนดจุดวัดทั้งหมด 7 จุด และจุดเปรียบเทียบ 1 จุด ผลการสำรวจในแต่ละจุดพบว่า สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหิน มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึก โดย ณ ระดับความลึกที่ปรากฏค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าระดับต่ำ ประมาณ 0 - 10 โอห์มต่อเมตร แสดงว่าในระดับความลึกนั้นมีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาล แสดงผลดังตารางที่ 1 และกราฟในภาพที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินและชั้นหินต่ำที่สุดในแต่ละจุด

จุดสำรวจที่	สภาพต้านทานไฟฟ้าจริง (ρ)	ระดับความลึก d (เมตร)
A1	1.43	34.7
A2	2.83	9.0
A3	2.28	39.8
A4	3.72	2.88
A5	3.62	62.35
A6	3.05	2.73
A7	2.81	3.8
keywell	1.74	7.6

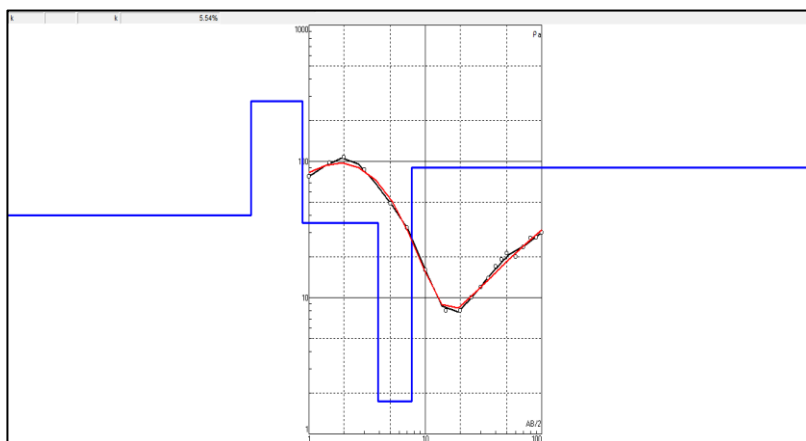


ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงกับระดับความลึกของแหล่งน้ำบาดาล

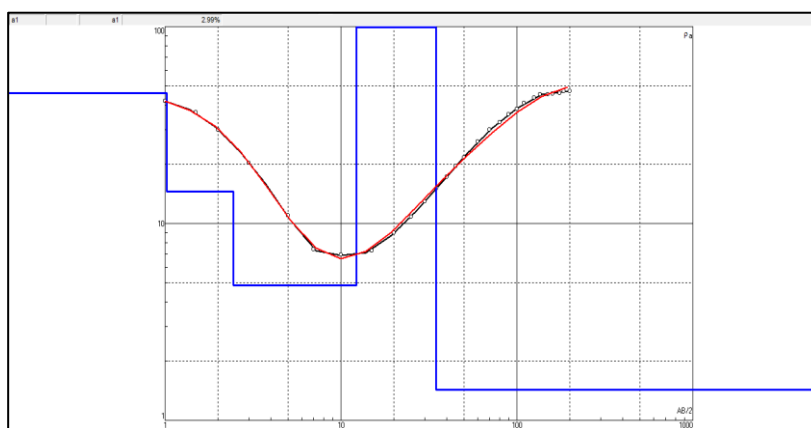
จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IPI2win ของจุดสำรวจพบว่าใน

- จุดที่ A1 ณ ระดับความลึก 34.7 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 1.43 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A2 ณ ระดับความลึก 9.0 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 2.83 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A3 ณ ระดับความลึก 39.8 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 2.28 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A4 ณ ระดับความลึก 2.88 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 3.72 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A5 ณ ระดับความลึก 62.35 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 3.62 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A6 ณ ระดับความลึก 2.73 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 3.05 โอห์มต่อเมตร
- จุดที่ A7 ณ ระดับความลึก 3.8 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด 2.81 โอห์มต่อเมตร

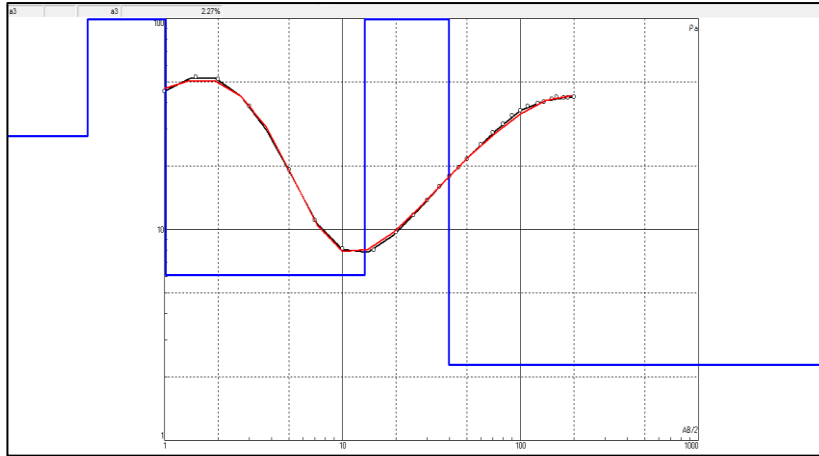
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในพื้นที่มาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IPI2win ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบกราฟสองเส้น คือ เส้นประกบกับเส้นทึบ โดยกราฟสองเส้นที่ปรากฏเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าจากหลักขั้ว AB/2 และกราฟเส้นทึบเป็นการแสดงข้อมูลความแปรผันของค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ผลปรากฏว่า กราฟทั้งสองเส้นมีความสอดคล้องกัน หมายถึงที่ระดับความลึกในการแปรผลข้อมูลจากกราฟมีความสอดคล้องกันกับข้อมูลดิบจากการสำรวจ โดยกราฟที่แสดงถึงการมีแหล่งน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลเมื่อเปรียบเทียบกับจุดเปรียบเทียบ ดังแสดงในภาพที่ 4, 5 และ 6



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการวิเคราะห์สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในจุดเปรียบเทียบ (Key well)



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการวิเคราะห์สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในจุด A1



ภาพที่ 6 กราฟแสดงการวิเคราะห์สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในจุด A3

สรุปและอภิปรายผล

จากการสำรวจสภาพทางธรณีวิทยาพื้นที่บริเวณบ้านโสกจานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา พบว่าเป็นดินร่วนปนทราย ห่างไกลจากแหล่งน้ำธรรมชาติ การทำการเกษตรต้องพึ่งพาน้ำฝนตามฤดูกาล หากปีใดมีปริมาณฝนตกน้อย จะได้รับผลกระทบมาก ผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่สำหรับการวางหลักขั้วไฟฟ้าตามแบบชลัมเบอร์เจอร์ พบว่าพื้นที่หรือบริเวณที่สามารถดำเนินการได้อยู่บริเวณทิศตะวันตกของหมู่บ้าน โดยมีจุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบระดับน้ำใต้ดิน คือบริเวณที่ชาวบ้านขุดบ่อเอง ห่างจากบริเวณสำรวจประมาณ 1 กิโลเมตร

ผลการวิเคราะห์จากการคำนวณสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินและการใช้โปรแกรม IPI2win วิเคราะห์ผล สามารถสรุปได้ว่า บริเวณจุดสำรวจที่ A1 และ A3 มีน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 34.7 และ 39.8 เมตร ตามลำดับ สามารถประเมินศักยภาพได้ว่า ที่ระดับความลึกดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการขุดเจาะเป็นบ่อน้ำบาดาล ส่วนจุดสำรวจ A5 มีน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 62.35 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่มีความลึกมากเกินไป

ข้อเสนอแนะ

การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการใช้วิธีการวัดแบบชลัมเบอร์เจอร์ ซึ่งจะได้ข้อมูลเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น หากต้องการที่จะได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากกว่านี้ควรใช้วิธีอื่นร่วมด้วยเช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Electrical resistivity) ความยืดหยุ่นและความหนาแน่นของหิน (Electricity and density of rocks) คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ประกอบหิน (Magnetic properties) การวางหลักขั้วไฟฟ้าในรูปแบบผสมระหว่างแบบเวนเนอร์และชลัมเบอร์เจอร์ เพื่อให้ทราบขอบเขตทั้งทางลึกและทางกว้างในแนวราบของแหล่งน้ำบาดาล (Baride Mukund Vasantryao, Patil Jitendra Bhaskarrao, Baride Aarti Mukund, Golekar Rushikesh Baburao, & Patil Sanjaykumar Narayan, 2017) รวมทั้งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อพิจารณาถึงความกว้าง ความยาว ความลึกของแหล่งน้ำ หากต้องการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลนี้ให้เป็นแหล่งน้ำบริโภคควรนำน้ำที่ได้ไปดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบค่าและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเช่นเดียวกับงานวิจัยของคณะวิจัยท่านอื่น ๆ (ชัยศรี ธารสวัสดิ์พิพัฒน์, ศิวพันธ์ ชูอินทร์, ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์, ทัศนาวลัย อุฑารสกุลและสถาพร มนต์ประภัสสร, 2555) ประการสุดท้ายแหล่งน้ำบาดาลที่พบดังกล่าวหน่วยงานภาครัฐควรเพิ่มในฐานข้อมูลสำหรับการขุดเจาะน้ำบาดาลเพื่อแก้ปัญหาภัยแล้งให้กับชุมชน

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา กรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือสำหรับการวัดและสำรวจ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิเมเนศ ทรงธรรม สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ.

เอกสารอ้างอิง

- การประปาส่วนภูมิภาค. (2554). **การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : การประปาส่วนภูมิภาค.
- กิตติชัย วัฒนานิก. (2526). **การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับนักธรณีวิทยาและวิศวกร**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่ : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). **โครงการสำรวจธรณีฟิสิกส์หมู่บ้านภัยแล้งทั่วประเทศ**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : บริษัทเอทอป เทคโนโลยี จำกัด.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2553). **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครราชสีมา**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : จันวณิชยซีเคียวริตีพรีนติ้ง.
- ชัยศรี ธารสวัสดิ์พัฒน์, ศิวพันธ์ ชูอินทร์, ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์, ทศนาวลัย อุซารสกุล, และสถาพร มนต์ประภัสสร. (2555). **แนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคอย่างยั่งยืน จังหวัดสมุทรสงคราม (รายงานผลการวิจัย)**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ทองเปลว กองจันทร์. (2562). **ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีนาในประเทศไทย**. สืบค้น 21 ตุลาคม 2562, จาก kmcenter.rid.go.th/Kchydhome/document/article.
- เพียงตา สาตรักษ์, อภิชาติ บุตรพิเศษ, ประดิษฐ์ นูแล, และถนัด สร้อยชา. (2545). **การตรวจหาโพรงและชั้นเกลือหินใต้ผิวดินด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ**. วารสารวิจัย มข., 7(2), 22-32.
- เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยงมี, และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์. (2548). **การศึกษาขอบเขตรอยต่อชั้นน้ำบาดาลจืด – ชั้นน้ำบาดาลเค็ม และโพรงใต้ผิวดิน โดยวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยไฟฟ้า (รายงานผลการวิจัย)**. ขอนแก่น : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยงมี และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์. (2549). **ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นน้ำบาดาลเค็มและโพรงใต้ผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. วารสารวิจัย มข., 11(1), 4-16.
- เพียงตา สาตรักษ์และ สาคร แสงขมภู. (2554) . **การประยุกต์สำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ เพื่อตรวจลักษณะภายในทำนบดินของอ่างเก็บน้ำเพื่อชลประทาน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย**. ขอนแก่น : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2562). **ทรัพยากรน้ำ**. สืบค้น 21 ตุลาคม 2562, จาก <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/subwater/subwater.htm>
- ศุภกร กตาทิการกุล, ภรพนา บัวเพชร และฉัตร ผลนาค. (2549). **การศึกษาขอบเขตน้ำพุร้อน อ.นบพิตำ จ.นครศรีธรรมราช โดยระเบียบวิธีการตรวจสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าทางแนวตั้ง**. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ, 3(2), 54–66.
- อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล. (2555). **การทำแผนที่น้ำบาดาลด้วยวิธีการสำรวจทางไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (รายงานผลการวิจัย)**. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Baride Mukund Vasantrao, Patil Jitendra Bhaskarrao, Baride Aarti Mukund, Golekar Rushikesh Baburao, & Patil Sanjaykumar Narayan. (2017). **Comparative study of Wenner and Schlumberger electrical Resistivity method for groundwater investigation: a case study from Dhule district (M.S.), India**. Appl Water Sci, 7: 4321-4340.
- Chukwudi C. Ezeh. (2014). **Groundwater exploration of Lokpaukwu, Abia state Southeastern Nigiria, using electrical resistivity method**. International Research Journal of Geology and Mining, 4(3), 76–83.

การพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมโดยการสอนแบบบูรณาการด้วยผลกระทบของ การกระเจิงแบบปกติของสปินต่อการขนส่งอนุภาคในรอยต่อของโลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง

ภาณุพัฒน์ ชัยวร* และ เบญญาทิพย์ ม่วงเขียว

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

*E-mail : panupat_cha@g.cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการขนส่งของอนุภาคผ่านกำแพงศักย์ที่มีรอยต่อแบบ โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง โดยใช้ทฤษฎีการกระเจิงและจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบอิสระในระบบหนึ่งมิติ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลการขนส่งของอนุภาคผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง แบบ s-wave และเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการด้วยผลกระทบของการกระเจิงแบบปกติของอนุภาค ต่อพฤติกรรมของอนุภาค ผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่งแบบ s-wave พบว่า ผลกระทบของกำแพงศักย์มีผลต่อโอกาสของการทะลุผ่านและโอกาสของการสะท้อนกลับของอนุภาค สภาพนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการลดและการเพิ่มค่า z นำไปพัฒนาการจัดการเรียนสอนโดยเก็บข้อมูลจากนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน โดยวิธีเปรียบเทียบผลการประเมินตนเองและผลจากการทำข้อสอบตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตรทั้ง 3 ด้าน ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5) พบว่า นักศึกษาที่ผ่านการเรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการ ส่วนมากมีผลคะแนนที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มการพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมที่สูงขึ้น ค่าร้อยละของคะแนนประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลจากการทำข้อสอบทั้ง 3 ด้าน คือ (TQF2) ร้อยละ 40.74 (TQF3) ร้อยละ 75.93 และ (TQF5) ร้อยละ 77.78

คำสำคัญ: กลศาสตร์ควอนตัม โอกาสการทะลุผ่าน โอกาสการสะท้อนกลับ การพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์

Development of quantum mechanics learning by integrated teaching using normal scattering effects on charge transport in a metal/superconductor junction

Panupat Chaiworn* and Benyatip Mounkew

Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University
*E-mail : panupat_cha@g.cmru.ac.th

Abstract

This research studied the transport of particles through a potential boundary well of metal/superconducting using scattering theory and simulating the movement of free particles in one-dimensional systems. Which aims to find the results of the transport of particles through a mixed structure of metal/superconductors for s-wave by emphasizing the effect of potential well with normal scattering and to improve the learning of quantum mechanics integrated. The effects of normal scattering used particles on particle behavior through mixed structures of metal /superconductors for s-wave. Found that, the effect of the potential well was an effect on the chance of penetration and the likelihood of particle reflection. So, the conductivity was depending on the reduction and increase of z . When applying to develop learning in the integrated quantum mechanics course by collecting data from students the sample consisted of 50 people. Comparing the self-assessment results and teaching results according to the standard criteria of all 3 courses (TQF2), intellectual skills (TQF3) and numerical analysis, communication and information technology (TQF5), found that students were studied integrated in quantum mechanics increase points and trends to higher learn quantum mechanics. The percentage of the self-evaluation score is higher than the level of the test results in all 3 areas, namely (TQF2) 40.74 percent, (TQF3) 75.93 percent and (TQF5) 77.78 percent.

Keywords: Quantum mechanics, Tunneling probability, Reflection probability, Development of learning

บทนำ

เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมการขนส่งประจุและสปินผ่านรอยต่อของโครงสร้างผสมของสสารต่าง ๆ เช่น โลหะเฟอร์โรแมกเนติก สารกึ่งตัวนำ และ สารตัวนำยิ่งยวด (Zutic, Fabian, & Sarma, 2004) เป็นความรู้พื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาในการผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์สปินทรอนิกส์ (Oestreich, 1999) โดยเฉพาะการพัฒนาหัวอ่านฮาร์ดดิส เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจำเป็นต้องเข้าใจความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ของสสารเหล่านี้เป็นอย่างดี (Wolf et al, 2001) ระบบโครงสร้างผสมที่ประกอบด้วยสสารต่าง ๆ นั้นหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง (Zuti, Fabian, & Sarma, 2004) ดังนั้นการที่จะออกแบบหรือพิจารณาศักย์ไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในทางทฤษฎี เพื่อจะได้อธิบายกลไกหรือพาหะทางไฟฟ้าที่ผ่านโครงสร้างผสมได้อย่างถูกต้อง ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโครงสร้างผสมมีอยู่สองแบบด้วยกันที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยทางทฤษฎีคือ ศักย์แบบดิแรกเดลต้า (Blonder, Tinkham, & Klapwijk, 1982) เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วยซึ่งอธิบายถึงความแรงของศักย์ที่ผิวรอยต่อ และศักย์แบบกัมแพงจัมกัท (Griffin, & Demers, 1971) โดยใช้ขนาดบางกั้นบริเวณรอยต่อซึ่งดูเสมือนจริงมากกว่าแบบแรก ทั้งนี้การศึกษามูลของศักย์ที่รอยต่อมีผลกระทบต่อพาหะไฟฟ้าอย่างมาก เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของสภานำไฟฟ้าและสปินโพลารไรซ์จากการพิจารณาผลของการกระเจิงของสปินที่รอยต่อแบบปกติ (non-spin-flip scattering) และแบบที่สามารถกลับทิศของสปินได้ (spin-flip scattering) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพของการกระเจิงสองแบบดังกล่าวแล้วยังมีผลของความแรงของการควบคู่สปินกับวงโคจรแบบรีซาอีกภาพแบบหนึ่งซึ่งมีผลทำให้จุดสูงสุดของสภานำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบผลวิจัยดังกล่าวในระบบโครงสร้างผสมของโลหะ/สารตัวนำยิ่งยวด (B. Lv, Eur., 2011)

นอกจากนี้การทวนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา เป็นการตามตัวบ่งชี้ของสำนักงานการอุดมศึกษา ตามประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่องกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552 ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการจัดการเรียนการสอนของหลักสูตรระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย ว่าการดำเนินการของหลักสูตรเป็นไปตามข้อกำหนดของหลักสูตรหรือไม่ (วิมานพร, 2555) มีภาระระบุไว้ในประกาศกระทรวงว่า (หน้า 23) “การทวนสอบหมายถึง การดำเนินการหาหลักฐานด้วยวิธีการใด ๆ เช่น การสังเกต การตรวจสอบ การประเมิน การสัมภาษณ์ ฯลฯ เพื่อยืนยันพิสูจน์ว่า สิ่งที่กำหนดขึ้นนั้นได้มีการดำเนินการและบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์” การทวนสอบมาตรฐานผลการเรียนรู้ของนักศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของความรับผิดชอบในระบบการประกันคุณภาพภายในของสถาบันอุดมศึกษาทุกแห่งที่ต้องดำเนินการ เพื่อพิสูจน์ว่าหลักสูตรได้จัดการเรียนการสอนแล้วนักศึกษาได้รับผลการเรียนรู้ตามมาตรฐานผลการเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตรที่มีองค์ประกอบหลัก 5 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณธรรมจริยธรรม (TQF1) ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ (TQF4) และด้านการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5) (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2552 : 6)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้อธิบายผลกระทบของผิวรอยต่อผ่านการนิยามศักย์แบบดิแรกเดลต้าฟังก์ชันผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำยิ่งยวด แบบ s-wave โดยเน้นถึงผลกระทบของกัมแพงจัมกัทที่มีการกระเจิงแบบปกติ เพื่อจะได้ทราบถึงพาหะไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างผสมในการทดลองมากยิ่งขึ้น และได้นำเอาองค์ความรู้เบื้องต้น ไปพัฒนาการจัดการเรียนการสอนวิชาทฤษฎีควอนตัม เรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮลฟังก์ชันของกัมแพงจัมกัท โดยจะเป็นการสอนแบบบูรณาการ โดยใช้สื่อจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการจัดการเรียนการสอนแบบมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดทักษะด้านการค้นหาความรู้ ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และเมื่อจบเนื้อหาผู้วิจัยได้ทำการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยข้อสอบและการวัดผลตามมาตรฐาน TQF 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) และด้านการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

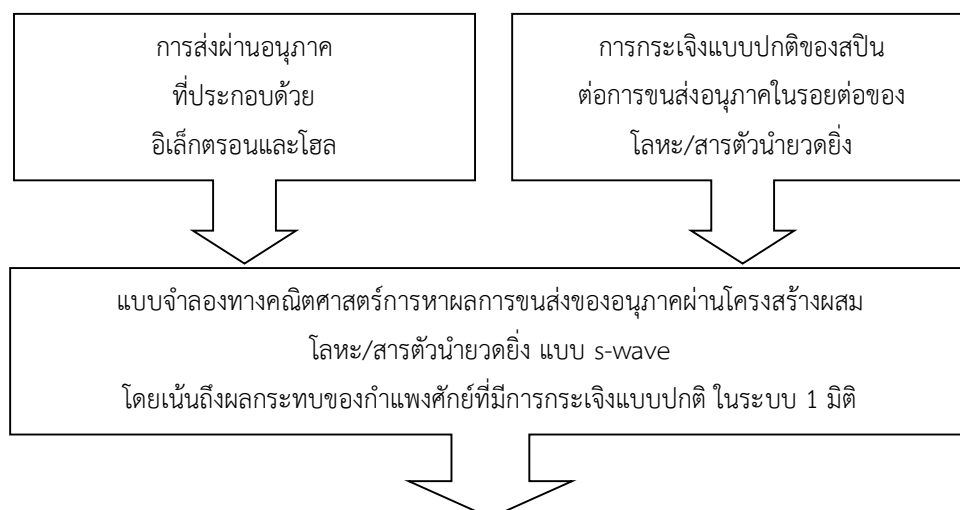
1. เพื่อหาผลการขนส่งของอนุภาคผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำวยวดยิ่ง แบบ s-wave โดยเน้นถึงผลกระทบของกำแพงศักย์ที่มีการกระเจิงแบบปกติ
2. เพื่อพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการ ด้วยผลกระทบของการกระเจิงแบบปกติของอนุภาค ต่อพฤติกรรมของอนุภาค ผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำวยวดยิ่ง แบบ s-wave

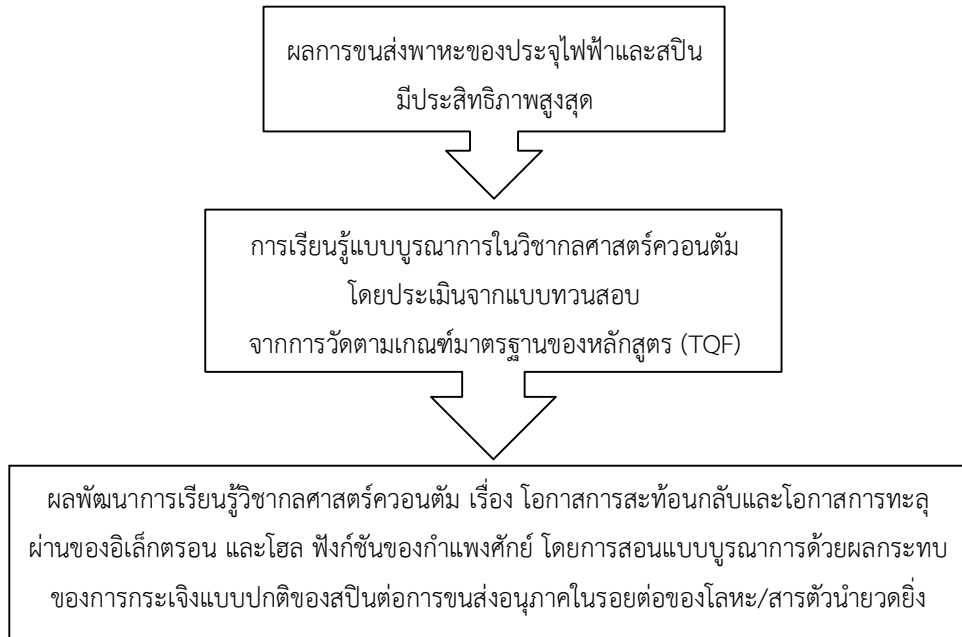
ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาการขนส่งของอนุภาคผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำวยวดยิ่ง แบบ s-wave โดยเน้นถึงผลกระทบของกำแพงศักย์ที่มีการกระเจิงแบบปกติ จะจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นแบบต่อเนื่องและพิจารณาในระบบ 1 มิติ ที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน การวิจัยได้กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ อนุภาค ซึ่งประกอบด้วยอิเล็กตรอนและโฮล เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เป็นข้อมูลประเภทหัตถ์ปฏิบัติ ได้แก่ เอกสารต่างๆ และงานวิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Mathematica และแสดงผลลัพธ์ออกมาในภาพแบบของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและความสูงของกำแพงศักย์ เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ควอนตัมเรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮล ฟังก์ชันของกำแพงศักย์

การพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัม โดยการนำองค์ความรู้เบื้องต้นมาประยุกต์ใช้ประกอบการสอนในชั้นเรียน ในการเรียนการสอนแบบบูรณาการในวิชาฟิสิกส์ควอนตัม เรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮล ฟังก์ชันของกำแพงศักย์ การวิจัยได้กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เป็นจำนวน 50 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ นักศึกษาปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 10 คน และคณะครุศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 40 คน ซึ่งทำการจัดเก็บข้อมูลการวัดผลจากนักศึกษาโดยวิธีการเปรียบเทียบผลการประเมินตนเองและผลจากการทำข้อสอบ จากการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF) ทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5) วิเคราะห์ผลของการพัฒนาการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการจากแบบประเมินตนเองและผลจากการทำข้อสอบ จากการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF)

กรอบแนวความคิดของการวิจัย



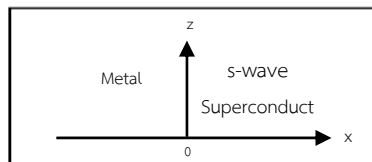


วิธีดำเนินงาน

ตอนที่ 1 ศึกษาการขนส่งของอนุภาคผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง แบบ s-wave

1. จำลองการเคลื่อนที่ของ electron แบบอิสระและสมมติให้พลังงานศักย์ที่รอยต่อเป็นแบบ Dirac delta functions

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการขนส่งของอิเล็กตรอนผ่านกำแพงศักย์ที่มีรอยต่อแบบ โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองรอยต่อระหว่าง โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง

2. ศึกษาแฮมิลโตเนียนรวม (Total Hamiltonian)

แฮมิลโตเนียนของระบบสามารถเขียนได้เป็น $H = \frac{\hat{p}^2}{2m(x)} + V(x)$ และแฮมิลโตเนียนของโลหะและสารตัวนำยวดยิ่ง

คือ

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\hat{p}^2}{2m} - E_F & \Delta(x) \\ \Delta(x) & E_F - \frac{\hat{p}^2}{2m} \end{pmatrix}$$

ซึ่งสามารถคำนวณพลังงานของสสารจากสมการ Schrodinger ในแต่ละบริเวณได้ดังนี้ บริเวณโลหะที่เป็นของอิเล็กตรอนและโฮล คือ

$$E = \frac{\hbar^2 q^2}{2m} - E_F \quad \text{และ} \quad E = E_F - \frac{\hbar^2 q^2}{2m}$$

เมื่อ E_F คือ พลังงานเฟอร์มิ และพลังงานของสารตัวนำยวดยิ่ง คือ $E^2 = E_k^2 + \Delta^2$
และ E_k คือ พลังงานจลน์ ซึ่ง

$$E_k^2 = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

3. ฟังก์ชันคลื่น (Wave functions)

จากนั้นเราสามารถเขียน Wave function ของโลหะและสารตัวนำยวดยิ่งได้ดังนี้ ฟังก์ชันคลื่นของโลหะ ($x < 0$) คือ

$$\psi_m^\uparrow = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} e^{iq^+x} + a \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e^{iq^-x} + b \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} e^{-iq^+x}$$

เมื่อ a คือ Andreev Reflection หรือสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของโฮล (hole) b คือ Normal Reflection หรือสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของอิเล็กตรอน (electron) ฟังก์ชันคลื่นของสารตัวนำยวดยิ่ง ($x > 0$) คือ

$$\psi_s = c \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} e^{ik^+x} + d \begin{bmatrix} v \\ u \end{bmatrix} e^{-ik^-x}$$

เมื่อ c และ d คือ สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของอิเล็กตรอน (electron) และโฮล (hole) ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ a, b, c และ d เราจะคำนวณหาโดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) บริเวณรอยต่อที่ $x = 0$ ดังต่อไปนี้

$$\psi_m(x=0) = \psi_s(x=0)$$

$$\frac{d\psi_s(x)}{dx} - \frac{d\psi_m(x)}{dx} = 2k_F Z \psi(0) \quad \text{โดยที่} \quad Z = \frac{m \cdot H}{\hbar^2 k_F}$$

4. การหาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านและการสะท้อนกลับ

เมื่อเราคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านและการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนและโฮลได้แล้ว เราจะนำมาหาค่าโอกาสของการทะลุผ่านและการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนและโฮล คือ

$$A = |a|^2 \times \frac{v_q^-}{v_q^+} \quad \text{และ} \quad B = |b|^2 \times \frac{v_q^+}{v_q^-}$$

$$C = |c|^2 \times \frac{v_k^+}{v_q^+} \quad \text{และ} \quad D = |d|^2 \times \frac{v_k^-}{v_q^-}$$

เมื่อ v_q^+ , v_q^- คือ ความเร็วกลุ่มของอิเล็กตรอนและโฮลฝั่งโลหะตามลำดับ

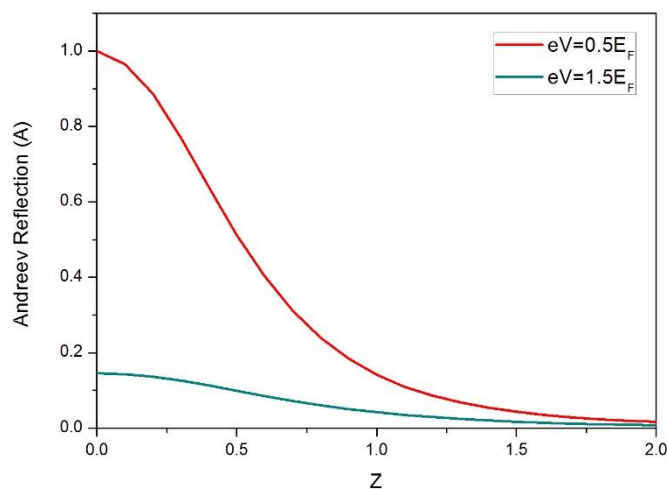
v_k^+ , v_k^- คือ ความเร็วกลุ่มของอิเล็กตรอนและโฮลฝั่งสารตัวนำยวดยิ่ง

ตอนที่ 2 การพัฒนาการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการ

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล คือ ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เป็นข้อมูลประเภททุติยภูมิ ได้แก่ แบบสอบถาม เอกสารต่าง ๆ และงานวิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Mathematica
2. เตรียมเครื่องมือ ได้แก่ ผลของการศึกษาการสอนของอนุภาคผ่านโครงสร้างผสม โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการ ในเรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮล ฟังก์ชันของกัมแพงค์กีย์
3. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 10 คน และคณะครุศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 40 คน
4. ทำการจัดเก็บข้อมูลการวัดผลจากนักศึกษาโดยวิธีการเปรียบเทียบผลการประเมินตนเองและผลจากการทำข้อสอบ จากการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF) ทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5)
5. วิเคราะห์ผลของการพัฒนาการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ควอนตัมแบบบูรณาการจากแบบประเมินตนเองและผลจากการทำข้อสอบ จากการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF)

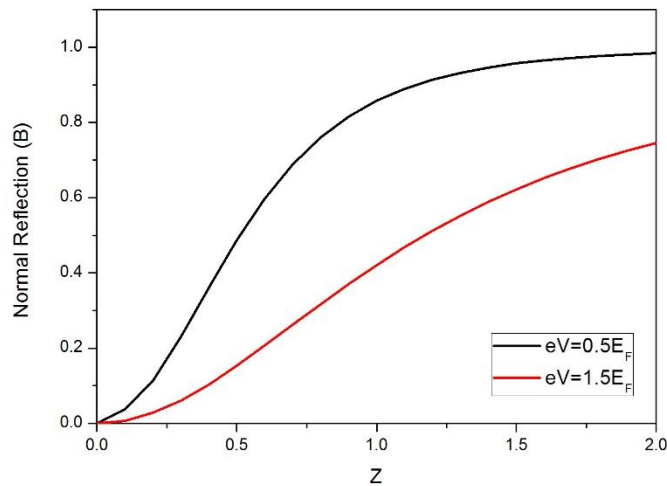
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เราจะแสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขของโอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเป็นฟังก์ชันของกัมแพงค์กีย์ คำนวณโดยใช้ โปรแกรม Mathematica

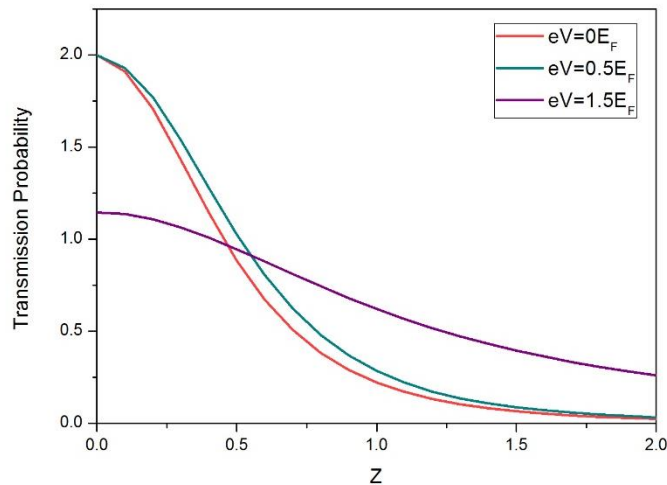


ภาพที่ 2 โอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลที่เป็นฟังก์ชันของกัมแพงค์กีย์ระหว่าง $eV=0.5E_F$ และ $eV=1.5E_F$

เพื่อให้เห็นถึงผลของกำแพงศักย์ต่อโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลอย่างชัดเจน เราได้แสดงค่าโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลที่เป็นฟังก์ชันของกำแพงศักย์ที่ $E < \Delta$ คือ $E = 0.5E_F$ และ $E > \Delta$ คือ $E = 1.5E_F$ ดังภาพที่ 2 จะเห็นว่าบริเวณที่ $Z = 0$ ค่าของโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลจะมีค่าสูงสุด และเมื่อเพิ่ม Z ค่าของโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลจะลดลงจนเกือบหายไป ทั้งนี้ที่ $E < \Delta$ ค่าโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลจะมากกว่าที่ $E > \Delta$ เสมอ



ภาพที่ 3 โอกาสของการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนที่เป็นฟังก์ชันของกำแพงศักย์ระหว่าง $eV=0.5E_F$ และ $eV=1.5E_F$



ภาพที่ 4 โอกาสของการทะลุผ่านของอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของกำแพงศักย์ที่พลังงาน $eV=0E_F$, $eV=0.5E_F$ และ $eV=1.5E_F$

ค่าโอกาสของการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนที่เป็นฟังก์ชันของกำแพงศักย์ โดยเราพิจารณาในขอบเขตที่ $E < \Delta$ และในขอบเขตที่ $E > \Delta$ พบว่าที่ Z เป็นศูนย์ หรือไม่มีกำแพงศักย์กั้นระหว่างรอยต่อ อิเล็กตรอนสามารถทะลุผ่านไปได้ทั้งหมด แต่เมื่อกำแพงศักย์สูงขึ้นจะส่งผลให้อิเล็กตรอนบางส่วนสะท้อนกลับออกมาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ที่ $E < \Delta$ อิเล็กตรอนจะสะท้อนกลับออกมามากกว่าที่ $E > \Delta$ จะสังเกตได้ว่าที่ $E < \Delta$ และที่ $E > \Delta$ ผลของกำแพงศักย์ทำให้โอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลและโอกาสของการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอน มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน นั่นคือ การเพิ่มกำแพงศักย์ที่รอยต่อของโครงสร้างผลึกที่พลังงาน $E < \Delta$ จะทำให้โอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลเพิ่มขึ้น แต่โอกาสของการ

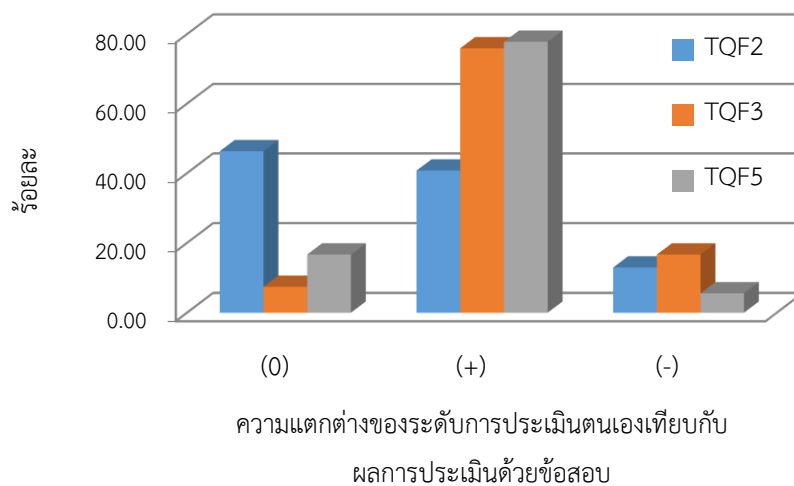
สะท้อนกลับของอิเล็กตรอนลดลง ส่วนที่ $E > \Delta$ จะทำให้โอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลลดลง แต่โอกาสของการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 การแสดงค่า transmission probability ที่เป็นฟังก์ชันของกัมพางค์ โดยเราพิจารณาที่พลังงานน้อยกว่าและมากกว่า energy gap รวมถึงบริเวณที่พลังงานเป็นศูนย์ (zero bias conductance) จะเห็นว่าบริเวณที่ $Z = 0$ ค่า transmission probability จะมีค่าสูงสุด และเมื่อเพิ่ม Z ค่าของ transmission probability จะลดลงจนเกือบหายไป ทั้งนี้ที่ $E < \Delta$ อนุภาคจะทะลุผ่านออกมามากกว่าที่ $E > \Delta$ เมื่อความสูงของกัมพางค์มีค่าน้อย ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4

การพัฒนาการเรียนรู้นิวทริกัลศาสตร์ควอนตัม โดยการนำความรู้มาประยุกต์ใช้ประกอบการอธิบายในชั้นเรียน ในการเรียนการสอนนิวทริกัลศาสตร์ควอนตัม ของนักศึกษาปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 10 คน และคณะครุศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 4 จำนวน 40 คน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ หลังจากนั้นมีการเก็บข้อมูลวัดผลจากนักศึกษาโดยวิธีการเปรียบเทียบผลการประเมินตนเองการทวนสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ และผลจากการทำข้อสอบ หลังจากผ่านการเรียนรู้แบบบูรณาการในนิวทริกัลศาสตร์ควอนตัม เรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮล ฟังก์ชันของกัมพางค์ ซึ่งการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TOF) ทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TOF2) นักศึกษามีความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาของรายวิชานี้ และสามารถบูรณาการความรู้ในรายวิชานี้เข้ากับรายวิชาอื่นที่เกี่ยวข้อง ด้านทักษะทางปัญญา (TOF3) นักศึกษามีทักษะกระบวนการคิดที่ได้จากรายวิชานี้ มีความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากรายวิชาให้แก่ผู้อื่น และมีความสามารถวิเคราะห์สถานการณ์ แก้ปัญหาโดยใช้ความรู้จากรายวิชาได้อย่างมีเหตุผลและสามารถหาแนวทางในการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TOF5) นักศึกษาสามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและเลือกใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาและสามารถใช้ภาษาเพื่อการสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งการฟัง พูด อ่านและเขียน โดยมีความแตกต่าง (0) หมายถึงประเมินตนเองเท่ากับระดับผลสอบ (+) หมายถึงประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ (-) หมายถึงประเมินตนเองต่ำกว่าระดับผลสอบ และระดับผลสอบวิเคราะห์จากคะแนนเฉลี่ยของผลสอบทั้งหมด พบว่า ด้านความรู้ ได้ผลการประเมินตนเองเท่ากับระดับผลสอบ ร้อยละ 46.30 การประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบมีร้อยละ 40.74 และการประเมินตนเองต่ำกว่าระดับผลสอบมีร้อยละ 12.96 นั่นคือ ด้านความรู้ (TOF2) มีการประเมินตนเองเท่ากับผลสอบ (0) ด้านทักษะทางปัญญา ได้ผลการประเมินตนเองเท่ากับระดับผลสอบ ร้อยละ 7.41 การประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ มีร้อยละ 75.93 และการประเมินตนเองต่ำกว่าระดับผลสอบร้อยละ 16.67 นั่นคือ ด้านทักษะทางปัญญา (TOF3) มีการประเมินตนเองสูงกว่าผลสอบ (+) และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ได้ผลการประเมินตนเองเท่ากับระดับผลสอบ ร้อยละ 16.67 การประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ มีร้อยละ 77.78 และการประเมินตนเองต่ำกว่าระดับผลสอบร้อยละ 5.56 นั่นคือ ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TOF5) มีการประเมินตนเองสูงกว่าผลสอบ (+) ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งมีการแสดงแนวโน้มของร้อยละของคะแนนการประเมินตนเองและการประเมินด้วยข้อสอบของนักศึกษา โดยมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากค่า R มีค่าเป็นบวก นั่นคือ นักศึกษาส่วนมากมีผลคะแนนที่สอดคล้องกัน เนื่องมาจากได้ผ่านการพัฒนาการเรียนรู้นิวทริกัลศาสตร์ควอนตัมแบบบูรณาการ ดังแสดงในภาพที่ 6

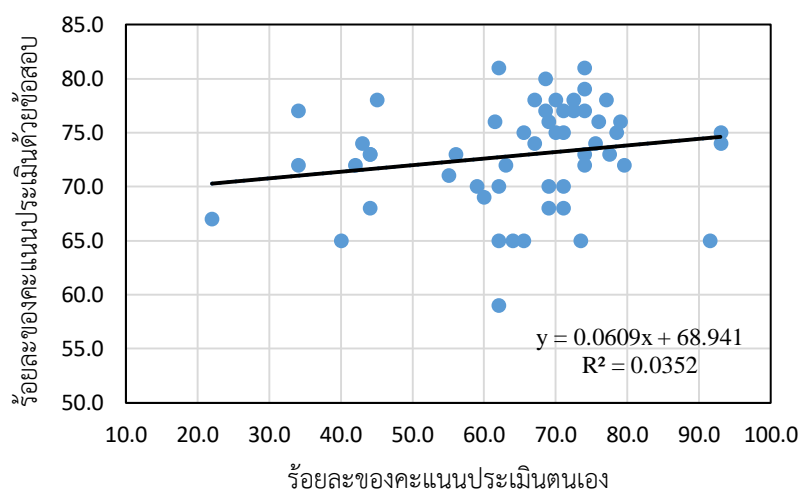
สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการขนส่งของอนุภาคผ่านกัมพางค์ที่มีรอยต่อแบบ โลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง โดยใช้ทฤษฎีการกระเจิงและจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบอิสระในระบบหนึ่งมิติ จากการศึกษาพบว่าผลกระทบของกัมพางค์ก็มีผลต่อโอกาสของการทะลุผ่านและโอกาสของการสะท้อนกลับของอนุภาค กล่าวคือสภาพนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการลดและการเพิ่มค่า z ซึ่งโอกาสของการสะท้อนกลับของโฮลจะลดลง เมื่อความสูงของกัมพางค์เพิ่มขึ้น ส่วนโอกาสของการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสูงของกัมพางค์เพิ่มขึ้น และโอกาสของการทะลุผ่านของอนุภาคจะลดลง เมื่อความสูงของ

กำแพงศรัทธาเพิ่มขึ้น ในส่วนของการเรียนรู้แบบบูรณาการในวิชาวิทยาศาสตร์ควอนตัม เรื่อง โอกาสการสะท้อนกลับและโอกาสของการทะลุผ่านของอิเล็กตรอน และโฮล ฟังก์ชันของกำแพงศรัทธา ผลการวิจัยพบว่า เมื่อให้นักศึกษาที่ผ่านการเรียนรู้ได้ประเมินตนเองและประเมินด้วยข้อสอบ พบว่า นักศึกษาผ่านการพัฒนาการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ควอนตัมแบบบูรณาการส่วนมากมีผลคะแนนที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มการพัฒนาการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ควอนตัมโดยการสอนแบบบูรณาการที่สูงขึ้น นั่นคือ ด้านความรู้ (TQF2) ค่าร้อยละของคะแนนประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ 40.74 ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) ค่าร้อยละของคะแนนประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ 75.93 และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5) ค่าร้อยละของคะแนนประเมินตนเองสูงกว่าระดับผลสอบ 77.78



ภาพที่ 5 แสดงร้อยละความแตกต่างของระดับการประเมินตนเองเทียบกับผลการประเมินด้วยข้อสอบของนักศึกษาทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TQF2) ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของร้อยละของคะแนนการประเมินตนเองและการประเมินด้วยข้อสอบของนักศึกษาที่ผ่านการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ควอนตัม แบบบูรณาการ

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาด้านการเรียนรู้สามารถทำวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบบูรณาการเรื่องอื่น ๆ ในวิชาทศวรรษควอนตัม และสามารถใช้โปรแกรมการวิเคราะห์โปรแกรมอื่นที่สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาได้ เพื่อสามารถอธิบายเรื่องต่าง ๆ ในรายวิชาทศวรรษควอนตัมได้เข้าใจง่ายขึ้น ผู้เรียนสามารถเกิดการพัฒนาการเรียนรู้และเป็นไปตามเป้าหมายในการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF) ทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (TQF2) นักศึกษามีความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาของรายวิชานี้ และสามารถบูรณาการความรู้ในรายวิชานี้เข้ากับรายวิชาอื่นที่เกี่ยวข้อง ด้านทักษะทางปัญญา (TQF3) นักศึกษามีทักษะกระบวนการคิดที่ได้จากรายวิชานี้ มีความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากรายวิชาให้แก่ผู้อื่น และมีความสามารถในวิเคราะห์สถานการณ์ แก้ปัญหาโดยใช้ความรู้จากรายวิชาได้อย่างมีเหตุผลและสามารถหาแนวทางในการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (TQF5) นอกจากนี้ยังสามารถวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของหลักสูตร (TQF) ข้ออื่น ๆ ได้อีกด้วย

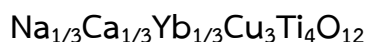
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาการเรียนรู้วิชาทศวรรษควอนตัมโดยการสอนแบบบูรณาการด้วยผลกระทบของการกระเจิงแบบปกติของสปินต่อการขนส่งอนุภาคในรอยต่อของโลหะ/สารตัวนำยวดยิ่ง สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ การสนับสนุนของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วิมานพร รูปใหญ่. (2555). การศึกษาคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ของสาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารสนเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ อุบลราชธานี. (รายงานการวิจัย). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. (2552). ประกาศคณะกรรมการการอุดมศึกษา เรื่อง แนวการปฏิบัติตามกรอบ มาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2552. กระทรวงศึกษาธิการ.
- Oestreich M. (1999). Materials science: Injecting spin into electronics. *Nature (London)* 402, 735.
- Zutic I., Fabian J., & Sarma S. D. (2004). Spintronics: Fundamentals and applications, *Review. Mod. Physics.* 76, 323.
- Wolf S. A., Awschalom D. D., Buhrman R. A., Daughton J. M., Molnár S. V., Roukes M. L., Chtchelkanova A. Y., & Treger D. M. (2001). Spintronics: A Spin-Based Electronics Vision for the Future, *American Association for the Advancement of Science.* 294, 5546, 1488-1495
- Zuti I., Fabian S. J., & Sarma D. (2004). Spintronics: Fundamentals and applications. *Reviews of Modern Physics.* 76, 323
- Blonder G. E., Tinkham M., & Klapwijk T. M. (1982). Transition from metallic to tunneling regimes in superconducting microconstrictions: Excess current, charge imbalance, and supercurrent conversion. *Physics Review B.* 25, 4515.
- Griffin A., & Demers J. (1971). Tunneling in the Normal-Metal-Insulator-Superconductor Geometry Using the Bogoliubov Equations of Motion. *Physics Review B,* 2202–2208.
- B. Lv, Eur. (2011). Spin triplet Andreev reflection induced by interface spin-orbit coupling in half-metal/superconductor junctions. *Physics J. B.* 83, 493–497.

การเตรียม เฟสโครงสร้างและสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก



จุฑาพล จำปาแถม ^a, ประสิทธิ์ ทองใบ ^b

^a ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 32000

^b ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

email: tjutapol@gmail.com

บทคัดย่อ

วัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') ที่สูงมากได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัสดุดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญ เช่น ตัวเก็บประจุ อุปกรณ์เก็บความจำ เป็นต้น มีรายงานการค้นพบวัสดุกลุ่มออกไซด์เพอโรฟสไกต์ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงมาก ($> 10^4$) อย่างไรก็ตาม สำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุ วัสดุเซรามิก CCTO ยังคงมีค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริกที่สูง ($\tan\delta > 0.1$ ที่ความถี่ 1 kHz) เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาการเตรียมและคุณสมบัติของวัสดุออกไซด์เพอโรฟสไกต์ในกลุ่มของ $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม คือ มีค่า ϵ' ที่สูงและค่า $\tan\delta$ ที่ต่ำ เพื่อที่จะสามารถนำวัสดุที่ศึกษาไปพัฒนาใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และใช้งานได้จริง ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการเตรียมของวัสดุเซรามิก $[\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}]\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (NCYbCTO) โดยวิธีการละลายตัวทางความร้อนอย่างง่ายและผ่านการเผาแคลไซน์ในเงื่อนไขต่างๆ ผงที่ผ่านการเผาแคลไซน์และเผาผนึกในเงื่อนไขต่างๆ ศึกษาเฟสโครงสร้างของวัสดุที่เตรียมได้ศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกด้วยเทคนิคอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน (impedance spectroscopy) ผลการทดลอง พบว่า วัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ ค่าแลตทิซพารามิเตอร์มีค่าระหว่าง 7.381 – 7.385 ผลการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ค่า ϵ' มีค่าสูงกว่า 10^3 ในช่วงความถี่ 10^2 - 10^6 Hz และค่า $\tan\delta$ มีค่าระหว่าง 0.083 – 0.140 ที่ความถี่ 1 kHz

คำสำคัญ: $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, เซรามิก, ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก, ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก

Preparation, Phase Formation and Dielectric Properties of $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Ceramics

Jutapol Jumpatam ^a, Prasit Thongbai ^b

^aDepartment of Fundamental Science, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, Surin, Thailand

^bDepartment of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

E-mail: ^atjutapol@gmail.com, ^bpthongbai@kku.ac.th

Abstract

Dielectric materials with high dielectric constant (ϵ') have been interested intensively due to such materials can be applied and developed to use for important electronic applications such as capacitor and memory devices. It has been reported that the $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) oxide-perovskite materials exhibited the giant dielectric constant ($> 10^4$). However, for applying capacitors, the dielectric loss tangent of CCTO materials were higher than those standard values ($\tan\delta > 0.1$). Therefore, this research aims to study the preparation and dielectric properties $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ oxide-perovskite group for suitable and good properties, i.e., high ϵ' and low $\tan\delta$ values. Such good dielectric properties of materials may apply to make the electronic devices in actually work. In this work, the aims is to study the preparation of $[\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}]\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (NCYbCTO) by a simple thermal decomposition method and calcination in various conditions. The phase formation and the dielectric properties at room temperature of the obtained calcined-powders were investigated and studied by X-ray diffraction (XRD) and an impedance spectroscopy techniques, respectively. The results showed that phase structure of all of the prepared ceramic materials exhibited the cubic structure. The calculated lattice parameters were about of 7.381 - 7.385 Å. For studying the dielectric properties at room temperature, it was found that the ϵ' values exhibited higher than 10^3 in the frequency range of 10^2 - 10^6 Hz and the $\tan\delta$ value were found about 0.083 - 0.140 at 1 kHz.

Keywords: $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$; Ceramics; Dielectric constant; Dielectric loss tangent.

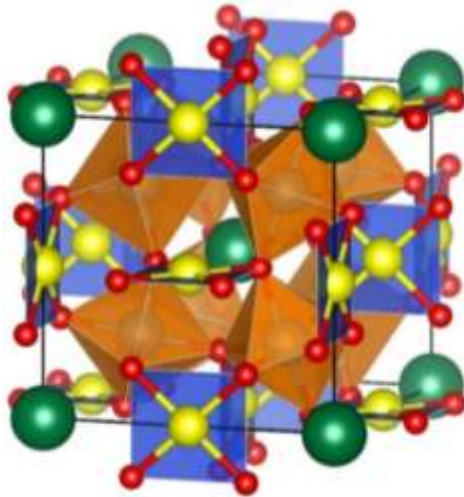
บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นไปอย่างรวดเร็ว และวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีค่าเพอmittivity สูง (high permittivity dielectric materials) หรือที่เรียกว่า วัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, ϵ') สูง และวัสดุดังกล่าวสามารถเป็นส่วนสำคัญในการประดิษฐ์เครื่องมือและอุปกรณ์ทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก วัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite) เป็นกลุ่มวัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงหรือวัสดุเจแอนท์ไดอิเล็กตริก (giant dielectric constant) สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญต่างๆ เช่น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) หรืออุปกรณ์ความจำบางประเภท (memory device) เช่น แรม (RAM) เป็นต้น (Homes et al., 2001) นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีการผลิตสู่ท้องตลาดมีจำนวนมากกว่า 1000 ชิ้นต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามความต้องการของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสื่อสาร เช่น ในทุกระบบของโทรศัพท์อัจฉริยะ (smartphone) จะประกอบด้วยตัวเก็บประจุจำนวนมากนับสิบล้าน หรือในเทคโนโลยี “บลูทูธ (Bluetooth)” ระบบวงจรไฟฟ้าหนึ่งๆ จะประกอบด้วยตัวเก็บประจุนับร้อยตัว (Khorn et al., 2011) ด้วยเหตุนี้ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจึงนับว่าเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารในอนาคต

โดยทั่วไป กลุ่มของวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite) จำพวกวัสดุเฟอร์โรอิเล็กตริกแบบปกติ (normal-ferroelectric materials) เช่น BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) และแบบรีแลกเซอร์ (relaxor-ferroelectric materials) เช่น $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ (PMN) (Wu et al., 2003) นั้นเป็นกลุ่มที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูง ที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางและถูกนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม วัสดุกลุ่มดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ซึ่งผลดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เมื่ออุณหภูมิสูง นอกจากนี้ วัสดุกลุ่มนี้ โดยส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของตะกั่ว (lead, Pb) เป็นองค์ประกอบหลักด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าตะกั่วเป็นสารพิษ ที่ก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง ดังนั้นในปัจจุบันเพื่อค้นหาวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม นั่นคือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (dielectric loss tangent, $\tan\delta$) ต่ำ และไม่มีองค์ประกอบของตะกั่ว และมีความเสถียรภาพในการทำงานในสภาวะต่างๆ ได้ จึงได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลาย เพื่อสามารถนำไปประยุกต์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

ในปี ค.ศ. 2010 ได้มีการรายงานการค้นพบวัสดุกลุ่มออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง และมีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิและความถี่น้อยมาก นอกจากนี้ยังไม่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบด้วย ได้แก่ วัสดุในกลุ่มออกไซด์ $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่า วัสดุออกไซด์แคลเซียมคอปเปอร์ไททาเนต $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) (Subramanian et al., 2000) ที่ถือได้ว่าเป็นวัสดุเจแอนท์ไดอิเล็กตริก ที่แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงมาก ($\epsilon' \sim 10^4$) เมื่อเทียบกับวัสดุออกไซด์อื่นๆ ที่มีโครงสร้างเดียวกัน นอกจากนี้วัสดุดังกล่าวนี้ค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในช่วง 100-400 K สำหรับโครงสร้างผลึกของวัสดุเซรามิก CCTO ที่เป็นโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์คล้าย ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยประกอบด้วยอะตอมของแคลเซียม (Ca, สีเขียว) อยู่ ณ ตำแหน่งแต่ละมุมของลูกบาศก์และอีกหนึ่งอะตอมอยู่ที่จุดศูนย์กลางของลูกบาศก์ ภายในโครงสร้างลูกบาศก์ 1 หน่วยประกอบด้วยรูปทรงแปดของ TiO_2 จำนวน 8 หน่วย สามารถสังเกตได้ชัดเจนว่าแต่ละหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ของโครงสร้างผลึก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ มีการเชื่อมต่อกันด้วยระนาบสี่เหลี่ยมของออกซิเจนล้อมรอบไอออนของ Cu^{2+} (สีเหลือง) ด้วยเหตุดังกล่าวนี้นี้จึงทำให้วัสดุนี้ ได้รับความสนใจและศึกษาจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าวัสดุ CCTO จะมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงและค่อนข้างคงที่ต่ออุณหภูมิแล้ว แต่ยังคงมีค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ($\tan\delta > 0.1$) ดังนั้น นักวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งประเด็นที่จะพัฒนาและปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุดังกล่าว เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง นั่นคือ การลดค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก สำหรับวิธีการปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกให้ดียิ่งขึ้น หนึ่งในวิธีที่ได้รับการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง คือ การเจือด้วยไอออนต่างๆ ในโครงสร้างของวัสดุ CCTO เพื่อปรับเปลี่ยนสภาพทางไฟฟ้าภายในวัสดุ (Li M. et al., 2008; Yang et al., 2011) ตัวอย่างเช่น การเจือด้วยไอออนโลหะของ Mg^{2+} แทนที่ตำแหน่งของ Cu^{2+} ในโครงสร้างของวัสดุเซรามิก CCTO พบว่า สามารถลดค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก และเพิ่มค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้เปรียบเทียบกับความถี่ 1 kHz และอุณหภูมิห้อง โดยที่ค่าดังกล่าวมีค่าประมาณ 0.042 และ 17,300 เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเซรามิก CCTO ที่ไม่ผ่านการเจือ คือ 0.125 และ 14,300 ตามลำดับ (Li M. et al., 2008) นอกจากนี้ มีการรายงานการปรับสัดส่วน

จำนวนโมลของ Ca และ Cu สามารถก่อให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์เป็นวัสดุคอมโพสิตขึ้น ในรูปแบบของวัสดุ $\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO/ CaTiO_3) ที่ประกอบด้วยเฟสของ CCTO (33.33 mol%) และ CaTiO_3 (66.67 mol%) สามารถปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกได้เช่นเดียวกัน นั่นคือ สามารถลดค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ในขณะที่ยังคงมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงเกินกว่า 1000 ที่อุณหภูมิห้องและความถี่ 1 kHz (Kobayashi et al., 2005) จากสาเหตุที่กล่าวมานี้สามารถปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก CCTO ให้มีประสิทธิภาพสูงได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างผลึกของวัสดุ CCTO; ประกอบด้วยไอออนของ Ca^{2+} (สีเขียว), Cu^{2+} (สีเหลือง), Ti^{4+} (สีฟ้า) อยู่ภายในทรงแปดหน้า, และไอออนของ O^{2-} (สีแดง)

นอกเหนือจากการสังเคราะห์วัสดุ CCTO ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการผสมสารแบบดั้งเดิมหรือวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction method) ที่เป็นวิธีเตรียมแบบดั้งเดิมแล้ว โดยใช้สารตั้งต้นในกลุ่มออกไซด์ (CaCO_3 , CuO , และ TiO_2) การปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกด้วยกระบวนการสังเคราะห์วัสดุ CCTO ด้วยวิธีทางเคมีก็ได้รับการศึกษาอย่างมาก และเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่ส่งผลต่อสมบัติทางไดอิเล็กตริกและสมบัติทางไฟฟ้าอย่างมาก กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกเลือกใช้ในการเตรียมวัสดุ CCTO อาทิเช่น วิธีโซล-เจล, วิธีการการตกตะกอนร่วม, วิธีการสลายตัวทางความร้อนอย่างง่าย, วิธีโพลีเมอร์ไพโรไลซิส เป็นต้น (Sun et al., 2008; Li et al., 2013) ข้อดีของกระบวนการสังเคราะห์วัสดุที่เตรียมวิธีการทางเคมี คือ เป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก อนุภาคของวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กและละเอียด (น้อยกว่า 0.1 ไมครอน) ซึ่งส่งผลต่อการอัดแน่นตัวได้ดีกว่าขนาดของอนุภาคใหญ่ นอกจากนี้ในการสังเคราะห์ที่เกิดเป็นเฟสบริสุทธิ์ของวัสดุจะใช้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำและใช้เวลาของการแคลไซน์ไม่นานมากนัก เมื่อเทียบกระบวนการสังเคราะห์แบบวิธีผสมสารดั้งเดิม นอกเหนือจากนี้ยังเป็นการลดต้นทุนในสังเคราะห์วัสดุได้

จากการรายงานวิจัยของกลุ่ม Subramanian และคณะ ยังพบว่า วัสดุที่มีโครงสร้างแบบออกไซด์เพอโรฟสไกต์ในกลุ่ม $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ แสดงสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่ดีเช่นเดียวกัน นั่นคือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงมากกว่า 10^3 ต่อมาหลังจากการค้นพบดังกล่าว วัสดุอื่นๆ ที่มีโครงสร้างแบบเดียวกันกับวัสดุเซรามิก CCTO ก็ได้รับความสนใจและมีการศึกษาอย่างกว้าง และมีจุดประสงค์ที่มุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกและพัฒนาคุณสมบัติให้มีประสิทธิภาพสูงที่จะสามารถนำไปใช้ประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และใช้ได้งานได้จริง วัสดุออกไซด์กลุ่มเซรามิก $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ เมื่อ A คือ Cd, $\text{Bi}_{2/3}$, $\text{Y}_{2/3}$, $\text{La}_{2/3}$, $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}$, $\text{Na}_{1/2}\text{Y}_{1/2}$, $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Bi}_{1/3}$ เป็นต้น (Subramanian et al., 2000; Thongbai et al., 2012; Kum-onsa et al., 2015; Liu et al., 2016) จากรายงานวิจัย พบว่า วัสดุเซรามิกกลุ่มดังกล่าว บางตัวแสดงสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่ดี นั่นคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงและเสถียรต่ออุณหภูมิในช่วงกว้างๆ และมีค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกที่ต่ำ จากการศึกษาวัดเซรามิก $\text{Na}_{1/2}\text{La}_{1/2}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่ถูกเตรียมด้วยเงื่อนไขการเผาที่แตกต่างกัน สามารถแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงประมาณ 10^4 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานในวัสดุเซรามิก CCTO (Thongbai et al., 2012) นอกจากนี้ ยังตรวจพบว่าวัสดุเซรามิก $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ และ $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Bi}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ แสดงสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่ดี โดยพบว่ามีค่า $\tan\delta$ ที่ต่ำกว่า 0.05 โดย

ที่ยังคงรักษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สูงเกินกว่า 1000 ดังนั้นสามารถบ่งชี้ได้ว่า ระบบของวัสดุเซรามิก $ACu_3Ti_4O_{12}$ เป็นหนึ่งในระบบวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีศักยภาพสูงและมีแนวโน้มที่จะถูกใช้ในการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้

ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้มุ่งประเด็นเพื่อทำการสังเคราะห์ ศึกษาเฟสองค์ประกอบโครงสร้างผลึกและสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกออกไซด์เพอโรฟสไกต์กลุ่ม $ACu_3Ti_4O_{12}$ โดยที่ A คือ $[Na^{+}_{1/3}Ca^{2+}_{1/3}Yb^{3+}_{1/3}]$ ในรูปแบบโครงสร้าง $Na_{1/3}Ca_{1/3}Yb_{1/3}Cu_3Ti_4O_{12}$ (NCYbCTO) ที่เตรียมโดยวิธีการสลายตัวทางความร้อนอย่างง่าย (simple thermal combustion) ที่ผ่านกระบวนการเผาแคลไซน์และเผาฟีนิกในเงื่อนไขที่ต่างกัน โดยคาดหวังว่าการศึกษามลของกระบวนการสังเคราะห์และปัจจัยของการเผาแคลไซน์และเผาฟีนิกในเงื่อนไขต่างๆ จะส่งผลในทางที่ติดต่อกับสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกที่สังเคราะห์ได้ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์วัสดุเซรามิก $Na_{1/3}Ca_{1/3}Yb_{1/3}Cu_3Ti_4O_{12}$
2. เพื่อศึกษาเฟสโครงสร้างของวัสดุเซรามิกที่สังเคราะห์ได้
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกที่สังเคราะห์ได้

ระเบียบวิธีวิจัย

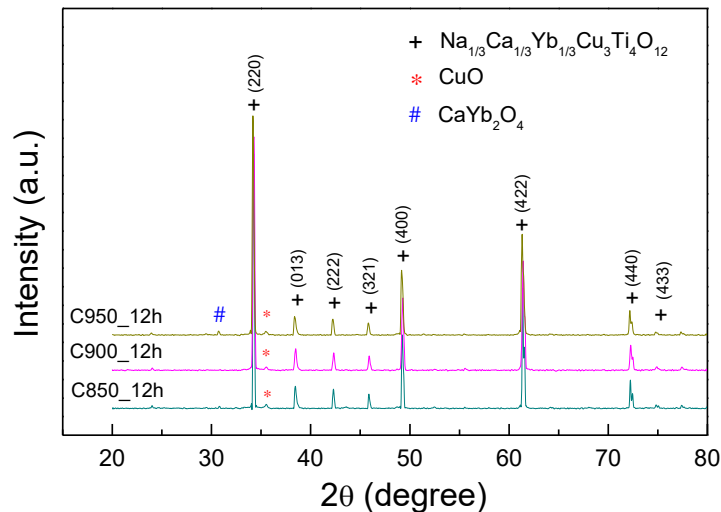
การสังเคราะห์วัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่เตรียมโดยวิธีการสลายตัวทางความร้อนอย่างง่าย (simple thermal combustion) ในขั้นตอนแรก ผสมสารตั้งต้นตามสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมอะซิเตต ($NaCH_3COO$), อดีเทอร์เบียมอะซิเตต ($(CH_3COO)_3Yb \cdot xH_2O$), แคลเซียมอะซิเตต ($Ca(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$) และคอปเปอร์อะซิเตต ($Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) ละลายในสารละลายกรดซิตริก 5 wt% (citric acid) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ลงในถ้วยคูลิเบิลและวางบนแผ่นร้อน (hot plate) พร้อมกับคนให้เข้ากันอย่างต่อเนื่องด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมสารละลายไททานเนียม ($C_{16}H_{28}O_6Ti$, 75 wt.%) ลงในสารละลายในถ้วยคูลิเบิลข้างต้นแล้วคนให้เข้ากันอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นเติมเอทานอล (ethanol) ปริมาณ 80 มิลลิลิตร ลงในสารละลายข้างต้นและคนอย่างต่อเนื่องบน hot plate โดยใช้อุณหภูมิ 150 °C จนกระทั่งส่วนผสมเกิดเป็นเจลหนืด (viscous gel) นำเจลที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 40 นาที หลังจากนั้นนำวัสดุผงแห้งบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง นำไปเผาแคลไซน์ (calcination) ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้วัสดุผงเกิดเป็นสารประกอบ NCYbCTO สุดท้ายนำวัสดุผงทุกตัวอย่างที่ละเอียดไปขึ้นรูปโดยการอัดแรงดันแบบทิศทางเดียวแล้วนำวัสดุที่ขึ้นรูปแล้วไปเผาฟีนิก (sintering) ที่อุณหภูมิ 1075 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสะดวกต่อการเรียกชื่อวัสดุผงที่ผ่านแคลไซน์ดังกล่าว โดยใช้ชื่อย่อ คือ C800_S12h, C850_S12h และ C900_S12h ตามลำดับ

องค์ประกอบเฟสโครงสร้างของวัสดุเซรามิกที่สังเคราะห์ได้ ถูกศึกษาโดยจะใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ซึ่งเทคนิคนี้จะอาศัยการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ โดยใช้มุม 2θ เริ่มต้นที่ 20 องศา และสิ้นสุด 80 องศา ข้อมูลที่ได้ นั้นจะบ่งบอกถึงโครงสร้างผลึกของสารองค์ประกอบ และสามารถหาค่าคงที่ผลึกหรือค่าพารามิเตอร์ผลึก (lattice parameter, a) และวิเคราะห์เฟสโครงสร้างด้วยเทคนิค Rietveld refinement ของโครงสร้างผลึกของสารองค์ประกอบได้ เพื่อยืนยันการเกิดเฟสโครงสร้างของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ สำหรับวัสดุที่ผ่านการสังเคราะห์แล้ว จะถูกนำมาศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกโดยใช้เครื่องมือ Impedance spectroscopy ที่ตั้งอยู่ ณ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นจะอยู่ในรูปของค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance, C) และค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) โดยในงานวิจัยนี้จะวัดค่าดังกล่าวในช่วงความถี่ $10^2 - 10^7$ Hz ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งค่าที่วัดได้นี้ สามารถนำไปคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุได้

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเกิดเฟสโครงสร้างของวัสดุเซรามิก NCYbCTO

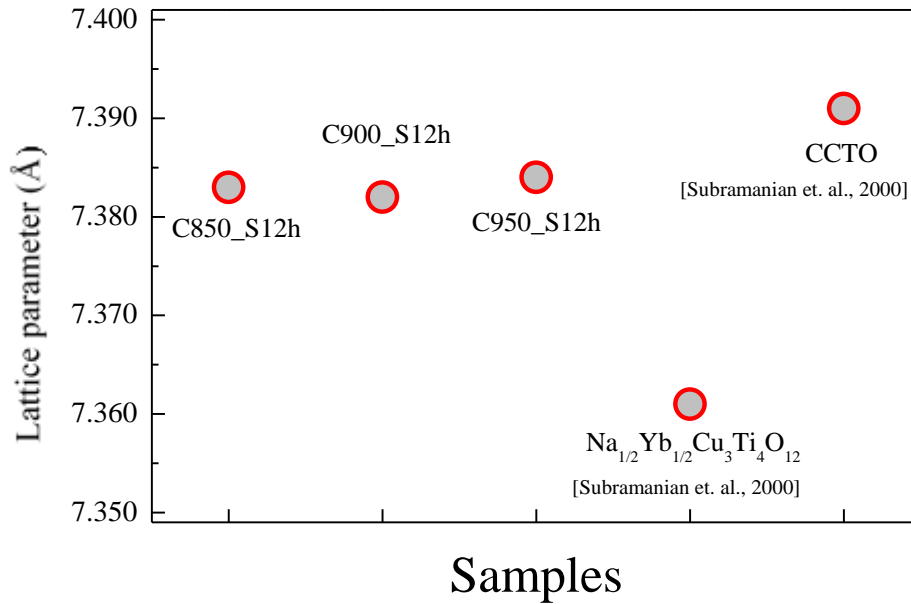
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของวัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในเงื่อนไขต่างๆ และผ่านการเผาผนึก (sintered) ที่อุณหภูมิ 1075 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 2 พบว่า รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ แสดงพีคหลักของวัสดุแคลเซียมคอปเปอร์ไททานेट (CCTO) โดยที่ระนาบ (200), (013), (222), (321), (400), (422), (440) และระนาบ (433) ของวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างที่เตรียมได้เกิดขึ้นที่มุม 2θ ประมาณ 34, 38, 42, 45, 49, 61, 72 และ 74 องศา ตามลำดับ และวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวแสดงตามภาพที่ 1 เมื่อเทียบกับพีคหลักจะสอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐาน CCTO (JCPDS 75-2188) (Subramanian et al., 2000) และวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ยังตรวจพบเฟสปลอมปน (impurity) ของ CuO ที่ตำแหน่งมุม 2θ ประมาณ 35 องศา เฟสปลอมปนที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ มักมีการตรวจพบในวัสดุกลุ่ม $ACu_3Ti_4O_{12}$ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการตรวจพบเฟสปลอมปนของ $CaYb_2O_4$ เฉพาะวัสดุผงที่ผ่านการเผาแคลไซน์ 950 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การมีเฟสปลอมปนดังกล่าวนี้ สาเหตุเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิและเวลาในการเผาผนึกที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้เข้าไปฟอร์มเป็นเฟส NCYbCTO ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ อาจมีการแก้ไขโดยการปรับอุณหภูมิหรือเวลาของการเผาแคลไซน์และการเผาผนึกให้มีความเหมาะสม นั่นคือ อาจจะต้องลดเวลาและ/หรืออุณหภูมิของการเผาแคลไซน์ให้ระยะสั้นลง



ภาพที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของวัสดุเซรามิก $Na_{1/3}Ca_{1/3}Yb_{1/3}Cu_3Ti_4O_{12}$ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในเงื่อนไขแตกต่างกัน

นอกจากนี้แล้ว จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สามารถคำนวณหาค่าคงที่ผลึกของวัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า ค่าคงที่ผลึกที่คำนวณได้ของวัสดุเซรามิก C850_S12h, C900_S12h และ C950_S12h มีค่าเป็น 7.383, 7.382 และ 7.384 Å ตามลำดับ จากผลการคำนวณดังกล่าวสามารถสรุปดังแสดงในภาพที่ 3 จากค่าคงที่ผลึกที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ระหว่างของวัสดุ $Na_{0.5}Yb_{0.5}Cu_3Ti_4O_{12}$ และ CCTO ที่มีค่าคงที่ผลึกเป็น 7.361 และ 7.391 Å (Subramanian et al., 2000) ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากรัศมีไอออนที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยไอออนของ Na^+ , Ca^{2+} และ Yb^{3+} ถูกกระจายตัวแบบสุ่มในตำแหน่ง A-site โครงสร้างผลึกของวัสดุ NCYbCTO เมื่อพิจารณาในตำแหน่ง A-site ขนาดของไอออน Ca^{2+} (1.00 Å) ที่อยู่ในโครงสร้างวัสดุ CCTO พบว่า ไอออนของ Ca^{2+} มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่กว่าไอออนของทั้ง Na^+ (0.95 Å) และ Yb^{3+} (0.86 Å) ที่อยู่ในโครงสร้าง $Na_{0.5}Yb_{0.5}Cu_3Ti_4O_{12}$ ดังนั้น เมื่อพิจารณาการแทนที่ไอออนของทั้ง Na^+ (0.95 Å) และ Yb^{3+} (0.86 Å) ตามสัดส่วนโมลในตำแหน่งของไอออน Ca^{2+} ในตำแหน่ง A-site ของโครงสร้าง $Na_{0.5}Yb_{0.5}Cu_3Ti_4O_{12}$ จึงพบว่าค่าคงที่ผลึกของวัสดุเซรามิกตัวอย่าง NCYbCTO ที่คำนวณได้ มีค่าอยู่ระหว่างค่าคงที่ผลึกของวัสดุ CCTO และ $Na_{0.5}Yb_{0.5}Cu_3Ti_4O_{12}$ นั่นคือ มีค่าน้อยกว่าวัสดุ CCTO และมีค่ามากกว่าวัสดุ $Na_{0.5}Yb_{0.5}Cu_3Ti_4O_{12}$

ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าคงที่ผลึกของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์ $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Y}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ตำแหน่ง A-site ประกอบด้วยการกระจายของไอออนที่มีประจุ 1+, 2+ และ 3+ ในอัตราส่วนประมาณ 33.3 at.% เท่ากัน นั่นคือ Na^+ Ca^{2+} และ Y^{3+} กระจายอยู่ในตำแหน่ง A-site ของโครงสร้างวัสดุ $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ จากรายงานการวิจัยของวัสดุดังกล่าวนี้พบว่ามีค่าคงที่ผลึกประมาณ 7.387 Å (Liu et al., 2016) ซึ่งค่าคงที่ผลึกดังกล่าวนี้มีค่าที่ค่อนข้างมากกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับผลการทดลองของค่าคงที่ผลึกของวัสดุ NCYbCTO ซึ่งมีสาเหตุหลักเนื่องจากรัศมีไอออนของ Yb^{3+} (0.86 Å) มีขนาดเล็กกว่าไอออนของ Y^{3+} (0.93 Å) ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างค่าคงที่ผลึกของโครงสร้างวัสดุ



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ผลึกของวัสดุ $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในเงื่อนไขแตกต่างกัน และเปรียบเทียบกับค่าคงที่ผลึกของวัสดุ CCTO และ $\text{Na}_{0.5}\text{Yb}_{0.5}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$

ผลการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่

สำหรับการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ที่อุณหภูมิห้องถือว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญลำดับแรกและเป็นการบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุแฉกไดอิเล็กตริกไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก โดยในวัสดุที่เตรียมได้ในช่วงความถี่ 100 ถึง 10 MHz โดยเครื่องมือที่ใช้ศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในการทดลองนี้ วัดได้มาเป็นค่าความจุไฟฟ้า (C_p) และค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) จากการวัดข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือดังกล่าว สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ของวัสดุที่เตรียมได้ โดยใช้สมการที่ (1) คือ

$$\epsilon' = \frac{C_p d}{\epsilon_0 A} \quad (1)$$

โดยที่ ϵ' คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุตัวอย่าง

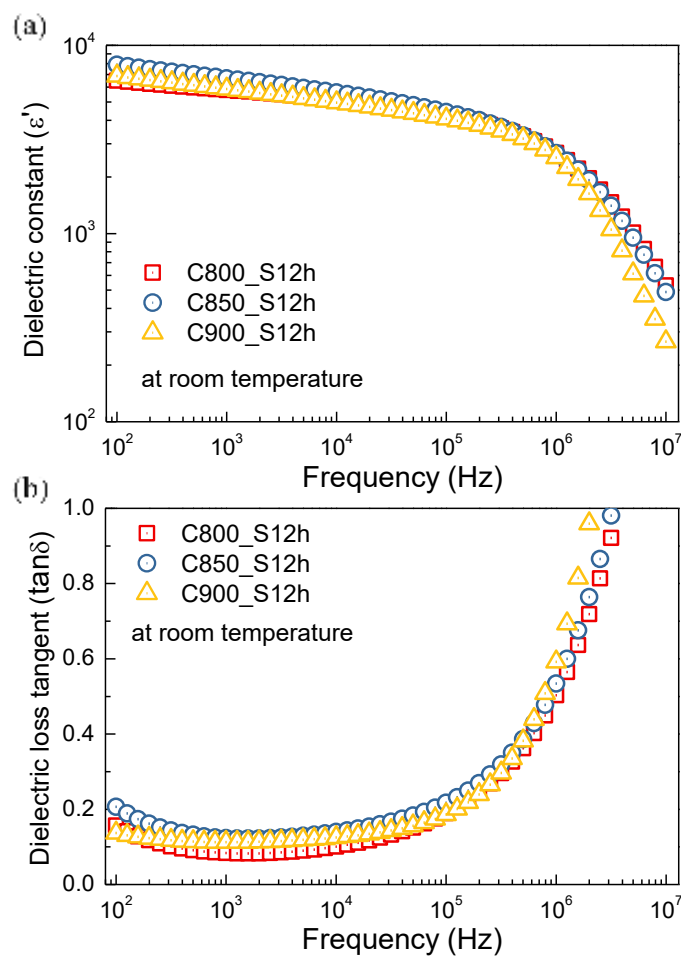
C_p คือ ค่าความเก็บประจุที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุตัวอย่าง

d คือ ความหนาของวัสดุตัวอย่าง

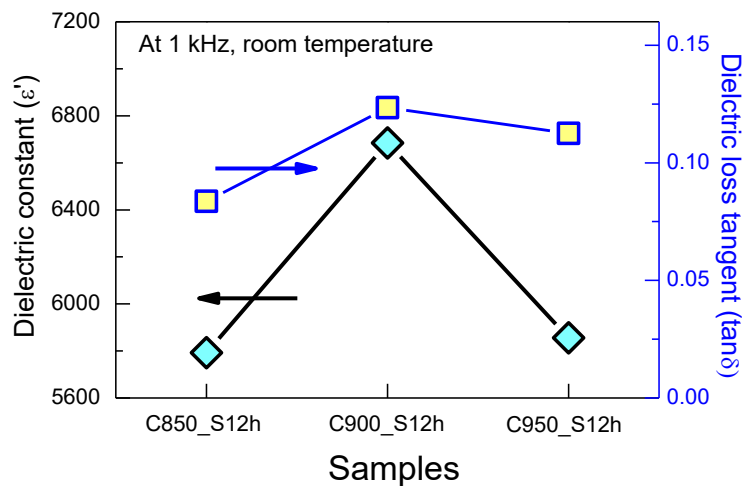
ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') ที่คำนวณได้จากสมการ (1) เพื่อนำไปพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงกับความถี่ และนำข้อมูลที่คำนวณได้ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในช่วง 100 ถึง 10 MHz ดังแสดงในภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') และค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ของวัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในเงื่อนไขแตกต่างกัน ในช่วงความถี่ 100 ถึง 10 MHz ทดสอบวัดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 4(a) พบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่าง มีค่าที่สูงมากกว่า 10^3 ในช่วงความถี่ต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงกับความถี่เล็กน้อยในช่วงความถี่ 10^2 ถึง 10^6 Hz เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น (มากกว่า 10^6 Hz) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างฉับพลัน ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ เรียกว่า พฤติกรรมการผ่อนคลายทางไดอิเล็กตริก (Dielectric relaxation) โดยทั่วไปพฤติกรรมนี้มักจะเกิดขึ้นในวัสดุประเภทอิเล็กโทรเซรามิก (electroceramics) ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะมีค่าที่สูง เนื่องจากไดโพลไฟฟ้าในวัสดุเซรามิกมีการตอบสนองทางไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์หรือมีเวลามากพอในการกลับทิศสนามไฟฟ้าของไดโพลไฟฟ้า ส่วนสาเหตุของการลดลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกอย่างรวดเร็วที่เกิดขึ้นที่ความถี่เพิ่มมากขึ้น เพราะว่าการกลับทิศของไดโพลไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้อย่างไม่สมบูรณ์ หรือมีการกลับทิศของไดโพลไฟฟ้าตามสนามไฟฟ้าภายนอกได้ยาก จึงส่งผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลง และกราฟความสัมพันธ์ของค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ พบว่า ในช่วงความถี่สูง (มากกว่า 10^5 Hz) ค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 4(b) สาเหตุดังกล่าวนี้ เกิดจากพฤติกรรมการผ่อนคลายทางไดอิเล็กตริก ซึ่งสอดคล้องกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ลดลงอย่างฉับพลันในช่วงความถี่สูง (Homes et al., 2000; Sun et al., 2008)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของ (a) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') และ (b) ค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ที่อุณหภูมิห้อง (room temperature) ของวัสดุ $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในเงื่อนไขแตกต่างกัน ในช่วงความถี่ 100 ถึง 10 MHz

เมื่อพิจารณาถึงการนำวัสดุเพื่อไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในด้านการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยความถี่ของการเปรียบเทียบสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกตัวอย่าง คือ ที่ 1 kHz สำหรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') ของวัสดุเซรามิก C850_S12h, C900_S12h และ C950_S12h พบว่ามีค่าเท่ากับ 5792, 6685 และ 5855 ตามลำดับ ซึ่งผลจากการมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงของวัสดุเซรามิกทุกตัวอย่าง เรียกได้ว่าเป็นวัสดุกลุ่มประเภทใจแอนทีไดอิเล็กตริก สำหรับค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ที่ความถี่ 1 kHz พบว่ามีค่า 0.083, 0.123 และ 0.112 ตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกตัวอย่าง ที่ความถี่ 1 kHz และที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพที่ 5 จากผลการวิจัยนี้พบว่าเงื่อนไขของกระบวนการเตรียมวัสดุที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางไดอิเล็กตริกไม่แตกต่างกันมาก โดยวัสดุเซรามิก C850_S12h แสดงสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่ดีที่สุด นั่นคือ มีค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริกที่ต่ำกว่า 0.1 ในขณะที่ยังรักษาการมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงได้ นอกจากนี้ วัสดุเซรามิกที่เตรียมได้นี้ ถือได้ว่าเป็นการปรับปรุงสมบัติไดอิเล็กตริกของกลุ่มวัสดุ CCTO ได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาคุณสมบัติและความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในด้านการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้จริงในอนาคต อาจจะต้องมีการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกเพิ่มเติม คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิ ในช่วงอุณหภูมิกว้างๆ ของวัสดุเซรามิกตัวอย่าง เพราะการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิเป็นหนึ่ง ในปัจจัยที่มีความสำคัญและมีผลต่อการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้จริงที่อุณหภูมิสูง



ภาพที่ 5 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') และค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ของวัสดุเซรามิก $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Yb}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในเงื่อนไขแตกต่างกัน เปรียบเทียบที่ความถี่ 1 kHz และอุณหภูมิห้อง

สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า สามารถสังเคราะห์วัสดุเซรามิก NCYbCTO ที่เตรียมโดยวิธีการสลายตัวทางความร้อนอย่างง่าย (simple thermal combustion method) ได้สำเร็จ โดยเป็นเฟสโครงสร้างแบบลูกบาศก์คล้ายกับวัสดุ CCTO เมื่อพิจารณาเงื่อนไขของกระบวนการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อสมบัติทางไดอิเล็กตริกเล็กน้อย นั่นคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $5.7 - 6.7 \times 10^3$ และมีค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ต่ำที่สุด คือ 0.083 ที่ความถี่ 1 kHz และที่อุณหภูมิห้อง และโดยคาดหวังว่า หากปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและ/หรือเวลาของการเผาแคลไซน์และเผาฟีนิก มีแนวโน้มทำให้ค่าแทนเจนต์การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) มีค่าต่ำลงได้

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะนำเล็กรวัสดุไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในด้านการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าได้จริงในอนาคต อาจจะต้องมีการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกเพิ่มเติม คือ การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของวัสดุเซรามิกตัวอย่าง เพราะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีมีความสำคัญและมีผลต่อการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ เพื่อให้ทราบและให้เกิดความแน่ชัดถึงสาเหตุของการมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงของวัสดุ ควรจะต้องศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคหรือลักษณะพื้นผิวหน้าของวัสดุเซรามิกตัวอย่างด้วย เพราะผลของขนาดเกรนของวัสดุเซรามิกอาจจะส่งผลโดยตรงต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ช่วยเหลือให้การสนับสนุนการในการใช้เครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ. ดร. ประสิทธิ์ ทองใบ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนด้านทุนในการทำวิจัยสำหรับสารตั้งต้นและอนุเคราะห์ด้านการใช้เครื่องไดอิเล็กตริก และกรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Homes, C. C., Vogt, T., Shapiro, S. M., Wakimoto, S., Ramirez, A. P. (2001). Optical response of high-dielectric-constant perovskite-related oxide. *Science* 293, 673-676.
- Khorn, S., Lunkenheimer, P., Meissner, S., Reller, A., Gleich, B., Rathgeber, A., Gaugler, T., Buhl, H. U., Sinclair, D. C., Loidl, A. (2011). The route to resource-efficient novel materials. *Nature Materials* 10, 899-901.
- Kobayashi, W., Terasaki, I. (2005). $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/\text{CaTiO}_3$ composite dielectrics: Ba/Pb-free dielectric ceramics with high dielectric constants. *Applied Physics Letters* 87, 032902.
- Kum-onsa P., Thongbai, P., Putasaeng, B., Yamwong, T., Maensiri, S. (2015). $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{B}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$: A new giant dielectric perovskite ceramic in $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ compounds. *Journal of European Ceramics Society* 35 (5), 1441-1447.
- Li, M., Cai G., Zhang, D. F., Wang, W. Y., Wang, W. J., Chen, X. L. (2008). Enhanced dielectric responses in Mg-doped $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. *Journal of Applied Physics* 104, 074107.
- Li, Y., Liang, P., Chao, X., Yang, Z. (2013). Preparation of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics with low dielectric loss and giant dielectric constant by the sol-gel technique. *Ceramics International* 39 (7), 7879-7889.
- Liu, Y., Zhao, X., Zhang, C. (2016). Dielectric and impedance characteristics of $\text{Na}_{1/3}\text{Ca}_{1/3}\text{Y}_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramic prepared by solid-state reaction method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 27 (11), 11757-11761.
- Subramanian, M. A., Li, D., Duan, N., Reisner, B. A., Sleight, A. W. (2000). High dielectric constant in $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ and $\text{ACu}_3\text{Ti}_3\text{FeO}_{12}$ phases. *Journal of Solid State Chemistry* 151, 323-325.
- Sun, D. L., Wu, A. Y., Yin, S. T. (2008). Structure, properties, and impedance spectroscopy of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics prepared by sol-gel process. *Journal of American Ceramics Society* 91 (1), 169-173.
- Thongbai, P., Yamwong, T., Maensiri, S. (2012). Dielectric properties and electrical response of grain boundary of $\text{Na}_{1/2}\text{La}_{1/2}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics. *Materials Research Bulletin* 47 (2), 432-437.
- Wu, J., Nan, C. W., Lin, Y., Deng, Y. (2002). Giant Dielectric Permittivity Observed in Li and Ti Doped NiO . *Physical Review Letters*, 89 (21), 217601-217604.
- Yang, Z., Zhang, L., Chao, X., Xiong, L., Liu, J. (2011). High permittivity and low dielectric loss of the $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics. *Journal of Alloys and Compounds* 509 (35), 8716-8719.

โครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลของด้วงขาโต *Carvedonserratus Olivier* เพศผู้

ฐิติพร เจาะจง^{1,a*}, สโรชา โพธิ์อภัย^{1,b}, พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ^{2,c}, กษมะ ดุรงค์ศักดิ์^{1,d}, ปณิตดา เมฆโต^{1,e}

¹สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

²สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

*Corresponding author email:titiporn_ant@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นหาโครงสร้างผลึกโฟโตนิกส์ของด้วงขาโต *CarvedonserratusOlivier*.เพศผู้ โดยการศึกษาของสีของผิวลำตัวด้วงด้วงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์การดูดกลืนแสงร่วมกับการสะท้อนแสงบนพื้นผิวลำตัวของด้วงด้วยเครื่องตรวจวัดสสารด้วยการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 1200 นาโนเมตร พบว่าบริเวณลำตัวด้วงมีสีเขียวแกมแดงคล้ายสีโลหะสะท้อนลักษณะสีมีสองโทนสี ทำให้สะดุดตาว่าด้วงเพศผู้ชนิดอื่นๆ ที่มีโทนสีเดียวและเมื่อเปรียบเทียบกับด้วงขาโตเพศเมียที่มีสีน้ำเงินเข้มเพียงสีเดียวตามหลักทฤษฎีสีคือแม่สี ทำให้เพศผู้ที่มีสีที่ดึงดูดเพศตรงข้ามมากกว่าเพศเมียบริเวณกลางปีกมีลักษณะรูปทรงห้าเหลี่ยมพื้นผิวหยาบและขรุขระซึ่งบางบริเวณมีพื้นผิวเรียบ บริเวณกลางลำตัวมีพื้นผิวคล้ายผลึกอยู่บริเวณรอยต่อของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยม และบริเวณปลายปีกจะมีลักษณะเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยมที่มีพื้นผิวซ้อนเรียงติดกัน ผลการวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสงและค่าการสะท้อนแสงของด้วงเพศผู้ พบว่ามีค่าการสะท้อนแสงอยู่ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ในช่วงความยาวคลื่น 560 ถึง 750 นาโนเมตรซึ่งอยู่ในช่วงสีในแถบเส้นสเปกตรัมของแสงที่มองเห็น คือ สีเขียวแกมแดง และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 0.8 จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงตรงตามหลักทฤษฎีคือเมื่อค่าการสะท้อนมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงทำให้เห็นสีตรงตามธรรมชาติของด้วง ซึ่งเพศผู้จะมีค่าการสะท้อนแสงได้ดีกว่าเพศเมียผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงและค่าการดูดกลืนแสงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาเลือกสีและวัสดุที่มีค่าสะท้อนแสงและค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับด้วงเพศผู้และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาเลือกสี ทำให้ได้สีที่แตกต่างกับสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นการเพื่อเพิ่มมูลค่าของชิ้นงานให้ตรงตามความต้องการของผู้ที่สนใจได้

คำสำคัญ:ผลึกโฟโตนิกส์, ด้วงขาโต, ผิวลำตัวด้วง

Photonic Crystal Structure of Male Seed Beetle, *CarvedonserratusOlivier*.

Titiporn Chorchong^{1,a*}, Sarocha Pho-aphai^{1,b}, Pisit Poolprasert^{2,c}, Kasama Durongsak^{1,d} and Panatda Mekto^{1,e}

¹ Program of Physics, Faculty of Science and Technology, PibulsongkramRajabhat University, 65000

² Program of Biology, Faculty of Science and Technology, PibulsongkramRajabhat University, 65000

*Corresponding author email: titiporn_ant@psru.ac.th

Abstract

The aim of this research was to explore the photonic crystal structure of male seed beetle, *CarvedonserratusOlivier*. The external beetle morphology and color of its exoskeleton were observed using the light microscope (LM) together with scanning electron microscope (SEM). In addition, the effects of light absorption and reflection on beetle body were detected using the UV-Vis-NIR spectrophotometer within the wavelength ranging from 200-1200 nanometer. It was revealed that the color on the beetle body was reddish green as metallic reflection. The two-tone-color of its body was more eye-catching than the bodies of other male beetle species which the most of them showed the color as monotone. Moreover, based on body color in female from previous observation, it displayed only blue color as theory of primary colors. It was resulted that the male beetle in this study was considered as more attractive than female. With regard to the structure in middle part of its wing, it was somewhat rough and appeared as pentagon crystals but some areas were relatively smooth. The stacking of pentagon crystals was also seen on its wing edge. Based on the light absorption and reflection on beetle body, the highest reflection at 15% and light absorber at 0.8 ranging between 560-750 nanometer of wavelength were divulged. According to theory of absorption and reflection, the reflection in male *C.serratus* was better than in female, resulting in better occurrence of the natural color in male. From these results, it could be applied for several purposes including choosing color and materials based on this beetle character. Additionally, it could be practical used for coating different color in order to add value the products in accordance with interested buyers or customer requirements.

Keywords: Photonic crystal, *Carvedonserratus*, beetle's exoskeleton

บทนำ

ดวงเป็นแมลงปีกแข็งชนิดหนึ่งที่ผิวของลำตัวมีสีส้มสวยงาม โดยสีส้มที่สวยงามนั้นไม่ได้เกิดจากรงครว้หรือเม็ดสีของปีก (Structural coloration) แต่เกิดจากสมบัติพิเศษบริเวณผิวของตัวที่เรียกว่า “โฟโตนิกส์คริสตัล” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการสร้างและใช้แสงหรือพลังงานที่อยู่ในรูปของโฟตอน และเป็นโครงสร้างระดับนาโนที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยสมบัติพิเศษนี้ทำให้สามารถเห็นผิวของตัวที่มีสีส้มต่างๆ ตามกฎการสะท้อนและการหักเหของแสง ซึ่งสามารถพบเห็นตัวอย่างอื่นในธรรมชาติได้แก่ ผีเสื้อ และ ตัวต่อ เป็นต้น ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมและธุรกิจทั่วโลกเริ่มหันมาสนใจการพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมใหม่ๆ โดยใช้วิธีการเลียนแบบธรรมชาติจากการใช้ความรู้ความเข้าใจในสาขาวิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และสาขาวิชาอื่นๆซึ่งมีรายละเอียดในการศึกษาที่ลงลึกไปในระดับโครงสร้างของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยี โดยเฉพาะคุณสมบัติพิเศษที่พบในพืชและสัตว์ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะในยุคนาโนเทคโนโลยีนี้ มนุษย์สามารถเข้าถึงเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและการออกแบบที่พบในธรรมชาติง่ายขึ้นและยังสามารถเลียนแบบธรรมชาติในมิติใหม่ที่ไม่เคยเข้าใจมาก่อน ให้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมใหม่ๆ ได้ ในปัจจุบันมีศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโฟโตนิกส์คริสตัลในแมลงชนิดต่างๆ มากมาย (ศรีณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร, 2549) (Mouchet, 2012) และ (Kinoshita et al, 2008) ซึ่งในงานวิจัยข้างต้นนั้นยังไม่มีการศึกษาสมบัติโฟโตนิกส์คริสตัลของตัวตัวผู้ในประเทศไทยที่มีสีส้มที่สวยงามแตกต่างออกไปจากแมลงชนิดอื่นๆ และมีหลากหลายสีในตัวเดียว

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสมบัติโฟโตนิกส์คริสตัลของตัวตัวผู้ในประเทศไทยเพื่อศึกษาโครงสร้างสี, ลักษณะพื้นฐานและสะท้อนและการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดการหักเหและสะท้อนของแสงเป็นสีต่างๆ หลากหลายสีในตัวเดียวได้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลโครงสร้างสีของแมลงตัวขาโตเพศผู้
2. เพื่อศึกษาผลการวิเคราะห์ค่าดูดกลืนของแสงและค่าการสะท้อนแสงของแมลงตัวขาโตเพศผู้

ระเบียบวิธีวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

วัสดุ อุปกรณ์	เครื่องมือในการวิเคราะห์
กรรไกร	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบใช้แสง
มีด	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ถุงมือ	เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง
ไม้บรรทัด	
แอลกอฮอล์	
อุปกรณ์เก็บแมลง	
ถุงซิป	

ดำเนินงาน

1. ขั้นตอนการศึกษาโครงสร้างที่มีสีส้มบนพื้นผิวแมลงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
 - 1.1 นำตัวอย่างแมลง วางบนฐานของกล้อง
 - 1.2 ปรับปุ่มโฟกัสตั้งแต่ 20-200 nm ตามระดับความเหมาะสมของรูปภาพ
 - 1.3 ได้ภาพที่มีลักษณะคมชัดสวยงามตามความต้องการ
 - 1.4 นำผลไปวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างสี

2. ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาทางโครงสร้างลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)

2.1 นำแมลงด้วงขาโตเพศผู้ ขนาดความกว้าง ความยาว 0.5x1 เซนติเมตร มาตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดประมาณ 0.3 เซนติเมตร ออกเป็น 3 ส่วนพอดีกับสตัปหรือแท่นวางตัวอย่างและนำเข้าเครื่องเคลือบทองเป็นเวลา 10 นาที

2.2 ติดเทปกาวคาร์บอนชนิด 2 หน้า

2.3 นำตัวอย่างแมลงติดลงบนเทปกาวคาร์บอนโดยอีกด้านติดแท่นวางตัวอย่าง

2.4 ทำการเคลือบทองให้ทั่วชิ้นงานเพื่อให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าได้ก่อนจะนำเข้าเครื่อง SEM

2.5 นำตัวอย่างที่เคลือบทองแล้วเข้ากล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจากค่าดูดกลืนแสงที่ใช้เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer

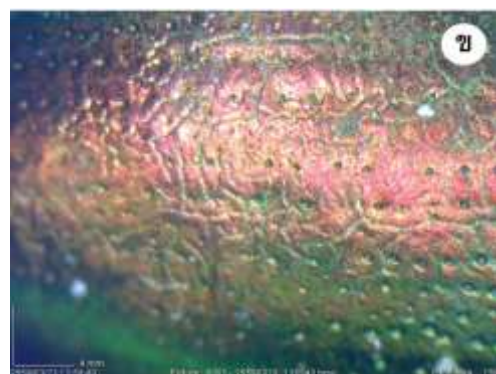
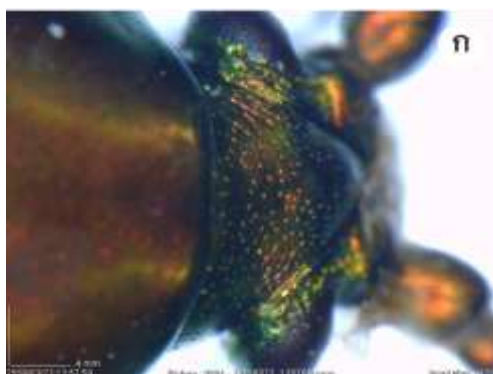
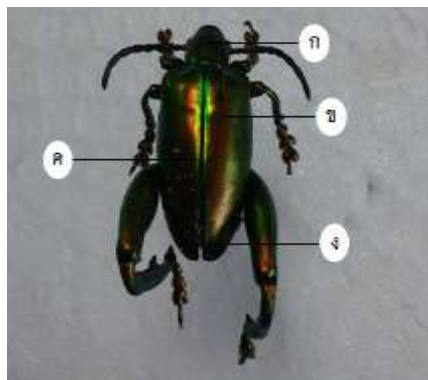
เตรียมชิ้นส่วนตัวอย่างแมลงขนาดความกว้าง 0.5 เซนติเมตร และความยาว 1 เซนติเมตร วิเคราะห์การดูดกลืนในช่วงแสงที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งในตัวอย่างต้องมีความโปร่งใสเพียงพอและกำหนดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วง 200 นาโนเมตร – 1200 นาโนเมตร ผ่านตัวอย่างเครื่องจะแสดงผลออกบนจอภาพ

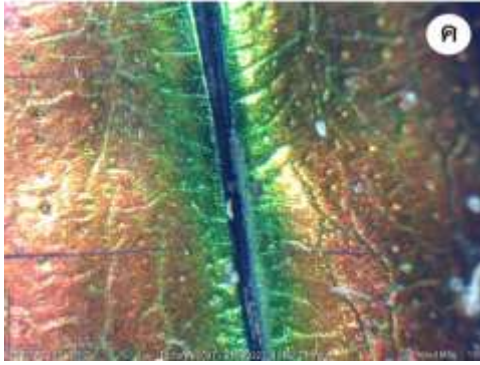
ผลการวิจัย

ในผลการวิเคราะห์โครงสร้างโฟโตนิกคริสตัลของด้วงขาโตเพศผู้ จะแบ่งออกเป็นโครงสร้างสี โครงสร้างลักษณะสัณฐาน ค่าการสะท้อนแสงและค่าดูดกลืนแสงโดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างสีบนพื้นผิวดังด้วงขาโตเพศผู้ *Carvedonserratus Olivier*

ด้วงเต่าขาโต เป็นด้วงที่พบได้ในประเทศเวียดนาม ทางใต้ของจีนและทางเหนือของไทยโดยเฉพาะที่ลำพูน ด้วงชนิดนี้มี 1 ชั่วโมงวัยชดเชย ตัวเต็มวัยพบได้ในช่วงต้นฝน ขนาดลำตัวยาวประมาณ 20-22 มิลลิเมตร มีทั้งรูปแบบสีน้ำเงิน เขียวเขียวทอง หรือแดงม่วง จากการวิเคราะห์โครงสร้างสีด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ภาพที่ 1) พบว่า แสดงลำตัวด้วงและโครงสร้างสีที่ทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จากการทดสอบพบว่าบริเวณลำตัวด้วงมีสีเขียวแกมแดงคล้ายสีโลหะสะท้อน [23] สีพื้นผิวมันวาว จากภาพ 1 (ก) แสดงบริเวณอกของด้วง จะมีลักษณะผิวมันวาวสะท้อนแสงสีแดงและบริเวณลำคอมีสีระยิบระยับเขียวสลับแดง (ข) แสดงบริเวณส่วนกลางปีกของด้วง บริเวณพื้นผิวมีสีแดงและสีเขียวสะท้อนแสงมากกว่าบริเวณอื่น (ค) บริเวณช่องว่างระหว่างเกล็ดปีกทั้งสองข้าง มีสีเขียวสะท้อนแสงและมีสีแดงล้อมรอบ พื้นผิวขรุขระและมีรอยหยักมาก (ง) บริเวณปลายปีก มีแสงสีเขียวระยิบระยับ มีรูขุมขนรอบๆ ปลายปีก



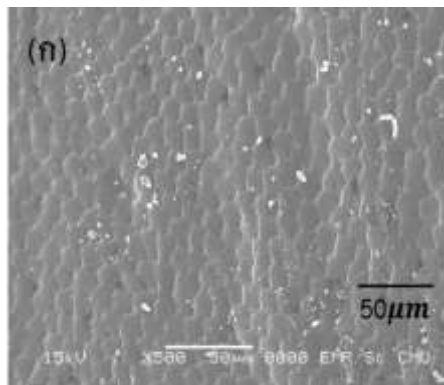


ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างสีบริเวณลำตัวด้วงขาโตเพศผู้ (ก) บริเวณส่วนนอก หรือ ลำคอ
(ข) บริเวณส่วนกลางบนพื้นผิวลำตัว (ค) บริเวณตรงกลางระหว่างปีกซ้ายและปีกขวา และ (ง) บริเวณปลายปีก

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างสีด้วงขาโตเพศผู้พบว่าเม็ดสีเหมือนโลหะ ลักษณะสีมีสองโทนสี ทำให้สะดุดตากว่าด้วงเพศผู้สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีโทนสีเดียว

2. ลักษณะโครงสร้างสันฐานบนพื้นผิวดังขาโตเพศผู้ *Carvedon serratus Olivier*

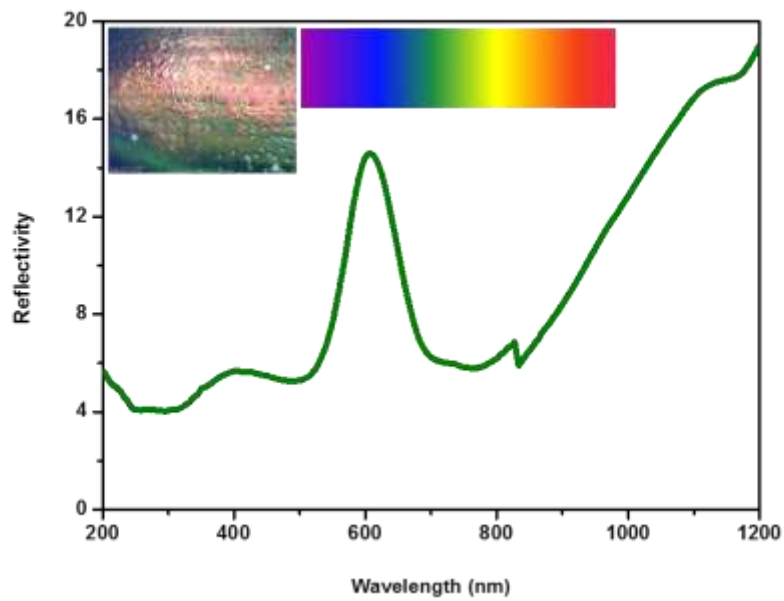
การทดสอบลักษณะสันฐานบนพื้นผิวดังขาโตเพศผู้ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) พบว่าโครงสร้างเป็นผลึกเกาะกลุ่มกัน ดังภาพ 2 (ก) จากภาพที่ 2 (ก) พื้นผิวของด้วงบริเวณกลางปีกมีลักษณะเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยม พื้นผิวหยาบและขรุขระ บางบริเวณมีพื้นที่ผิวเรียบ และบริเวณกลางลำตัวมีพื้นที่ผิวคล้ายผลึกอยู่บริเวณรอยต่อของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงห้าเหลี่ยม



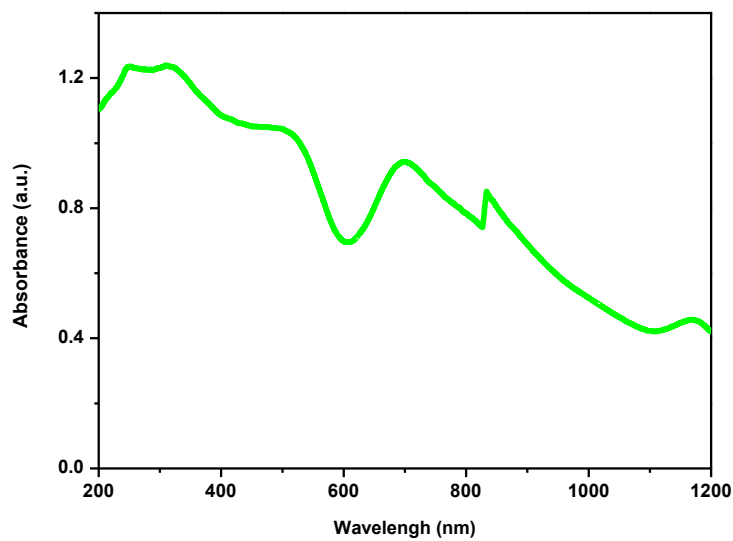
ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของด้วงขาโตเพศผู้

3. ค่าดูดกลืนแสงโครงสร้างบนพื้นผิวดังขาโตเพศผู้ *Carvedon serratus Olivier*

จากลักษณะโครงสร้างด้วงขาโตตามทฤษฎีการสะท้อนแสงจะมีโครงสร้างการสะท้อนแสงที่ไม่เป็นระเบียบ จากภาพที่ 3 และ 4 มีค่าการสะท้อนแสงอยู่ที่ 15 % ในช่วงความยาวคลื่น 560-750 nm ซึ่งอยู่ในช่วงสีในแกนสเปกตรัมของสีเขียวแกมแดง และมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 0.8 ซึ่งจากทฤษฎีเมื่อมีค่าการสะท้อนแสงมากขึ้นการดูดกลืนแสงจะลดลง



ภาพที่ 3 การสะท้อนของสารสีเขียวแกมแดงจากตัวดั่งขาโตเพศผู้



ภาพที่ 4 การดูดกลืนแสงของตัวดั่งขาโตเพศผู้

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาโครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลในแมลงด้วงขาโต *Carvedonserratus Olivier* เพศผู้ที่ค้นพบในประเทศไทย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลโครงสร้างสีของแมลงด้วงขาโตเพศผู้

โครงสร้างสีของเพศผู้มีความหลากหลายสีและมีโครงสร้างลักษณะพื้นฐานรูปทรงห้าเหลี่ยมเรียงตัวติดกันทำให้มีการสะท้อนแสงได้ดี

2. ค่าดูดกลืนของแสงและค่าการสะท้อนแสงของแมลงด้วงขาโตเพศผู้

การดูดกลืนของแสงและการสะท้อนแสงของตัวทึบแสงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกสีและวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงรวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในด้านเคลือบสีทำให้ได้สีที่แตกต่างจากสีที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเรื่องมุมที่แสงตกกระทบบนพื้นผิวในแต่ละช่วง
2. ศึกษาความแข็งของปีกผีเสื้อและลักษณะสีฐานในระดับชั้นผิวของตัวทึบ

เอกสารอ้างอิง

ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร. (2549) โฟโตนิกส์ มหัศจรรย์แห่งแสง./ (ครั้งที่1)/กรุงเทพฯ:ทีเอสบี โปรดักส์.

สีสะท้อน. (2558). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://homeenrich.blogspot.com/2013/11/90_ceramiccoating.html/ (วันที่ค้นข้อมูล: วันที่ 15 พฤษภาคม 2560)

Frank P. Barrows & Michael H. Bartl. (2014, January). **Photonic Structures in Biology:**

Possible Blueprint for Nanotechnology. (2 0 1 3) Science and Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA.

Mouchet, S., Vigneron, J.-P., Colomer, J.-F., Vandenbem, C. and Deparis, O. (October 11, 2012). Additive photonic colors in the Brazilian diamond weevil: *entimus imperialis*. Proc. SPIE 8480, The Nature of Light: Light in Nature IV, 848003; doi:10.1117/12.928352; <http://dx.doi.org/10.1117/12.928352>

S Kinoshita, S Yoshioka & J Miyazaki. (2008, January). **Physics of structural colors.** (2007). from <http://iopscience.iop.org/RoPP//71/076401/6> June 2008.