



วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, กรกฎาคม – ธันวาคม 2563 / Vol. 7, No. 2, July – December, 2020

บทความ	หน้า
1. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน ศรายุทธ จิตรพัฒนานกุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัคตงคต	1
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากไบโอดีเซลและขาน้อยสู่วิสาหกิจชุมชน ธนรัตน์ ยอดดำเนิน และเสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงส์	12
3. การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลาทุ่นำกระป๋อง กฤติเดช ดวงใจบุญ เมตยา กิตติวรรณ และปรารักษ์ทิพย์ ฤทธิ์โชติ แก้วเพ็ญกรอ	25
4. การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาร้างวัชโรคลิณีแรรในโรงแรมแห่งหนึ่ง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร นุชนภา สุกใส อินจิรา นิยมฐร ศศิธร ลอเรนซ์ วิมลศิริ พรทวิวัฒน์ และสายพิน ไชยนันท์	40
5. กรอบการประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชชั่นสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ปัญญา สำราญพันธ์ ฅณภ ชัยสุวรรณ และบุริม นิลแป้น	51
6. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ นิติคม อริยพิมพ์ และชัยพร อัดโดดตร	59
7. แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโดดตร	73
8. การใช้ไอโซระบบไฮโคลนบำบัดน้ำเสียชุมชน นิตา ศรทอง มงคล จงสุพรรณพงศ์ และฐกฤต ปานชลธิ	87

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และ วิทยาการ ทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น วารสารเปิดรับบทความจาก ภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ วารสารจัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ใน เดือน มกราคม - มิถุนายน และ เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม สามารถส่งต้นฉบับได้โดยตรงที่บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามที่อยู่ด้านล่าง โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็นของผู้ส่งบทความเท่านั้น

เจ้าของ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม	
ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรพิสุทธิ มงคลวนิช รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุกฤต ปานชลธิ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.ดำรง ขุมมงคล รองศาสตราจารย์ ดร.ปริดา จันทวงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทิฆมทรัพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรากฏเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ตัวทองสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เขียวจิตต์สวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุโกศล วโนทยาพิทักษ์ ดร.ดินฉนภ จุ่มอิน ดร. ชัยพร ทบแป ดร.ณัฐณี อินทบุตร ดร.วีระ ศรีอริยะกุล ดร.สุนทร แสงเพชร อาจารย์วิษณุ บุญมาก ดร.สุรชาติ จันทระชิต ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพันธุ์ ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จงสุวรรณพงศ์ ดร.เชษฐภักดิ์ ลีลาศรีศิริ ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวดี ดร.ภูเทพ ดอนท้วม อาจารย์ธนศ วิลาสมงคลชัย อาจารย์จิรวัดน์ กรุดนา อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล อาจารย์อองอาจ วิเศษสุข ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ	มหาวิทยาลัยชินวัตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทบุรี มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ วิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก Xi'an Jiaotong University วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วัตถุประสงค์

- เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ
- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอก
- เพื่อเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ

การส่งบทความ

- ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ jeet.stc@gmail.com และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>
- ทางเว็บไซต์ของวารสาร <http://jeet.siamtechu.net/> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>

กำหนดออกรวสาร

ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม และ มิถุนายน

พิมพ์ที่

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด
99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ 025751791 โทรสาร 025751793 เว็บไซต์ www.protexts.com

การเผยแพร่

จัดส่งให้กับห้องสมุด งานบริการวิชาการ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
และเผยแพร่ทางเว็บไซต์ jeet.siamtechu.net

สำนักงาน

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ 10 แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5048 แฟกซ์: 02-878-5002

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

บทบรรณาธิการ



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ฉบับนี้เป็นปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (เดือน กรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563) โดยมีวัตถุประสงค์ในการเผยแพร่ครอบคลุมด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ในฐานะที่วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เป็นวิทยาลัยเทคโนโลยีที่ให้ความสำคัญต่อการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย มาเผยแพร่สู่สังคม รวมทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ด้วยความเป็นสากลของ

กระบวนการแสวงหาความรู้ของกระบวนการวิจัย ทำให้วิทยาลัยมีการบูรณาการกระบวนการสร้างงานวิชาการ ที่ปรากฏในวารสารฉบับนี้ เป็นการนำเสนอความคิดเชิงสร้างสรรค์และการแก้ปัญหาทางวิชาการผ่านองค์ความรู้ ในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นในเชิง “คุณค่า” ร่วมกัน ที่มีความสอดคล้องกับบริบท และการส่งเสริม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ซึ่งกันและกัน นำไปสู่ประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติอย่างไม่มีที่สิ้นสุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางด้านงานวิจัยที่ครอบคลุมทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างดี

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ยินดีรับบทความที่มีความ ประสงค์จะเผยแพร่ / ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จัก มากยิ่งขึ้น โดยขอความร่วมมือกับผู้ส่งบทความให้ตระหนัก และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความอย่าง เคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา ผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ตลอดจนผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจในงานวิจัย และนำไปใช้ประโยชน์จากวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ซึ่ง คณะผู้ดำเนินงานจะพัฒนาวารสารวิชาการให้ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รูกฤต ปานชลธิ

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	หน้า
1. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน <i>ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต</i>	1
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน <i>ธนวิรัตน์ ยอดดำเนิน และเสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงส์</i>	12
3. การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลาทุ่นำมาประกอบ <i>กฤติเดช ดวงใจบุญ เมตยา กิตติวรรณ และปรารค์ทิพย์ ฤทธิ์โชติ แก้วเพ็ญกร</i>	25
4. การเพิ่มประสิทธิภาพการเผ่าระวังโรคลิ้นแฉ่งในโรงแรมแห่งหนึ่ง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร <i>นุชนภา สุกใส อินจิรา นิยมฐร ศศิธร ลอเรนซ์ วิมลศิริ พรทวีวัฒน์ และสายพิน ไชยนันท์</i>	40
5. การประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชชั่นสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ <i>ปัญญา สำราญพันธ์ ฅณพ ชัยสุวรรณ และบุริม นิลแบน</i>	51
6. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ <i>นิติคม อริยพิมพ์ และชัยพร อัดโตดดร</i>	59
7. แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ <i>พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโตดดร</i>	73
8. การใช้ไอโซนระบบไฮโคลนบำบัดน้ำเสียชุมชน <i>นิดา ศรทอง มงคล จงสุพรรณพงศ์ และฐกฤต ปานขลิบ</i>	87

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

THE SOLAR POWER GENERATION HIGH VOLTAGE REMOTE CONTROL SYSTEM FOR HOUSEHOLD ELECTRICITY REDUCTION

ศรายุทธ จิตรพัฒนานกุล^{1*} กฤษณะ จันทสิทธิ์² วีรวัฒน์ ชื่นอัสตงค์³

Sarayut Chitphutthanakul,^{1*} Kritsana Chantasit,² Teerawat Chuenatsadongkot³

¹อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

³อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

*Corresponding author, E-mail: sarayut134@gmail.com

บทคัดย่อ

ในการทํารายการครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน และศึกษาวิเคราะห์ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยอุปกรณ์หลักประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ ทำงานร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง ควบคุมการทำงานด้วยตู้ควบคุมขนาด 20 ช่อง ติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรง เซอร์กิตเบรกเกอร์ และอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสตรง (DC Surge Protector) ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Surge Protector) เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสสลับควบคุมผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระบบป้องกันการจ่ายไฟย้อนเข้าระบบของการไฟฟ้า (CT : Current Transformer) และมอนิเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ทราบสถานการณ์ทำงาน พบว่า หลังติดตั้งทดสอบการทำงานในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน ช่วงเวลาการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือช่วงเวลา 13.00 น. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ได้ปริมาณสูงสุดทางฝั่งขาเข้า และกระแสไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ขาออกมีค่าเท่ากับ 8.73 และ 5.98 แอมแปร์ ตามลำดับ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 หน่วยต่อวัน หรือ 243 หน่วยต่อเดือน ลดปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 850-1,050 บาทต่อเดือน และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 393 หน่วยต่อเดือน พบว่า จะสามารถลดปริมาณกระแสไฟฟ้าได้เหลือ 150 หน่วยต่อเดือน หรือจำนวนร้อยละ 38.17

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์, ควบคุมระยะไกล, ระดับครัวเรือน

ABSTRACT

This research aimed to develop the solar power generation high voltage remote control system for household electricity reduction and to analyst the amount of electricity that can be produced in each period. The main device consists of a 1,500 watt inverter working of 5 solar panels with 350 watts, control by operation with a 20-channel control cabinet equipped with DC fuses, circuit breaker and DC surge protector on the AC side, install an AC surge protector device, an AC circuit breaker controlled via a computer network system. The protection system for reverse

power supply to the utility system (CT : Current Transformer) and a monitor to show the voltage, current, power, electric power on the AC side to know the working status. The result was found that after installed, the test runs from 08.00 a.m. to 05.00 p.m., average 6 times per hour in three days. The most efficient working period at 01.00 p.m. could generate highest amount of electricity from the solar panel at the incoming side, and the current from the inverter output was 8.73 and 5.98 amperes, respectively. In addition to, it was produced an average electricity of 8.10 units per day or 243 units per month including, reduce the amount of electricity on average 850-1,050 baht per month. Moreover, when comparing the average electricity for the last 3 months, it showed that 393 units per month, will be able to reduce the amount of electricity to 150 units per month or 38.17 percent.

Keywords: Solar Energy, Remote Control, Household Level

1. บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวันและการผลิตภาคอุตสาหกรรม เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ การผลิตไฟฟ้าในช่วงที่ผ่านมานิยมสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานจากฟอสซิลไม่ว่าจะเป็นถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาประเทศต่างๆ ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาด เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ในการผลิตไฟฟ้าที่กระจายตัวเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลายแห่ง สำหรับนโยบายภาครัฐของประเทศไทยนั้น มีการส่งเสริมสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดี ซึ่งในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาภาครัฐมุ่งเน้นส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่หรือที่เรียกกันว่า “Solar Farm” ต่อมาในช่วง 2-3 ปี ที่ผ่านมาจึงเริ่มส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคา หรือเราเรียกว่า “Solar Rooftop” ที่เปิดโอกาสให้ผู้บริโภคไฟฟ้ามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าไว้ใช้งานเอง เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดและสนับสนุนการพึ่งพาตนเอง การผลิตไฟฟ้าไว้ใช้เองและลดการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ [1]

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง (On Grid System) มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าจะถูกจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันสูง เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) ที่มีระบบกันย้อน (Zero Export Mode) ขนาด 1,500 วัตต์ เซอร์คิตเบรกเกอร์ควบคุมผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย มาตรวัดปริมาณกำลังไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ติดตั้งยังบ้านพักอาศัยที่มีค่ากระแสไฟฟ้าต่อเดือนระหว่าง 300 ถึง 400 หน่วยต่อเดือน ซึ่งระบบ จะสามารถลดปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยลงต่อเดือนได้ 750 ถึง 1,000 บาท หรือ 225 หน่วยต่อเดือน ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลงจะเป็นแนวทาง ในการช่วยแบ่งเบาภาระรายจ่ายในภาคครัวเรือนได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยสร้างระบบเชื่อมต่อกับกระแสไฟฟ้าภายในบ้านเรือน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในบ้านพักอาศัย หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มากกว่าโหลดใช้งาน ก็จะไม่สามารถจ่ายย้อนเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ โดยงานวิจัยจะเป็นแนวทางลดค่ากระแสไฟฟ้าลง ส่งเสริม

เรียนรู้การพลังงานที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เพื่อจะสามารถพึ่งพาตนเอง ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือน ด้วยกรรมวิธีหลักการทางวิศวกรรม และช่วยส่งเสริมการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในชีวิตประจำวันต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา และเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ลดลงต่อเดือน

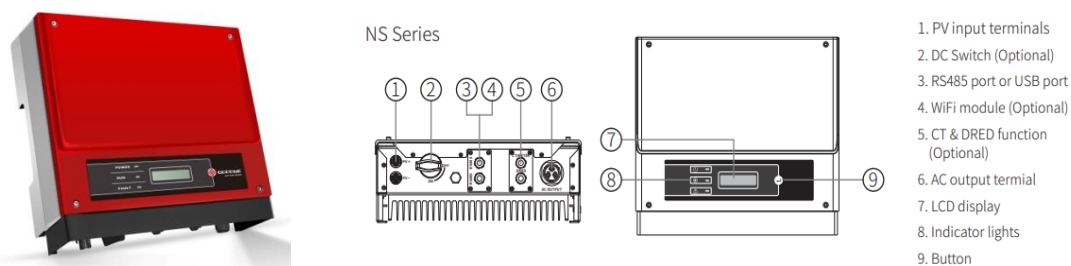
3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน เพื่อเป็นแนวทางในการลดค่ากระแสไฟฟ้า โดยนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาดแรงดัน 230-240 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

1.1 การศึกษาอินเวอร์เตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

อินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยเป็นอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ ยี่ห้อ GoodWe รุ่น GW1500-NS แบบ Single Phase สามารถต่อแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1x72 Cells หรือ 1x144 Cells จำนวน 4-5 แผงต่อ 1 String ดังรูปที่ 1 โดยมีคุณลักษณะของอุปกรณ์โดยทั่วไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 อินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์

ลำดับที่ (1) ขนาดกำลังไฟฟ้าขาเข้าเครื่องอินเวอร์เตอร์มีความต้องการกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดที่ 1,950 วัตต์ ปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดที่ 500 โวลต์ แรงดันขณะทำงาน 80-450 โวลต์ และสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10 แอมแปร์ (2) DC Switch สำหรับเปิด-ปิดระบบไฟฟ้าทางด้านขาเข้า เพื่อให้ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลด (3) สายสัญญาณเชื่อมต่อ RS-485 หรือ USB Port สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์อินเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน เพื่อเก็บข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ในแต่ละเครื่องไปไว้ในอุปกรณ์การจัดการด้านข้อมูล (4) ช่องต่อสำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่าย (WiFi Module) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้ามาตรวจสอบการทำงานของระบบได้ (5) ช่องต่อสำหรับอุปกรณ์ป้องกันการจ่ายกระแสไฟฟ้าย้อนเข้าระบบของการไฟฟ้า (Power Limiting Device & DRED Installation) (6) ช่องต่อไฟฟ้ากระแสสลับที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 220/230 โวลต์ ระดับความถี่ 50/60 Hz กระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกสูงสุดที่ระดับ 7.5

แอมแปร์ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ระดับ 0.8 ปริมาณการสูญเสีย Total Harmonic Distortion (THDi) น้อยกว่าร้อยละ 3 (7) ด้านหน้ามีช่องแสดงผลการทำงาน (LCD Display) เพื่อให้ทราบสถานะการทำงานของเครื่อง รวมถึงแสดงค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบให้สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ (8) ไฟแสดงสถานะการทำงานประกอบด้วย Power RUN และ FALUT ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำลังทำงานอยู่ในโหมดใด (9) ปุ่มสำหรับตั้งค่าการทำงาน (Button) เพื่อให้ผู้ใช้งานตั้งค่าการทำงานอย่างถูกต้อง โดยตัวเครื่องมีขนาดความกว้าง 344 มิลลิเมตร ยาว 274.5 มิลลิเมตร และสูง 128 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำหนัก 7.5 กิโลกรัม ทำงานที่ระดับอุณหภูมิ -25 ถึง +60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการป้องกันน้ำของตัวเครื่องที่ระดับ IP65 ทำงานที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0-100 นอกจากนั้นยังมีค่าประสิทธิภาพของตัวเครื่อง (CEO Peak Efficiency) ที่ระดับร้อยละ 97.00 ภายในใช้เทคโนโลยีหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูง [2]

1.2 การศึกษาแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cells)

แผงโซลาร์เซลล์ที่นำมาใช้เป็นแบบผลึกรวม (Super Poly Half Cell Crystalline) มีขนาดความกว้าง 992 มิลลิเมตร ยาว 1988 มิลลิเมตร และสูง 40 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำหนัก 22.3 กิโลกรัม ยี่ห้อ Suntech รุ่น STP350-24/Vfh กำลังวัตต์สูงสุดที่ผลิตได้ 350 วัตต์ ปริมาณเซลล์เท่ากับ 144 Cells สำหรับติดตั้งด้านหลังคาเพื่อใช้ในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกรวมนั้นจะมีกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบฟิล์มบาง (Thin Film) เมื่อเทียบกับพื้นที่ติดตั้งแต่จะน้อยกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบชนิดผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline) โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 13-16 โดยในปี 2558 โซลาร์เซลล์แบบผลึกรวมนั้น จะมีสัดส่วนบนทั้งตลาดมากที่สุดเพราะมีราคาที่ถูกลงและให้ประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ในการติดตั้ง โดยการติดตั้งนั้นจะใช้พื้นที่ 7.5-10 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์ [3]

1.3 อุปกรณ์แสดงข้อมูลทางไฟฟ้า

อุปกรณ์แสดงข้อมูลทางไฟฟ้า (Power Smart Energy Meter) ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลกำลังไฟฟ้าแบบ Single Phase ยี่ห้อ TOMZN รุ่น DDS238-4W มีลักษณะการทำงานเป็นการวัดพลังงานเชิงบวกและพลังงานเชิงลบที่มีพลังงานเชิงลบสะสมเป็นพลังงานบวก สามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และค่าความถี่ พอร์ตสื่อสารแบบ RS485 และ WiFi สามารถใช้แอปพลิเคชันสำหรับการอ่านข้อมูล และควบคุมการเปิด/ปิดระบบ สามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินและแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยสามารถตั้งค่าได้จากแอปพลิเคชัน ระบบป้องกันการโอเวอร์โวลต์ ฟังก์ชันการควบคุมเวลา รีเซตพลังงานที่ใช้งานเป็นศูนย์จากแอปพลิเคชัน ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการใช้ในการบริหารจัดการระบบผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ [4] สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือการเก็บข้อมูลรายละเอียดทางด้านข้อมูลทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวอุปกรณ์ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโหลด หรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยสามารถโหลดแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการบริหารจัดการจากระบบปฏิบัติการ Apple App Store หรือระบบปฏิบัติการ Android Google Play Store เพื่อดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ "WISEN" เพื่อทำการติดตั้งการใช้งาน โดยสามารถเลือกขนาดให้เหมาะสมกับพิกัดการทนกระแสของอุปกรณ์

1.4 การศึกษาอุปกรณ์ป้องกันการจ่ายกระแสไฟฟ้าย้อนเข้าระบบ

อุปกรณ์ป้องกันการจ่ายกระแสไฟฟ้าย้อนเข้าระบบ (Power Limiting Device) โดยนำอุปกรณ์ CT (Current Transformer) ไปคล้องที่สายไฟหลักเส้นไลน์ (L) ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์จะทำหน้าที่ลดกระแสที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้จ่ายและปลอดภัยต่อการใช้งานในระบบไฟฟ้า ความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) และหม้อแปลงวัดกระแส (CT, Current Transformer) คือ ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) ของ CT จะมีเพียงรอบเดียว มีสายไฟหรือบัสบาร์ ผ่านแกนของ CT เพียงเส้นเดียว หมายความว่า CT วัดกระแส (หม้อแปลงวัดกระแส) หนึ่งตัวจะใช้งานได้ ต่อโหลดได้ 1 ตัวต่อเฟส ในส่วนของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะมีจำนวนรอบของขดลวดมากกว่าด้านเข้า แกนรูปโดนัทของหม้อแปลงวัดกระแส (CT) ทำมาจากเหล็กที่มีความสูญเสียต่ำ ซึ่งคุณภาพของวัสดุที่นำมาทำแกนของ CT มีความสำคัญมากเนื่องจากมีผลกระทบกับประสิทธิภาพและค่าความแม่นยำของตัว CT เองการทำงานของหม้อแปลงกระแสอาศัยหลักการลดกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตแบบสัดส่วน (Ratio) โดยการเอาสายตัวนำหรือบัสบาร์

<http://jeet.siamtechu.net>

เป็นขดลวดทางต้านปฐมภูมิ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในแกนของ CT และมีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิ [5]

ส่วนที่ 2 ศึกษาออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

1. ปริมาณแผงโซลาร์เซลล์

เนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ เริ่มทำงานตามคุณลักษณะที่ระบุไว้ที่ตัวเครื่องมีความต้องการแรงดันไฟฟ้า 80-450 โวลต์ (MPPT Voltage Range) โดยเริ่มทำงานที่ 80 โวลต์ โดยในงานวิจัยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ ต่อแผง ดังนั้น

ค่าแรงดันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ = 46.60 โวลต์ (±ร้อยละ 5)

ค่ากระแสแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ = 9.52 แอมป์ (±ร้อยละ 5)

ดังนั้น ขนาดของแรงดันและกระแสแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 233 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 9.52 แอมป์ จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ 5 แผง หรือขนาดกำลังวัตต์รวมเท่ากับ 1,750 วัตต์ จำนวน 1 String (ต่อแผงอนุกรม) โดยสังเกตที่ค่า Voc (Open Circuit Voltage) และค่า Isc (Short Circuit Current) ของแผงโซลาร์เซลล์ ตามลำดับ

2. ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ใน 1 วันโดยเฉลี่ยมีปริมาณเท่ากับ 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยตั้งแต่ช่วงเวลา 08.00 ถึง 17.00 น. โดยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1,750 วัตต์ ต่อร่วมกับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ ทำงานเต็มประสิทธิภาพ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าต่อวันจะเท่ากับ

$$W = (\text{กำลังการผลิตของอินเวอร์เตอร์} \times 5) / 1,000$$

เมื่อ

W คือ จำนวนขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน (ยูนิต์)

เมื่อต้องการหาขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W = (1,500 \times 5) / 1,000$$

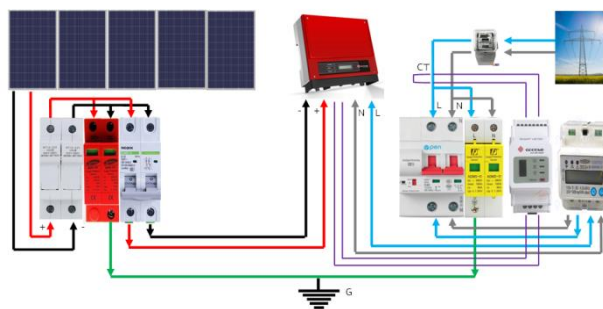
$$= 7,500 / 1,000$$

$$= 7.5 \text{ หน่วย}$$

ดังนั้น กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 7.5 หน่วยต่อวัน หรือ 225 หน่วยต่อเดือน สามารถประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันได้เป็นเงิน 850-950 บาทต่อเดือน โดยคำนวณจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4.2 บาทต่อหน่วย [6]

ส่วนที่ 3 การติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือนขนาด 1,500 วัตต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าตามรูปแบบที่กำหนดดังรูปที่ 2 ติดตั้งยังชุมชนเคหะ 2 หมู่ 12 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์หลักอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง (ต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงเฉลี่ย 200 โวลต์) รวมทั้งระบบกันย้อนเพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าย้อนเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ติดตั้งชุดควบคุมการทำงานของระบบ ฯ โดยสามารถตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะไกล ผ่านเครือข่ายไร้สาย นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2 วงจรการเชื่อมต่อระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

หลังจากดำเนินการจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือนแล้ว ดำเนินการเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ตั้งแต่เวลา 08.00 น.-17.00 น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน บันทึกปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และปริมาณความเข้มแสงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยเครื่องมือทดสอบความเข้มแสง (Light Intensity Meter) ยี่ห้อ Pro's Kit รุ่น MT-4017 ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ และปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) กำลังไฟฟ้า และปริมาณพลังงานสะสมทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) หลังผ่านอินเวอร์เตอร์ เพื่อตรวจสอบปริมาณพลังงานที่ได้เฉลี่ยใน 1 วัน

4. ผลการวิจัย

1. ผลการติดตั้ง และศึกษาการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

อุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานจะถูกติดตั้งในตู้ควบคุมกันน้ำขนาดความกว้าง 44.6 เซนติเมตร ยาว 22 เซนติเมตร และลึก 11.7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3 โดยทำการติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 1,000 โวลต์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (DC Surge Protector) ขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 1,000 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 440 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 32 แอมแปร์ 220 โวลต์ สามารถเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายได้ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Surge Protector) ขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 420 โวลต์ บริเวณด้านหน้าติดตั้งมอนิเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 100 แอมแปร์ 100 โวลต์ ด้านข้างติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ขนาดความกว้าง 34.4 เซนติเมตร ยาว 27.4 เซนติเมตร และสูง 12.8 เซนติเมตร โดยเชื่อมสัญญาณไฟฟ้าด้วย VCT สายไฟขนาด 3*2.5 ตารางมิลลิเมตร และเพื่อความปลอดภัยของระบบ จึงได้มีการติดตั้งระบบกราวด์ โดยใช้แท่งทองแดงขนาด 1.8 เมตร ผั่งลงในพื้นดินใกล้กับจุดติดตั้งบริเวณดังกล่าวด้วย



รูปที่ 3 ชุดควบคุมระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ พบว่า บริเวณสำหรับติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เป็นหลังคาแบบเมทัลชีต ทิศทางหลังคาหันไปทางทิศใต้ หลังคามีความลาดเอียงในระดับ 15 ถึง 20 องศา โดยอุปกรณ์ติดตั้งประกอบด้วย รางอะลูมิเนียมขนาด 2.1 เมตร ตัวยึดหลังคาเมทัลชีต (L-FEET) ตัวต่อราง (Rail Splice Kit) เอ็นแคลมป์ (End Clamp Solar Module) มิดแคลมป์ (Middle Clamp Solar Module) ดังรูปที่ 4 (จากซ้ายไปขวามีจำนวน 5 แผ่น) โดยใช้พื้นที่ขนาดความกว้าง 5 เมตร ยาว 2 เมตร ซึ่งจะสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งวัน อีกทั้งยังเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง วสท. 022013-59 เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ด้านมุมมองการติดตั้งเมื่อเทียบกับทิศใต้ (True South) ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ [1] ทำการเชื่อมต่อวงจรของแผงโซลาร์เซลล์นั้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ที่แผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผงจะมีขั้วที่แตกต่างกันคือ มีขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ทำให้เวลาที่ต่อแผงนั้นต้องคำนึงถึงการออกแบบการใช้งาน โดยจะต่อในลักษณะวงจรอนุกรม คือนำขั้วบวก (+) แผงที่ 1 ไปเข้าขั้วลบ (-) ของแผงที่ 2 และนำขั้วบวก (+) ของแผงที่ 2 ไปเข้าขั้วลบ (-) ของแผงที่ 3 จนครบจำนวน 5 แผง เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูง แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันตลอด



รูปที่ 4 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาเมทัลชีต

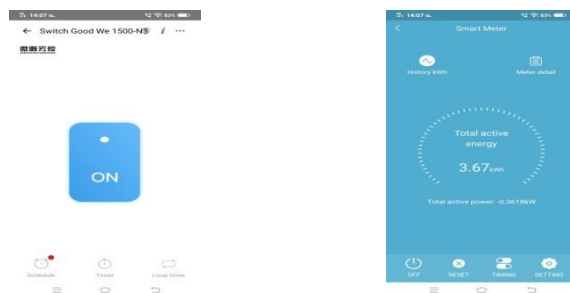
หลังติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ในการเริ่มต้นใช้งานควรตรวจสอบการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าภายในบ้าน โดยนำสายสัญญาณไฟฟ้าไปต่อกับขั้วไลน์ (L) และขั้วนิวตรอน (N) ของตู้ควบคุมภายในบ้าน โดยต่อไลน์ (L) พ่วงกับลูกเซอร์กิต และต่อสายนิวตรอน (N) เข้ากับบาร์นิวตรอน ดังรูปที่ 5 ส่วนสายสัญญาณการป้องกันการย้อนของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ CT (Current Transformer) นำไปคล้องที่สายไฟหลักเส้นไลน์ (L) ที่มาจากการไฟฟ้า



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบการไฟฟ้า

การใช้งานเริ่มต้นโดยทำการเปิดสวิตช์เบรกเกอร์ควบคุมการทำงานทางฝั่งไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในกล่องควบคุมไปที่ตำแหน่ง "On" เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้สามารถส่งงานผ่านทางแอปพลิเคชันได้ ดังรูปที่ 6 หลังจากนั้นทำการเปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานทางฝั่งไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไปที่ตำแหน่ง "On" เพื่อรับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์ เปิดระบบให้อินเวอร์เตอร์ทำงาน สังเกตสถานะมอนิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับจะแสดงค่าปริมาณค่าแรงดัน ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จะมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา

ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์จะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการทำงาน โดยระบบ ยังสามารถตั้งเวลาการทำงานเพื่อเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าในเวลาเช้า 08.00 น. และตัดการเชื่อมต่อบนระบบ ฯในตอนเย็นหลังเวลา 17.00 น. หรือสามารถตัดการเชื่อมต่อในช่วงเวลาที่มีเหตุจำเป็น เช่น มีฝนฟ้าคะนอง ปิดระบบเพื่อการซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านทางแอปพลิเคชันด้วยอุปกรณ์ Power Smart Energy Meter เพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบปริมาณไฟฟ้า



รูปที่ 6 การสั่งงาน และตรวจสอบระบบการทำงานผ่านทางแอปพลิเคชัน

2. ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน

การทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน พบว่า การทดสอบดำเนินงานโดยการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 32-35 องศาเซลเซียส บันทึกปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และปริมาณความเข้มแสงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ และปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) กำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานสะสมทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) หลังผ่านอินเวอร์เตอร์ เพื่อตรวจสอบปริมาณพลังงานที่ได้เฉลี่ยใน 1 วัน ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรงดัน (โวลต์)	ค่ากระแส (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความเข้มแสง (ลักซ์)
08.00 น.	175.77	1.90	333.96	28,595
09.00 น.	175.41	4.01	702.07	38,963
10.00 น.	167.32	6.79	1,135.04	49,107
11.00 น.	166.27	7.13	1,188.10	50,951
12.00 น.	170.58	7.03	1,201.80	51,162
13.00 น.	164.27	8.73	1,432.76	57,015
14.00 น.	161.59	8.62	1,392.47	56,407
15.00 น.	164.29	6.83	1,121.39	49,625
16.00 น.	166.91	5.02	838.29	40,671
17.00 น.	164.94	2.97	491.67	30,654

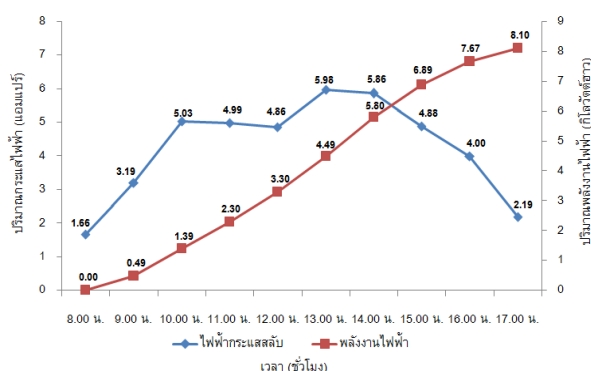
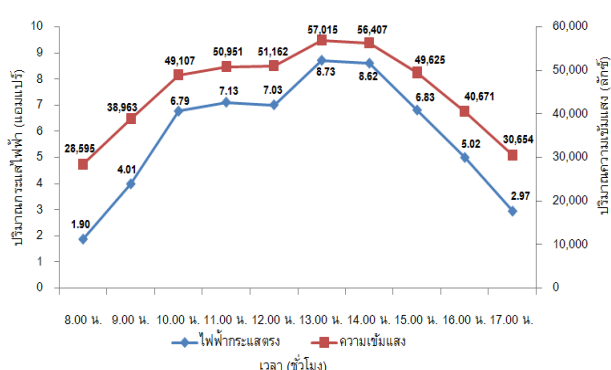
ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือนทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) พบว่า ค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา โดยปริมาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 161.59 ถึง 175.77 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ (MPPT Voltage Range) ในช่วง 80 ถึง 450 โวลต์ ซึ่งเมื่อเริ่มต้นระยะเวลา 08.00 น. ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ยังมีปริมาณน้อย โดยเฉลี่ยเท่ากับ 28,595 ลักซ์ มีค่าค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 175.77 โวลต์ 1.90 แอมแปร์ และ 333.96 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แนวโน้มความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก สามารถวัดค่าปริมาณความเข้มแสงได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 57,015 ลักซ์ มีค่าค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 164.27 โวลต์ 8.73 แอมแปร์ และ 1,432.76 วัตต์ ตามลำดับ เนื่องมาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ ส่งผลให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพ และจะมีค่าเฉลี่ยแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาหลังจาก 14.00 น. ดังภาพที่ 8 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพาลาโบลา ซึ่งค่าปริมาณความเข้มแสงจะอยู่ในช่วงสูงตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. โดยหากปริมาณความเข้มแสงสูง แผงโซลาร์เซลล์ก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาปริมาณมากเช่นกัน สอดคล้องกับ [7] ได้ศึกษาพัฒนาระบบปั๊มลมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานปั๊มลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ภาชนะบรรจุลมขนาด 36 ลิตร ติดตั้งมอเตอร์ไม่มีชุดแปลงถ่าน (Brushless DC Motor) 24 โวลต์ 350 วัตต์ ขนาด 500 รอบ ขับด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 325 วัตต์ จำนวน 1 แผง ทดสอบการทำงานในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง วัดปริมาณความเข้มแสง ปริมาณแรงดันไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ และปริมาณความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยช่วงเวลาการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือช่วงเวลา 13.00 น. ใช้ระยะเวลาการบรรจุลมในภาชนะขนาด 36 ลิตรด้วยเวลา 7.42 นาที ด้วยแรงดัน 36.85 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 7.23 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 259.26 วัตต์ และความเร็วรอบ 426.80 รอบต่อนาที

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรงดัน (โวลต์)	ค่ากระแส (แอมแปร์)	ค่าเพาเวอร์ เฟคเตอร์ (PF)	ค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh)
08.00 น.	233	1.66	0.95	367.37	0.00
09.00 น.	235	3.19	0.98	747.78	0.49
10.00 น.	235	5.03	0.99	1,166.09	1.39
11.00 น.	235	4.99	0.98	1,167.72	2.30
12.00 น.	236	4.86	0.98	1,202.54	3.30
13.00 น.	236	5.98	0.99	1,399.03	4.49
14.00 น.	236	5.86	0.99	1,360.88	5.80
15.00 น.	236	4.88	0.99	1,138.45	6.89
16.00 น.	235	4.00	0.98	810.89	7.67
17.00 น.	235	2.19	0.95	511.41	8.10

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือนทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) พบว่า ค่าปริมาณแรงดันเฉลี่ยตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 08.00 น.-17.00

น. อยู่ในช่วง 233-236 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าปกติที่อินเวอร์เตอร์ทำงาน (Nominal Output Voltage) ในช่วง 220-240 โวลต์ โดยค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นเวลา 08.00 น. ที่ระดับ 1.66 แอมแปร์ ค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์ 0.95 ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 367.37 วัตต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยสามารถวัดค่าปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. ที่ระดับ 5.98 แอมแปร์ เนื่องจากมีปริมาณความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์สูงสุด เนื่องมาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ ทำให้สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้ามากที่สุดที่ระดับ 1,399.03 วัตต์ ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าสะสมต่อชั่วโมงเท่ากับ 4.49 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (KWh) โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด (Max. Output Current) ที่ระดับ 7.5 แอมแปร์ [2] โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณลดลงหลังจากระยะเวลา 14.00 น. เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ดังภาพที่ 9 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพาลาโบลา และยังได้ค่าปริมาณพลังงานสะสมตลอดทั้งวันเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (KWh) หรือ 8.10 ยูนิต์ต่อวัน หรือปริมาณ 243 ยูนิต์ต่อเดือน โดยหากปริมาณความเข้มแสงมาก อินเวอร์เตอร์ก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพเช่นกัน



ภาพที่ 8 ปริมาณไฟฟ้ากระแสตรง และปริมาณความเข้มแสง ภาพที่ 9 ปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับ และปริมาณพลังงานไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน พบว่า ในช่วงเริ่มต้นค่าปริมาณความเข้มแสงจะผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อทางด้านอินพุตขาเข้า (DC) และทางด้านเอาต์พุตขาออก (AC) โดยในช่วงเวลาเริ่มต้น 08.00 น. ปริมาณความเข้มแสงที่ระดับ 28,595 ลักซ์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ได้ 1.90 แอมแปร์ และเมื่อผ่านเข้าอินเวอร์เตอร์จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสลับได้ 1.66 แอมแปร์ และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกส่งผลให้ช่วงเวลา 13.00 น. ปริมาณความเข้มแสงที่ระดับ 57,015 ลักซ์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับมีค่า 8.73 และ 5.98 แอมแปร์ ตามลำดับ โดยใน 1 วัน สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 8.10 หน่วยต่อวัน หรือ 243 หน่วยต่อเดือน โดยจะสามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าต่อเดือนได้ 850-1,050 บาทต่อเดือน เหมาะสมกับการใช้งานในระดับครัวเรือนที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนัก ที่ระดับ 1,500-1,800 บาทต่อเดือน โดยประสิทธิภาพของระบบ ยังสามารถทำงานได้เต็มกำลังการผลิตของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากแผง โซลาร์เซลล์เป็นชนิด Super Poly Half Cell จำนวน 144 Cells ซึ่งสามารถลดการสูญเสียจากเงาบังได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมที่มีจำนวน 72 Cells อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกลได้อีกด้วย สอดคล้องกับ [8] ได้ทำการศึกษาระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สำนักวิทยบริการ เพื่อลดค่าไฟฟ้าถูกออกแบบให้เป็นระบบพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา ระบบประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 200 วัตต์ จำนวน 80 แผ่น ติดตั้งทำมุมเอียงไปทางทิศใต้ 15 องศา และอุปกรณ์ กริดไทอินเวอร์เตอร์ ขนาด 20 กิโลวัตต์ ระบบนี้ติดตั้งขนาด 16 กิโลวัตต์ เป็นแบบออนกริดต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าในสำนักวิทยบริการ พบว่า กำลังไฟฟ้าประมาณ 57.6 กิโลวัตต์ (หน่วย)/วัน หรือ 1,728 หน่วย/เดือน หรือ 20,736 หน่วย/ปี ลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 288 บาท/วัน หรือ 8,640 บาท/เดือน หรือ 103,680 บาท/ปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาทต่อหน่วย) คืนทุนภายในประมาณ 7.3 ปี หรือ 7 ปี 4 เดือน 4) ระบบนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับอาคารอื่นๆ ในเวลากลางวันเพื่อลดค่าไฟฟ้า

5. สรุปและอภิปรายผล

ปริมาณความเข้มแสงจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ฯ โดยจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ปริมาณสูงสุดทางฝั่งขาเข้า และขาออกมีค่าเท่ากับ 8.73 และ 5.98 แอมแปร์ ตามลำดับ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 หน่วยต่อวัน หรือ 243 หน่วยต่อเดือน สามารถลดปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าต่อเดือนโดยเฉลี่ยลงได้ 850-1,050 บาทต่อเดือน เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 3 เดือน เท่ากับ 393 หน่วยต่อเดือน จะสามารถลดปริมาณกระแสไฟฟ้าได้เหลือ 150 หน่วยต่อเดือน หรือจำนวนร้อยละ 38.17 เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กที่มีความต้องการกระแสไฟฟ้าไม่มากนัก เหมาะสมกับการใช้กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่

6. ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในที่ไม่มีเงาบังต้นไม้ สิ่งกีดขวางใด ๆ เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลง
2. ควรศึกษาอุปกรณ์สำหรับงานติดตั้ง โดยใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน เนื่องจากระบบ ฯ มีปริมาณแรงดันสูง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมให้สามารถเก็บกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา”. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2561.
- [2] กู๊ดวี. (2563, กุมภาพันธ์. 20). คู่มือการใช้งาน NS/DNS Series User Manual, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://en.goodwe.com/downloads.asp>
- [3] นครินทร์ รินผล. “คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น”, กรุงเทพฯ: จรัสสินทวงศ์การพิมพ์; 2559.
- [4] เมคาช็อป. (2563, กุมภาพันธ์. 24). วัดดีมีเตอร์ วัดดีฮาร์มิเตอร์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.mechashop.com/store/product/view.html>
- [5] ภัทรเมธากิจ. (2563, กุมภาพันธ์. 19). CT วัดกระแส (Measuring Current Transformer) หม้อแปลงกระแสสำหรับเครื่องมือวัด, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.pmk.co.th/shop>
- [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2563, กรกฎาคม. 20). อัตราค่าไฟฟ้า-การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.pea.co.th/Portals/0/demand_response/Electricity%20Reconsider.pdf?ver=2018-10-01-155123-370
- [7] ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสตงค์. “ระบบปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก”. วารสารวิจัยไร่ไพพรรณี, 14(2), 2563, หน้า 43-54.
- [8] สมบัติ นพจนสุภาพ. “ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดค่าไฟฟ้าสำนักวิทยบริการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี”. PULNET Journal, 4(2), 2560, หน้า 194-205.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน

DEVELOPMENT OF CHARCOAL BRIQUETTE FROM THE CANE LEAVES AND THE BAGASSE TO COMMUNITY ENTERPRISE

ธนรัตน์ ยอดดำเนิน^{1*} เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์²

Thanirat Yoddamnern,^{1*} Soawalak Yotwinyuwong²

^{1,2} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

^{1,2} Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

* Corresponding author E-mail : thanirat@kpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน ซึ่งในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งนี้ได้ดำเนินการตั้งแต่การหาสร้างชุดผลิตถ่านอัดแท่ง ประกอบด้วยเตาเผา 200 ลิตร ชุดบดผงถ่าน ชุดผสมผงถ่าน เครื่องอัดถ่านแท่ง ตลอดจนการหาอัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย การหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ และศึกษาต้นทุนในการผลิต ใช้อัตราส่วนผสมจากใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ และแป้งมันสำปะหลัง ทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง คือ 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 และ 70:10:20 อัตราส่วนผสมที่ 1 - 5 ตัวอย่างตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 คือ ใบอ้อยและชานอ้อย 70%, น้ำ 10% และแป้งมันสำปะหลัง 20% ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4,591.80 cal/g และมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสูงสุดประมาณ 46.5% หากขายสู่ท้องตลาดสามารถสร้างรายได้ 86,400 บาทต่อปี

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่ง, ใบอ้อย, ชานอ้อย, ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน

Abstract

This research is to study the development of briquette charcoal from sugarcane leaves and bagasse to community enterprises. Which in the production and development of briquette charcoal, has been carried out since the founding of a briquette production unit. Consisting of a 200 liter kiln, charcoal powder grinder, charcoal powder batching machine, charcoal briquette machine. As well as finding the suitable rate of the charcoal briquette mixture from sugarcane leaves and bagasse Determination of thermal efficiency of briquette charcoal Analysis of economic data and study production costs. Using the ratio of sugarcane leaves and bagasse, water and tapioca flour. Test 5 samples. The mixture between sugarcane leaves and bagasse, tapioca water, is 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 and 70:10:20 mixing ratio 1 - 5 samples, respectively. It was found that the sample ingredient ratio 1 is 70% sugarcane and bagasse, 10% water and 20% cassava flour. The calorific value is 4,591.80 cal/g. And has the highest thermal efficiency of charcoal briquette from sugarcane leaves and bagasse up to approximately 46.5%. If sold to the market, can generate an income of 86,400 baht per year.

Keywords: briquette charcoal, sugarcane leaves, bagasse, thermal efficiency

1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันนับเป็นปัญหาระดับโลก ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป หรือพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยชะลอปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงนอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน ปัจจุบันการใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ลม น้ำแสงอาทิตย์ คลื่นและชีวมวลจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่มีความสนใจในปัจจุบัน

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบเป็นสิ่งมีชีวิตหรือเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรืออินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ไม้ยืนต้นพืชที่มีส่วนประกอบเป็นแป้งและน้ำตาล วัชพืชบกและน้ำ ของเสียจากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการทำการเกษตร มูลสัตว์ ตลอดจนขยะที่มีอยู่ทั่วไป พลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวล โดยอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา พลังงานชีวมวลจัดเป็นพลังงานการหมุนเวียนประเภทหนึ่งโดยเป็นการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทางอ้อม พืชที่มีคลอโรฟิลล์จับเป็นพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเพื่อไปใช้ในการสร้างอาหารจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่าการสังเคราะห์แสง วัฏจักรของการผลิตพืชหรือชีวมวลเป็น วัฏจักรหมุนเวียน ดังนั้นไม่ว่าจะนำพืชไปไว้ใช้เป็นอาหารหรือพลังงานตลอดก็ตาม ถ้าปริมาณการใช้สมดุลกับการเกิดชีวมวลใหม่เราจะมีชีวมวลไว้ใช้ตลอดไปแต่แนวทางดังกล่าวอาศัยธรรมชาติเพียงอย่างเดียวไม่ได้ เนื่องจากจำนวนประชากรในโลกมีเพิ่มมากขึ้น จึงมีการจัดการของมนุษย์เพื่อเร่งการผลิตชีวมวลให้เพียงพอกับความต้องการ เป็นต้น (สุธีระ ประเสริฐ, 2543, หน้า 247-266)

ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนอีกแบบหนึ่งที่มีความนิยมในปัจจุบันถ่านอัดแท่งสามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติได้เป็นอย่างดี และสนองนโยบายการอนุรักษ์ธรรมชาติ สามารถผลิตจากวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา ทั้งนี้ถ่านอัดแท่งได้รับความนิยมในภัตตาคาร ร้านอาหาร เนื่องจากให้พลังงานสูงและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าถ่านไม้ทั่วไป

จังหวัดกำแพงเพชรเป็นจังหวัดที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่มีผลผลิตจากการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาสร้างเศรษฐกิจชุมชนและเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีพของชุมชนอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้กับจังหวัดกำแพงเพชรเป็นอย่างมากสังเกตจากโรงงานน้ำตาล สมาคมคนชาวไร่อ้อย โดยใบอ้อยและชานอ้อยเป็นชิ้นส่วนที่เหลือจากการทำประโยชน์ที่ถูกทิ้งกองเหมือนขยะรอวันย่อยสลาย หรือเผาทิ้ง ทำให้เกิดมลพิษค่าฝุ่น PM2.5 ทำลายสุขภาพส่งผลให้แสบตา ปิดบังวิสัยทัศน์ในการขยายพาหนะ และทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจสะสมภายในปอดจนอาจเสียชีวิตได้ ขยะชีวมวลดังกล่าวสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของถ่านอัดแท่งได้ ซึ่งการปลูกอ้อยในจังหวัดกำแพงเพชรมีประมาณ 450,000 ไร่ (สมาคมชาวไร่อ้อยจังหวัดกำแพงเพชร)

จากการวิเคราะห์อัตราการเผาอ้อยคณะผู้วิจัยพบว่า ปริมาณธาตุที่ได้จากการเผาอ้อยมีประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่ต้องใช้ในการทำถ่านอัดแท่งมีปริมาณอัตราสูงถึงร้อยละ 41.6 (ภัทรภรณ์ แซ่เตี๋ย, 2555, หน้า 53) สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่งได้เป็นอย่างดีจากผลสำคัญดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน การหาความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยเพื่อศึกษาและหาประสิทธิภาพต่าง ๆ ของถ่านอัดแท่ง เพื่อช่วยลดปัญหาการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า โดยการนำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มาทดแทนถ่านไม้

<http://jeet.siamtechu.net>

ธรรมดาและสามารถช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อนด้วยและเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเลือกใช้ถ่านและเป็นการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ได้อย่างมีคุณค่า

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย อัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่ง หาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยตามกรอบของวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) สร้างและหาประสิทธิภาพชุดผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย 2) หาอัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย 3) หาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง และ 4) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การสร้างเตาเผา 200 ลิตร

โดยการเตรียมถังน้ำมัน 200 ลิตร มาทำความสะอาด จากนั้นดัดแปลงฝาปิดโดยเชื่อมต่อกับท่อเป็นปากปล่อง ดัดแปลงกันถังให้เป็นรูสำหรับเติมลมจากด้านล่าง ทำฐานเหล็กเส้นไว้สำหรับมารองกันถังจากภายในเพื่อรองรับน้ำหนักและจัดเรียงใบอ้อยและชานอ้อยที่จะนำมาเผา ทำท่อปล่องควันจากฐานเตาผ่านแกนประคองกลางถึงขึ้นมายังปากถังด้านบน



(ก) ปากปล่องเตาเผา



(ข) รูก้นเตาเผา



(ค) ฐานรองกันเตาเผา



(ง) แกนประคองท่อปล่องควันเตาเผา



(จ) ท่อปล่องควันเตาเผา



(ฉ) เตาเผา 200 ลิตร

รูปที่ 1 การสร้างเตาเผา 200 ลิตร

3.2 การใช้ถ่านเตาเผา 200 ลิตร

การเผาถ่านโดยใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตร เป็นวิธีการเผาที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่ง และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การเผาถ่านในแบบแนวตั้งในแต่ละครั้งจะได้ถ่านประมาณ 15 กก. และเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ถึง 5 ลิตร

- 1) วางเตาเผา 200 ลิตร บนฐานที่ทำมาจากการเรียงอิฐมอญ เป็นช่องลมที่พร้อมสำหรับเติมอากาศเข้าไปจากด้านล่างสำหรับควบคุมอัตราการเผาไหม้ภายในเตา
- 2) จัดเรียงใบอ้อยและชานอ้อยที่ตากไว้จนแห้งไม่น้อยกว่า 3-4 วัน มาเรียงภายในเตาเผา
- 3) จุดไฟที่ปากเตาเพื่อเริ่มต้นเผาถ่าน ระวังตำแหน่งของกองไฟหน้าเตาไม่ให้เข้าใกล้เตาจนเกินไป ตำแหน่งที่เหมาะสมคือประมาณ 1 ฟุต ปล่องให้อากาศร้อนเท่านั้นที่ไหลเข้าไปในเตา
- 4) ตักเก็บน้ำส้มควันไม้ทางปล่องที่ควันออก โดยสังเกตจากสีของควัน
 - 4.1) ควันสีขาว จะเป็นช่วงการระเหยของไอน้ำจากภายในเนื้อไม้
 - 4.2) ควันเริ่มเปลี่ยนสีที่ไม่ใช่สีขาว เป็นช่วงอุณหภูมิที่ปากปล่องช่วงนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 80 – 120 องศาเซลเซียส ให้ตักเก็บน้ำส้มควันไม้ ทั้งนี้ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ปลอดภัยจากสารทาร์ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
- 5) สังเกตว่าไม่มีควัน ออกมาจากปากปล่องอีก ให้ทำการอุดปากเตาและปากปล่องด้วยดินเหนียวรวมทั้งรอยรั่วอื่น ๆ จนควันไม่สามารถเล็ดลอดออกมาและไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาได้โดยเด็ดขาด
- 6) ใบอ้อยใช้เวลาเผา 20-30 นาที ส่วนชานอ้อยใช้เวลาเผาประมาณ 50-60 นาที
- 7) ทิ้งเตาไว้ 2-3 ชั่วโมง เตาจะเย็นลงจนสามารถเปิดเตานำถ่านออกมาได้
- 8) ใน 1 เตาจะได้ถ่านประมาณ 2 กิโลกรัมเนื่องจากวัสดุดิบมีน้ำหนักเบา



รูปที่ 2 ถ่านใบอ้อยและชานอ้อย

3.3 การสร้างเครื่องบดผงถ่าน

- 1) เตรียมครกหิน ใช้ในการบดถ่านจากใบอ้อยและชานอ้อยแบบหยาบ
- 2) เตรียมเครื่องปั่นอเนกประสงค์ ใช้ในการปั่นถ่านแบบละเอียด



(ก) ครกหินสำหรับบดหยาบ



(ข) เครื่องปั่นอเนกประสงค์สำหรับบดละเอียด

รูปที่ 3 ชุดบดผงถ่าน

3.4 การใช้งานเครื่องบดผงถ่าน

- 1) ใส่ถ่านที่ได้จากใบอ้อยและชานอ้อยลงครกหิน
- 2) ตำถ่านให้แตกจากชิ้นใหญ่ ๆ ให้อยู่ในสภาพแตกเป็นเสี่ยง ๆ แบบหยาบ
- 3) นำผงถ่านที่ได้จากการตำของครกหินมาใส่เครื่องปั่นอเนกประสงค์
- 4) ปั่นถ่านในเครื่องปั่นอเนกประสงค์จนละเอียด



(ก) ผงถ่านแบบหยาบ



(ข) ผงถ่านแบบละเอียด

รูปที่ 4 ผงถ่าน

3.5 การสร้างและใช้งานชุดผสมผงถ่าน

- 1) นำใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง ชั่งให้น้ำหนักตามตัวอย่างส่วนผสม



รูปที่ 5 การชั่งใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง

- 2) นำใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง คลุกเค้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 6 คลุกเค้าส่วนผสมทั้งหมด

- 3) ส่วนผสมที่คลุกเค้าเข้ากันพร้อมใช้งาน



รูปที่ 7 ผงถ่านที่ผสมแล้ว

3.6 การสร้างเครื่องอัดถ่านแท่ง

- 1) เตรียมฐานสำหรับวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงบนแท่น
- 2) เตรียมและติดตั้งปล่องสำหรับใส่ผงถ่านที่ผสมแล้วสู่การอัดแท่ง

<http://jeet.siamtechu.net>

- 3) เตรียมและติดตั้งเกลียวสำหรับการอัดแท่งถ่าน
- 4) เตรียมและติดตั้งมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า สำหรับหมุนส่งกำลังผ่านสายพานและระบบเฟืองไปยังเกลียวอัดแท่งถ่าน
- 5) เตรียมและติดตั้งสายพานและระบบเฟือง เข้ากับมอเตอร์และเกลียวอัดแท่งถ่าน
- 6) เตรียมและติดตั้งกล่องควบคุมการทำงาน
- 7) เตรียมและติดตั้งล้อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- 8) เครื่องอัดถ่านแท่งที่พร้อมใช้งาน



(ก) ฐานเครื่องอัดถ่าน



(ข) ปล่องสำหรับใส่ผงถ่าน



(ค) มอเตอร์



(ง) เกลียวอัดแท่งถ่าน



(จ) สายพานและระบบเฟือง



(ฉ) แผงควบคุม



(ช) ล้อ



(ซ) เครื่องอัดถ่านแท่ง

รูปที่ 8 การสร้างเครื่องอัดถ่านแท่ง

3.7 การหาอัตราส่วนผสมเหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อย

การหาอัตราส่วนผสมระหว่างใบอ้อยกับขานอ้อยที่เหมาะสมในการทำอัดแท่ง คณะผู้วิจัยได้กำหนดส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและขานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง ที่ได้ศึกษาส่วนผสมจาก (ปิยะโชติ แทนจะโป๊ะ, 2554, หน้า 40) ซึ่งได้ทำการวิจัย แล้วนำมาเป็นแนวทางกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและขานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 7 อัตราส่วน ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมระหว่างปริมาณใบอ้อยและขานอ้อยต่อปริมาณแป้งและน้ำ

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)		
	ใบอ้อยและขานอ้อย	น้ำ	แป้งมันสำปะหลัง
1	30	10	60
2	40	10	50
3	50	10	40
4	60	10	30

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)		
	ใบอ้อยและชานอ้อย	น้ำ	แป้งมันสำปะหลัง
5	70	10	20
6	80	10	10
7	85	10	5

3.8 ทดสอบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง

คณะผู้วิจัยได้หาค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยโดยลำดับขั้นตอน ดังนี้

- 1) การหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย
- 2) คัดถ่านอัดแท่งตามส่วนผสมที่ 1-5 ที่คงรูปและแห้งแล้วมาทดสอบ (ส่วนผสมที่ 6-7 เนื้อแตกขึ้นรูปไม่ได้)

3) ทดสอบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง

3.1) การหาค่าความร้อน นำถ่านอัดแท่งบางส่วนของอัตราส่วนผสมทั้ง 5 ตัวอย่าง ส่งไปทำการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย โดยภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น
ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วันที่ 25 พฤษภาคม 2559

สารทดสอบ: ถ่านผสมขอมเปี่ยม ผงถ่านและน้ำ
เครื่องทดสอบ: Bomb Calorimeter
ผู้ขอรับบริการ: จิราวัฒน์ ชันโซก

สรุปผลการทดสอบดังนี้

ลำดับ	ชื่อสารทดสอบ	ค่าความร้อน(cal/g)
1	ตัวอย่างที่ 1	3,469.81
2	ตัวอย่างที่ 2	3,111.88
3	ตัวอย่างที่ 3	3,614.64
4	ตัวอย่างที่ 4	4,388.02
5	ตัวอย่างที่ 5	4,591.80

ลงชื่อ.....ผู้ทดสอบ
(นายสมจิต ชื่นใจ)
ลงชื่อ.....ผู้ทดสอบ
(น.ส.พนิศา บุญเกิด)
ลงชื่อ.....ผู้ตรวจ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุชา พรหมวงษา)

รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

3.2) การหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน นำถ่านอัดแท่งทั้ง 5 ตัวอย่าง มาทำการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน ตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ นำหม้อน้ำที่เตรียมไว้ขึ้นตั้งบนเตาไฟ จดอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 3 นาที เมื่อน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 เปลี่ยนกระโถสแตนเลสใหม่ จดอุณหภูมิทุกๆ 3 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำไม่เพิ่มขึ้น ดังสมการ

$$\mu = \frac{n[ms(t_2 - t_1) + (t_3 - t_1)]}{wq} * 100\% \quad (1)$$

เมื่อ μ คือ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (%)

w คือ น้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

q คือ ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง (แคลอรีต่อกรัม)

m คือ น้ำหนักของน้ำในกระต๋สแตนเลส (กรัม)

n คือ จำนวนครั้งที่ทำให้น้ำเดือด (ครั้ง)

s คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 แคลอรีต่อกรัมองศาเซลเซียส

t_1 คือ อุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก (องศาเซลเซียส)

t_2 คือ อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

t_3 คือ อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของกระต๋สแตนเลสหลังสุด (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 10 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อย

ในการศึกษาต้นทุนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อยผู้วิจัยได้ศึกษาหาข้อมูลในการวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ต้นทุนโดยทำวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน การคำนวณต้นทุนแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านดังต่อไปนี้ (ธารินี มหายศนันท์, 2548)

1) ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่แปรไปตามระดับกิจกรรมต่างๆ เช่น ต้นทุนของเครื่องจักรที่ซื้อมา ค่าเช่าที่ดิน ค่าอาคารโรงเรือน และค่าติดตั้ง เป็นต้น

2) ต้นทุนผันแปร คือ ต้นทุนที่แปรตามระดับกิจกรรม เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรงงานค่าพลังงาน (น้ำมันไฟฟ้า) ต้นทุนผันแปรนี้จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนหน่วยกิจการคือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องจ่ายจริง แต่ต้องเสียไปเนื่องจากการใช้ทรัพยากร

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพชุดผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อย

4.1.1 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ในระยะเวลาในการเผาถ่านจากใบอ้อยอยู่ในระยะเวลาที่ 20 – 40 นาที ส่วนถ่านจากขานอ้อยที่ผ่านการเผาแล้วใช้ได้อยู่ในระยะเวลาการเผาที่ 40 – 60 นาที จากผลดังกล่าวเห็นว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านจากใบอ้อยและขานอ้อยอยู่ที่เวลา 40 นาที โดยมีลักษณะถ่านใบอ้อยเริ่มและติดมือ เนื้อผงละเอียด ถ่านขานอ้อยเนื้อด้านนอกสุกแข็ง ด้านในสุกแข็ง

4.1.2 ชุดบดผงถ่าน การบดผงถ่านให้ได้ตามที่ต้องการนั้นในระยะเวลา 5 นาที สามารถบดได้ครั้งหนึ่งได้ถึง 1.5 กิโลกรัมต่อการบด 1 ครั้ง ซึ่งหากบดครั้งละน้อย ๆ จะทำให้ใช้ระยะเวลาในการบดน้อยลงตามไปด้วย

4.1.3 ชุดผสมผงถ่าน ในการบดผงถ่านให้ได้ตามที่ต้องการนั้นในระยะเวลา 5 นาที สามารถบดได้ครั้งหนึ่ง ได้ถึง 1.5 กิโลกรัมต่อการบด 1 ครั้ง ซึ่งหากบดครั้งละน้อย ๆ จะทำให้ใช้ระยะเวลาในการบดน้อยลงตามไปด้วย

4.1.4 เครื่องอัดถ่านแท่ง ในช่วงการอัดถ่านก้อนแรก เครื่องอัดจะไล่ส่วนผสมมาอัดถ่านไม่แน่น โดยจะใช้เวลานานกว่าปกติเพื่ออัดถ่านให้ได้คุณภาพคงที่ไม่แตก เฉลี่ยแล้วถ่านอัดแท่ง 1 ก้อนจะใช้เวลาที่ประมาณ 6 วินาที ซึ่งหากจับเวลาภายในระยะเวลา 1 นาทีจะได้ถ่านอัดแท่งจำนวน 9 - 11 ก้อนต่อนาทีโดยเฉลี่ย

4.2 ผลการหาอัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง

คณะผู้วิจัยได้นำถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง จำนวน 7 ตัวอย่าง มาอัดเป็นถ่านอัดแท่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าแต่ละตัวอย่าง มีลักษณะแตกต่างกันดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการหาอัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม (100%)			ผลการศึกษา		
	ใบอ้อยและชานอ้อย	น้ำ	แป้งมันสำปะหลัง	หลังอัด	หลังตาก	ลักษณะทางกายภาพหลังตาก
				ความสามารถในการขึ้นรูป	ความสามารถในการคงรูป	
1	30	10	60	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
2	40	10	50	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
3	50	10	40	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
4	60	10	30	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
5	70	10	20	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
6	80	10	10	ขึ้นรูปไม่ได้	ไม่คงรูป	ไม่เป็นแท่งและแตก
7	85	10	5	ขึ้นรูปไม่ได้	ไม่คงรูป	ไม่เป็นแท่งและแตก

อัตราส่วนผสมทั้ง 7 ตัวอย่างสามารถอัดออกมาเป็นถ่านอัดแท่งได้ โดยมีลักษณะผิวละเอียดทั้งหมด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, และ 5 ส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง คือ 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 และ 70:10:20 อัตราส่วนทั้ง 5 ตัวอย่างตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ 6 และ 7 ไม่สามารถขึ้นรูปได้และแตกหลังการตากแห้ง จึงไม่สามารถนำมาเป็นอัตราส่วนผสมและหาประสิทธิภาพทางความร้อนได้



(ก) ตัวอย่างที่ 1



(ข) ตัวอย่างที่ 2



(ค) ตัวอย่างที่ 3



(ง) ตัวอย่างที่ 4



(จ) ตัวอย่างที่ 5



(ฉ) ตัวอย่างที่ 6



(ช) ตัวอย่างที่ 7

รูปที่ 11 ลักษณะของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อยที่ขึ้นรูปแต่ละอัตราส่วนผสม

4.3 ผลการหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อย

ผลการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อยต้องมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันหรือมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มผช. ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม พบว่า อัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 คือ ใบอ้อยและขานอ้อย 70%, น้ำ 10% และแป้งมันสำปะหลัง 20% มีค่าความร้อนเพียง 4,591.80 cal/g ซึ่งสูงที่สุดในตัวอย่างอัตราส่วนผสมทั้งหมด ตัวอย่างที่ 5 มีค่าความร้อนสูงที่สุดจากทั้ง 5 ตัวอย่าง ซึ่งหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน ตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งยกตัวอย่างที่ 5 ดังนี้

ตัวอย่างคำนวณอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5

กำหนด $\mu = ?$ (%), $w = 200$ g., $q = 4,591.80$ cal/g., $m = 400$ g., $n = 15$,

$s = 1$ cal/g. °C, $t_1 = 29$ °C, $t_2 = 100$ °C, $t_3 = 92$ °C

นำมาใส่ในสมการ

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{15[400(1)(100-29)+(92-29)]}{200(4,591.80)} \times 100\% \\ \mu &= \frac{15[400(71)+(63)]}{918,360} \times 100\% \\ \mu &= \frac{15[28,463]}{918,360} \times 100\% \\ \mu &= \frac{426,945}{918,360} \times 100\% \\ \mu &= 46.5\%\end{aligned}$$

∴ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งตัวอย่างที่ 5 เท่ากับ 46.5%

ตารางที่ 3 แสดงผลการหาค่าความร้อนและหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน

ส่วนผสม ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)			ค่าความร้อน ถ่านอัดแท่ง (cal/g)	ประสิทธิภาพการใช้งานถ่านอัดแท่ง		
	ใบอ้อย และ ชาน อ้อย	น้ำ	แป้งมัน สำปะหลัง		อุณหภูมิของ น้ำสุดท้าย (องศา เซลเซียส)	จำนวนที่น้ำ เดือด (ครั้ง)	ประสิทธิภาพ การใช้งานทาง ความร้อน (%)
1	30	10	60	3,111.88	66	7	31.9
2	40	10	50	3,469.81	70	8	32.7
3	50	10	40	3,614.64	74	10	39.3
4	60	10	30	4,388.02	80	13	42.1
5	70	10	20	4,591.80	92	15	46.5

ผลการหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย พบว่า อัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งสูงสุดประมาณ 46.5% ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 1, 2, 3, และ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง 31.9%, 32.7%, 39.3% และ 42.1% ตามลำดับ จากการนำค่าที่ได้จากการทดลองไปแทนที่ในสมการที่ (1)

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

การผลิตในระยะสั้นใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิดคือ ปัจจัยคงที่ และปัจจัยผันแปร ดังนั้น ต้นทุนการผลิตในระยะสั้นจึงมี 2 ชนิดคือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร สามารถคำนวณหาต้นทุนชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ (กิตติพงษ์ ถือสัตย์, 2547, หน้า 9)

4.4.1 ต้นทุนคงที่

ต้นทุนชนิดนี้จะมีจำนวนคงที่ตลอดไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อยแม้จะไม่ทำการผลิตเลยก็เกิดต้นทุนคงที่ต้นทุนประเภทนี้ เช่น ค่าเสื่อมของเครื่องจักร เป็นต้น

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight – line Method ดังสมการต่อไปนี้

$$DP = \frac{P-S}{L} \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) ทั้งหมดต่อปีในระยะเวลา 5 ปี โดยราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุคิดที่ 25 % ของราคาที่ซื้อมา ซึ่งราคาเต็ม คือ 1) ราคาเตาเผาถ่าน 200 ลิตร เท่ากับ 2,500 บาท 2) ราคาชุดบดผงถ่าน เท่ากับ 1,300 บาท 3) ราคาชุดบดผงถ่าน เท่ากับ 20 บาท 4) ราคาเครื่องอัดถ่านแท่ง เท่ากับ 38,000 บาท นำค่าไปแทนในสมการที่ (2) จะได้ ค่าเสื่อมราคาแต่ละชุดรวมกัน = $375+195+3+5,700 = 6,273$ บาท/ปี

2) ค่าบำรุงรักษา คิด 25% ของราคาเครื่อง ดังนั้นค่าบำรุงทั้งหมด = $(2500+1300+20+38000) * 25\% = 10,455$ บาท/ปี

4.4.2 ต้นทุนแปรผัน

ต้นทุนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนสินค้าที่ผลิต ถ้าผลิตมากจะเสียต้นทุนชนิดนี้มาก และถ้าไม่ผลิตก็ไม่เสียเลย ต้นทุนประเภทนี้ เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

ค่าเสียโอกาส คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องจ่ายจริง แต่ต้องเสียไปเนื่องจากการใช้ทรัพยากร

จุดคุ้มทุนหมายถึง จำนวนหน่วยการผลิตหรือบริการของโครงการที่ทำให้เกิดรายรับของโครงการเท่ากับ ต้นทุนของโครงการ จำนวนหน่วยที่เป็นจุดคุ้มทุนนี้โครงการจะยังไม่มีการกำไร หรือกำไรเป็นศูนย์

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน}} \quad (3)$$

ระยะเวลาการคืนทุน คือ การหาคำตอบว่าเมื่อใดหรือนานเท่าไรที่กิจการจะคุ้มทุน หรือจะเริ่มมีผลกำไรขึ้นมา

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

1) ค่าแบริ่งมันสำปะหลัง จากอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 ผลิตได้ 120 ก้อน/วัน ในหนึ่งเดือนทำการผลิต 20 วัน ปริมาณแบริ่งมันสำปะหลังที่ใช้ต่อวันเท่ากับ 8 ถุง ๆ ละ 15 บาท จะได้ปริมาณแบริ่งมันสำปะหลังที่ใช้ต่อปีเท่ากับ 922 กิโลกรัม/ปี เมื่อคิดเป็นค่าแบริ่งมันสำปะหลังเท่ากับ 28,800 บาท/ปี

2) ค่าชานอ้อยจากโรงสีหน้าโรงงานน้ำตาล ราคาตันละ 400 บาท ใช้ปริมาณชานอ้อยที่ใช้ 3,226 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นเงิน 1,290 บาท/ปี

4.4.3 รายได้จากการผลิต

หาได้จากราคาขายในท้องตลาดถ่านอัดแท่งราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม โดยถ่านอัดแท่งหนึ่งก้อนมีน้ำหนัก 100 กรัม อัตราการผลิตถ่านอัดแท่งได้ 120 ก้อน/วัน ต่อปีจะมีรายได้จากการผลิตเท่ากับ 86,400 บาท/ปี

สรุป เมื่อตั้งระยะเวลาจุดคุ้มทุนไว้ที่ 5 ปี และใช้ส่วนผสมถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 ผลิตเดือนละ 20 วัน สามารถหากำไรต่อปีได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{กำไรต่อปี} &= \text{รายได้ต่อปี} - (\text{ต้นทุนคงที่ต่อปี} + \text{ต้นทุนแปรผันต่อปี}) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (6,273 \text{ บาท/ปี} + (28,800 \text{ บาท/ปี} + 1,290 \text{ บาท/ปี})) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (6,273 \text{ บาท/ปี} + 30,090 \text{ บาท/ปี}) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (36,363 \text{ บาท/ปี}) \\ &= 50,037 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยนี้ ในระยะเวลา 5 ปี หักลบการต้นทุนในการผลิตจะมีรายได้มากถึง 250,185 บาท

5. บทสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย รวมถึงประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งานจากส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและหาจุดคุ้มทุนเมื่อทำเป็นวิสาหกิจชุมชน เพื่อส่งเสริมให้คนในชุมชนสามารถนำไปประกอบธุรกิจหรือสินค้า OTOP ได้ โดยชุดผลิตถ่านอัดแท่งนี้สามารถอัดแท่งถ่านได้แน่นและมีความเร็วในการอัดแท่งถ่านได้จำนวน 9 – 11 ก้อนต่อนาที อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือตัวอย่างที่ 5 ที่อัตราส่วน ถ่านใบอ้อย และชานอ้อย 70 % น้ำ 10 % แบริ่งมันสำปะหลัง 20 % มีค่าความร้อน 4,591.80 cal/g ซึ่งสูงที่สุดในตัวอย่างอัตราส่วนผสมทั้งหมดและมีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งสูงสุดประมาณ 46.5% มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 36,363 บาท/ปี ซึ่งในการผลิตสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 28,800 ก้อน/ปี หากขายท้องตลาดจะมีรายได้ 86,400 บาท/ปี หักค่าใช้จ่ายแล้วจะเหลือเงิน 50,037 บาท/ปี

ดังนั้นในระยะเวลา 5 ปี จะมีกำไรจากการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย แล้วนำไปขายอยู่ที่ 250,185 บาท และมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในด้านประสิทธิภาพและด้านเศรษฐศาสตร์เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่อำนวยความสะดวกและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อนิรุทธ กิตติพงษ์ ถือสัตย์. “การศึกษาศักยภาพทางการตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา”. วิทยานิพนธ์การจัดการมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547.
- [2] ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, นภัสวงศ์ โอสธศิลป์ และสุธีรา งานชูกิจ. “การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดผสมถ่านจากกะลามะพร้าว”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรและอุตสาหกรรมวิจัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2548.
- [3] ธาธิณี มหายศนันท์. “การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [4] ปิยะโชติ แทนจะโป๊ะ. “เทคโนโลยีการผลิตถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบผสมชานอ้อย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 2554.
- [5] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. “การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งจำมันสาปะหลัง”. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.
- [6] ศิริชัย ต่อสกุล, กุณฑล ทองศรี และจงกล สุภารัตน์. “การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [7] สุพจน์ เดชผล. “การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลากระป๋อง

PRODUCTION OF FUEL PELLETS FROM SEWAGE SLUDGE OF THE CANNED TUNA INDUSTRIES

กฤติเดช ดวงใจบุญ¹ เมตยา กิติวรรณ² ปรังค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ^{1*}

Krittidej Duangjaiboon¹ Mettaya Kittiwarn² Prangthip Rittichote Kaewpengkrow^{1*}

¹ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ (RCSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

² คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนเจริญกรุง แขวง/เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพ

¹ Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment (RCSEE), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 Moo 3 Phutthamonthon Sai 5 Rd., Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom,

² Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chalongkrung Rd. Ladkrabang District Bangkok

*Corresponding author, E-mail : prangtip.kae@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่ส่งออกและสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก แต่ในทางกลับกันก็สร้างปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการแก้ปัญหาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิต ด้วยการนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ถ่านหินในหม้อไอน้ำและยังช่วยประหยัดต้นทุนในการกำจัดของเสียได้อีกทาง โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน ต้นทุนการผลิต รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน โดยผลจากการศึกษาพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากการตะกอนน้ำเสียมีสมบัติที่เหมาะสมจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่านหินเนื่องจากมีองค์ประกอบของคาร์บอนค่อนข้างสูงและไม่มีกำมะถันเจือปน รวมทั้งมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีคือ 12.56 MJ/kg สามารถลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานได้รวม 59.58% และมีผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังต่อไปนี้คือ NPV 48,328.03 บาท, IRR 31.19%, B/C 144.64 % และระยะเวลาคืนทุนที่ 3.0 ปี

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำเสีย, ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์, ของเสียเป็นพลังงาน

Abstract

The canned tuna processing industries, It is an industry that is exported and generates a lot of income for Thailand. But on the other hand, it also creates environmental problems from the waste produced by the manufacturing process. Therefore, this research focuses on solving the problem of the utilization of sewage sludge from the production process. By being used to produce fuel pellets This can replace the use of coal in boilers and also save the cost of waste disposal. This study will focus on the physical properties, calorific heating value, and financial return of investment cost of using sewage sludge. The results of this study will be a guideline for the best utilization of waste. Both in terms of reduced costs in waste disposal and convert waste to energy. The results of the study showed that the fuel pellets produced from the sewage sludge had suitable properties to be used as a substitute for coal due to the relatively high carbon content and sulfur-free. Including having a good calorific heating value, 12.56 MJ / kg, can reduce total costs, 59.58% and have the following economic returns: NPV 48,328.03 baht, IRR 31.19%, B/C 144.64%, and the payback period is 3.0 years.

Keywords: sewage sludge, financial return, waste to energy

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอุตสาหกรรมนี้ทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมากจากการส่งออกปลากระป๋องกว่า 10 ประเทศ โดยในปี พ.ศ.2562 มีการตั้งเป้าหมายในการส่งออกคิดเป็นมูลค่า 2,501.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งสูงกว่าในปีที่ผ่านมาถึงร้อยละ 10 สะท้อนให้เห็นถึงการเติบโตในอุตสาหกรรมนี้เป็นอย่างยิ่ง ถึงแม้ว่าการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋องในประเทศจะเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม แต่กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้กลับสร้างของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งและของเหลวและมีความจำเป็นต้องถูกจัดการอย่างเหมาะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งที่ผ่านมามีความพยายามในการนำเอาของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง ได้แก่ เครื่องใน เศษเนื้อดำ หนัง หัวและก้างปลามาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อต้องการลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปบำบัดและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ของเสียด้วยการนำไปผลิตเป็นปลาป่นสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามปริมาณของเสียที่เป็นของเหลวและของแข็งที่เหลืออยู่ยังคงมีปริมาณสูง ซึ่งของเสียเหล่านี้จะถูกนำไปเข้าระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดและแยกตะกอนน้ำเสียออกจากน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สาธารณะ แต่กากตะกอนน้ำเสียที่แยกออกมานั้น ปัจจุบันยังไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ส่วนใหญ่จะถูกรวบรวมและส่งไปหน่วยงานที่รับกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย เป็นภาระค่าใช้จ่ายซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการ ที่ผ่านมาหน่วยงานภาครัฐ มีความพยายามที่จะลดต้นทุนในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวให้มีปริมาณลดลง โดยการส่งเสริมให้ความรู้ถึงการนำประโยชน์จากของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งมาแปรรูปให้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถลดปริมาณการเกิดตะกอนน้ำเสียลงได้บางส่วน และยังสามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการได้อีกทางหนึ่ง

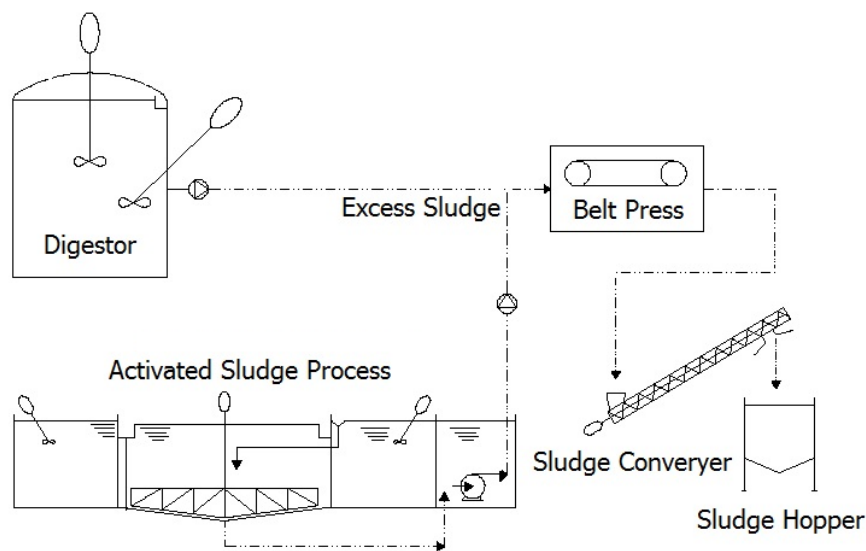
ด้วยปัญหาด้านทุนที่เกิดจากการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่ยังคงเหลือดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) มาใช้กับปัญหาดังกล่าว ด้วยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋องมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนการเชื้อเพลิงถ่านหินในหม้อไอน้ำ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน ต้นทุนการผลิต รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นับรจุระป้อง เกิดจากวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแต่การเดินระบบประเภทนี้จะต้องมีความยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

ในปัจจุบันระบบตะกอนเร่งมีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น



รูปที่ 1 Diagram ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

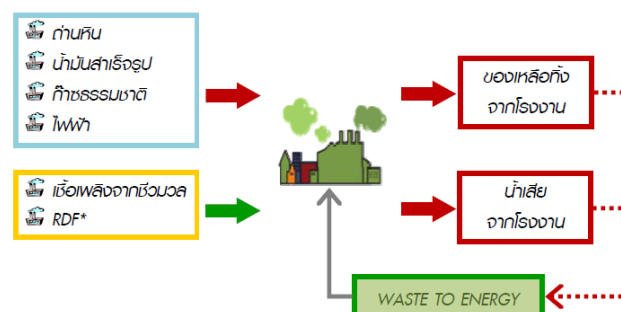
ระบบตะกอนเร่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีกากตะกอนน้ำเสียอยู่เป็นจำนวนมากตามที่ถูกแยกแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิก จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกกากตะกอนน้ำเสียออกจากน้ำใสซึ่งน้ำใสส่วนบนนี้จะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่วนกากตะกอนน้ำเสียที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่ง จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของกากตะกอนน้ำเสียในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นกากตะกอนน้ำเสียส่วนเกิน (Excess Sludge) ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปลดความชื้นและส่งไปกำจัดต่อไป



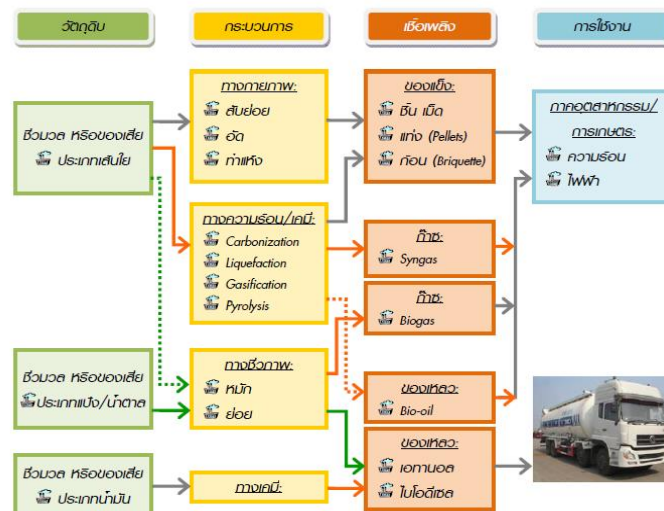
รูปที่ 2 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบตะกอนเร่ง

2.2 เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE)

ของเสียจากระบวนการผลิตปลาทุ่นบรรจุกระป๋องทั้งในส่วนน้ำเสียและกากของเสีย ยังมีเศษวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปปลาทุ่นบรรจุ และสามารถนำมาผลิตได้จนเป็นระดับอุตสาหกรรม เช่น น้ำสกัดเข้มข้นจากปลา (fish extract) น้ำมันปลา (fish oil) เจลาติน (gelatin) อาหารสัตว์เลี้ยงบรรจุกระป๋อง (canned pet food) แต่ในส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย จำเป็นจะต้องส่งไปกำจัดภายนอกโรงงาน ซึ่งต้องอาศัยหน่วยงานที่รับกำจัดโดยเฉพาะ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียนี้จึงถือภาระต้นทุนค่าใช้จ่ายให้กับโรงงาน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว การนำกากตะกอนน้ำเสียมาผลิตเป็นพลังงานจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการกำจัดของเสีย (รูปที่ 3) ซึ่งเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) สามารถแบ่งประเภทได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 การจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน (WTE : Waste to Energy)



รูปที่ 4 กระบวนการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน

- เทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment technologies : BTT)
- เทคโนโลยีการบำบัดทางความร้อน (Thermal treatment technologies : TTT)
- เทคโนโลยีการฝังกลบ (Landfill gas utilization)
- เทคโนโลยีการกลั่นเชื้อเพลิง (Biorefineries : waste-to-by-bioproducts)

2.3 เกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ของเสียที่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วกลายเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีสมบัติสูงนอกจากเกณฑ์การพิจารณา ค่าความร้อนแล้ว ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของการเผาไหม้ได้ โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูง แต่ต้องมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ในปริมาณที่ต่ำเนื่องจากทำให้เกิดของเสียในหลอมเผาไหม้ และนอกจากนี้จะต้องมีปริมาณกำมะถันที่น้อยเพื่อไม่ให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยพิจารณาจากเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง [1] จะต้องต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่าความร้อน ไม่ควรต่ำกว่า 12.52 MJ/kg
- คาร์บอนคงตัว ไม่ควรต่ำกว่า 15%
- เถ้า ไม่ควรเกิน 20%
- กำมะถันรวม ไม่ควรเกิน 2%

2.4 เชื้อเพลิงอัดเม็ด

- กระบวนการอัดเม็ด (Densification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และช่วยลดความชื้นในของเสีย ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของของเสียให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งานด้วย กระบวนการอัดเม็ดสามารถแปรรูปของเสียให้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing) อัดเป็นก้อนลูกบาศก์ (Cubing) และอัดเป็นแท่งพิน (Extruded Log)

- ประเภทของเม็ดเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

- ถ่านอัดเม็ด เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียที่เผาจนเป็นถ่านแล้วนำมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจจะนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่านก็ได้
- เชื้อเพลิงเชียว เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนถ่านอัดแท่ง

2.5 การวิเคราะห์ผลการตอบแทนของเม็ดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ด้านการเงินและการลงทุนของโครงการ กระทำได้โดยได้ทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทนด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการก่อสร้าง การศึกษาและประเมินผลตอบแทนทางการเงินและการลงทุน มีพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ในการประเมินความเหมาะสมของโครงการด้านการลงทุนดังนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการทำส่วนลดการแสดงผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบันในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit - Cost}{(1+i)^t} \quad (1)$$

- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ทำให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น อัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ยหรือ i ที่ทำให้ $NPV = 0$ สำหรับการคำนวณการคำนวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+IRR)^t} - \frac{Cost}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือมูลค่าผลตอบแทนของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนหรือต้นทุนรวมของโครงการค่าพารามิเตอร์นี้ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{\frac{Benefit}{(1+i)^t}}{\frac{Cost}{(1+i)^t}} \quad (3)$$

- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาการคืนทุน คือระยะเวลาที่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถนำไปชำระเงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการได้ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่ใช้นับเป็นจำนวนปี โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่ดีกว่าโครงการที่มีระยะคืนทุนยาว สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

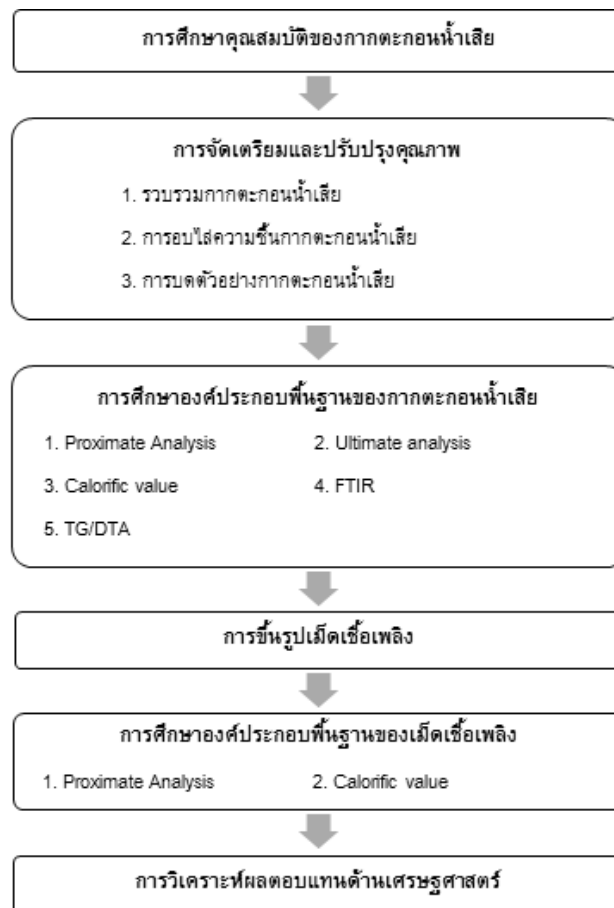
<http://jeet.siamtechu.net>

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (บาท)
B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%)
IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)
Benefit	คือ	มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)
Cost	คือ	มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)
i	คือ	อัตราคิดลด (Discount Rate) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7.75%
t	คือ	ปีของโครงการ
n	คือ	อายุของโครงการ (ปี)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยสมบัติด้านต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสียที่สำคัญในขณะที่ยังเป็นวัตถุดิบและหลังจากที่ขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงแล้ว ซึ่งการศึกษาดังกล่าวมีรายละเอียดและขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย

3.2 การจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย

ในการศึกษาสมบัติในด้านต่าง ๆ ของกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นน้ำกระป๋อง จำเป็นจะต้องมีการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างของกากตะกอนน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทดสอบ จึงต้องมีการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การรวบรวมกากตะกอนน้ำเสีย

นำตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากเครื่องรีดตะกอน (Filter Press) ของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นน้ำกระป๋องมาเก็บรวบรวมและนำไปผึ่งแห้งประมาณ 1-2 วัน ก่อนนำไปเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 6 กากตะกอนน้ำเสียที่ถูกรีดน้ำจากเครื่องรีด (Filter Press)

- การอบไล่ความชื้นกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการรวบรวมด้วยเครื่องรีดกากตะกอน ถึงแม้ว่าจะผ่านการผึ่งแดดมาแล้ว แต่ส่วนใหญ่พบว่ายังคงมีความชื้นสะสมสูงกว่า 30% (จากการใช้เครื่องมือตรวจวัดค่าความชื้น) ดังนั้นจึงต้องนำไปตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียไปปรับปรุงคุณภาพด้านความชื้นด้วยการใช้ตู้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นก่อนนำไปศึกษาอยู่ระหว่าง 20-30%

3.3 การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้วรวมทั้งชีวมวลที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงผสมอัดแท่ง จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งมี 4 วิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis)

ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon มาตรฐาน ASTM E 872) [2] ความชื้น (Moisture มาตรฐาน ASTM E 871) [3] ปริมาณเถ้า (Ash มาตรฐาน ASTM D1102) [4] และปริมาณสารระเหย (Volatile Mater มาตรฐาน ASTM E 872) [2] ด้วยการชั่งหาปริมาณของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องชั่งสำหรับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Balances)

- การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบนี้จะเป็นการเป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (Carbon : C) ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen : H) ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen : N) ธาตุกำมะถัน (Sulfur : S) โดยใช้เครื่อง Elemental Analyzer (CHNS Analyzer) ซึ่งเป็นหลักสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนพลังงาน (Energy Conversion)

- การวิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR นี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์และบ่งชี้ชนิดตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยการใช้เทคนิคการกระตุ้นสารอินทรีย์ด้วยพลังงานแสงอินฟราเรด และแปรผลเป็นสเปกตรัมผ่านการคำนวณด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ (Fourier Transform)

- การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA

การวิเคราะห์นี้สามารถอธิบายสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลได้ ในระหว่างให้ความร้อนอุณหภูมิของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงในลักษณะการดูด (Endothermic) หรือการคายความร้อน (Exothermic) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน (Enthalpic transition)

3.4 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำเสีย

สำหรับการศึกษาในหัวข้อนี้ จะทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่เก็บรวบรวมและปรับปรุงคุณภาพแล้วรวมทั้งชีวมวลที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเม็ดเชื้อเพลิงผสม ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C6000 โดยเครื่องใช้หลักการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างจะถูกบรรจุอยู่ในตัวรองรับและกระตุ้นด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย

3.5 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

- การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนแรกของการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิง จะทำการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดขึ้นด้วยแรงอัดสูง (ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแบบคงที่) ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติเพื่อให้โมเลกุลของวัตถุดิบเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ และไม่มี ความจำเป็นที่จะต้องบดวัตถุดิบก่อนเข้าอัด หากวัตถุดิบดังกล่าวไม่ได้มีขนาดใหญ่มากเกินไปนัก โดยก่อนจะทำการอัดขึ้นรูป ต้องเตรียมวัตถุดิบของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียให้มีความพร้อมต่อการอัดขึ้นรูปก่อน ซึ่งจะต้องนำวัตถุดิบมาลดความชื้นให้มีค่าไม่เกิน 35% ด้วยการผึ่งแดด (ความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมและง่ายต่อการอัดขึ้นรูปจะอยู่ที่ 20-30% ซึ่งจะใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัด) ก่อนอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

<http://jeet.siamtechu.net>

- การวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิง

โดยนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณสารระเหย (Volatile Mater)
- วิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงผสมด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง จะใช้เครื่องมือและวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

3.6 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการเศรษฐศาสตร์จากการผลิตและใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากดัชนีดังต่อไปนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)
- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)
- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)
- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง

- องค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง



รูปที่ 8 วัตถุดิบกากตะกอนน้ำเสีย

จากรูปที่ 8 เป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานและสมบัติทางเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลคือถ่านหินที่เป็นเชื้อเพลิงที่กันอย่างแพร่หลาย ผลการวิเคราะห์จะเป็นไปตามตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง

Analysis	Sewage Sludge (SS)*	Coal [16]
Proximate analysis (wt.%)		
Moisture	13.29	5.00-10.00
Volatile matter	60.98	25.00-40.00
Ash	20.86	8.50-11.30
Fix carbon	4.87	38.70-61.50
Ultimate analysis (wt.%)		
C	30.41	76.0-87.0
H	6.78	3.50-5.00
N	6.70	0.80-1.50
S	0.00	0.50-3.10
HHV (MJ/kg)	11.84	26.00-28.30

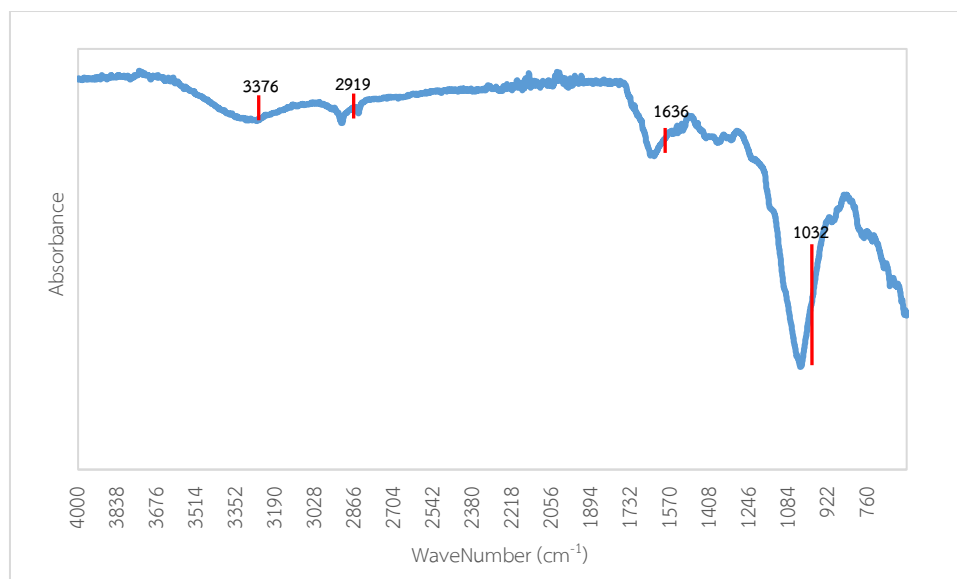
*dry basis

จากตารางที่ 1 พบว่าจากการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียมีค่าความชื้นอยู่ที่ 13.29% มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 4.87% มีปริมาณแก๊สอยู่ที่ 20.86% แต่มีปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียที่สามารถระเหยได้สูงถึง 60.98% และมีค่าความร้อนสูง 11.84 MJ/kg ซึ่งผลของการวิเคราะห์ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ดำเนินการเกี่ยวกับกากตะกอนน้ำเสีย [5]

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ ดำเนินการด้วยการใช้เครื่องวิเคราะห์ CHNS ซึ่งวิเคราะห์และรายงานผลองค์ประกอบของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย โดยวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญได้แก่ ธาตุ Carbon (C) ธาตุไฮโดรเจน (H) ธาตุไนโตรเจน (N) และธาตุกำมะถัน (S) โดยผลการวิเคราะห์จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับชีวมวลทั่วไป และเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยเกี่ยวกับกากตะกอนน้ำเสีย [5] อย่างไรก็ตามข้อดีอีกประการของกากตะกอนน้ำเสียนี้คือ มีปริมาณกำมะถันต่ำมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหมาะสำหรับการนำมาผลิตเชื้อเพลิงที่มีพลังงานสูงแต่มีค่ากำมะถันต่ำ

- การวิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR

จากรูปที่ 9 และตารางที่ 2 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของกากตะกอนน้ำเสียด้วยเทคนิค FTIR โดยจากกราฟ พบสัญญาณที่ wave number $3678-2678\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งตรงกับการสั่นสะเทือนของ O-H stretching ของโครงสร้าง hydrogen bonded alcohols, phenols และ carboxylic acids เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [6] ซึ่งคาดว่าในช่วงสัญญาณดังกล่าวจะมีองค์ประกอบของน้ำเป็นหลัก ถัดมาเป็นสัญญาณที่ wave number $1782-1482\text{ cm}^{-1}$ ตรงกับ C=O stretching ของโครงสร้าง amide ที่คาดว่าเกิดจากองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน [7] นอกจากนี้ยังพบสัญญาณส่วนใหญ่ที่ wave number $1160-980\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งตรงกับการสั่นสะเทือนของ C-O stretching ของโครงสร้าง carboxylic acids เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [8] คาดว่าจะเป็นส่วนของ silica ที่ไม่บริสุทธิ์ที่มีมาจากกระดูกหรือกากปลาทุณา



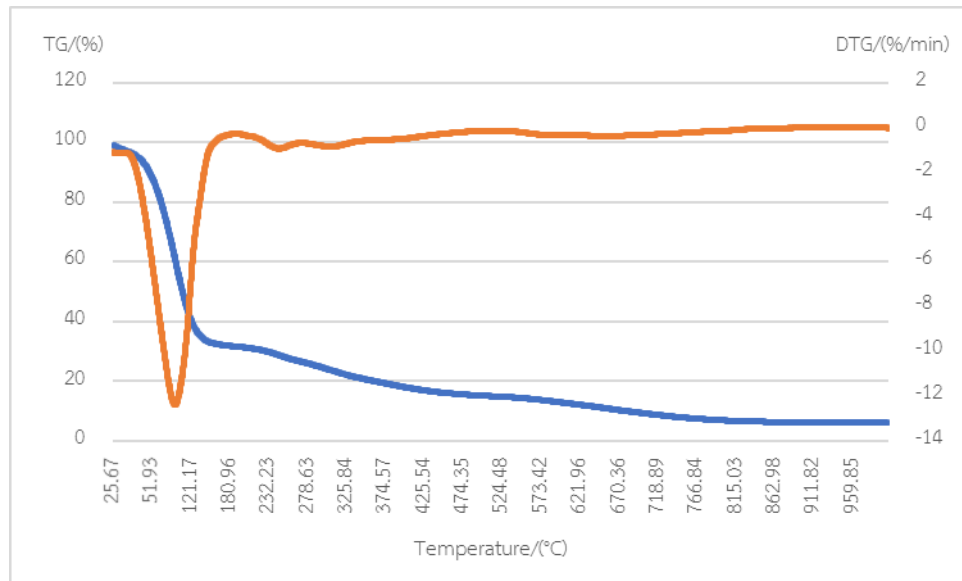
รูปที่ 9 การวิเคราะห์โครงสร้างของกากตะกอนน้ำเสียด้วยเทคนิค FTIR

ตารางที่ 2 Functional groups ของกากตะกอนน้ำเสีย

Wave number (cm ⁻¹)	Assignment	Characterisation	Reference
3678-2678	O-H stretching	hydrogen bonded alcohols, phenols, carboxylic acids	B. Kim.,2013 [6]
1782-1482	C=O stretching	amide	Grube et al., 2006 [7]
1160-980	C-O stretching	carboxylic acids	Senesi et al.,2003 [8]

- การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA

เพื่อให้ทราบถึงสมบัติต่างๆ ที่สำคัญของเม็ดเชื้อเพลิง จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของวัตถุดิบที่ใช้เป็นเม็ดเชื้อเพลิงเป็นอย่างดีด้วยเช่นกัน ด้วยการวิเคราะห์ Thermogravimetric/differential thermal analysis (TG/DTA) ที่อุณหภูมิ 0 - 950 °C ในสภาวะอากาศปกติ โดยรูปที่ 10 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลกากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งจากกราฟพบว่ากากตะกอนน้ำเสียเริ่มที่จะสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ 84 °C และ 155 °C ซึ่งช่วงนี้มวลของกากตะกอนน้ำเสียจะลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นต่อไป กากตะกอนน้ำเสียจะเริ่มติดไฟที่อุณหภูมิ 243 °C มวลของกากตะกอนน้ำเสียจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากการสูญเสียในโครงสร้างผลึก จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 849 °C เป็นต้นไปจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวลอีกแล้ว ดังนั้นจุดนี้จึงถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดการเผาไหม้



รูปที่ 10 การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA ของกากตะกอนน้ำเสีย

4.2 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

- การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง

หลังจากการวิเคราะห์องค์ประกอบสมบัติต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสีย ที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเม็ดเชื้อเพลิงแล้ว ต่อไปจะเป็นการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งจะขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงให้เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และมีความยาวเฉลี่ย 35 มม. ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย

- การวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิง

จากตารางที่ 3 เป็นการวิเคราะห์สมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงที่ขึ้นรูปจากกากตะกอนน้ำเสีย โดยเม็ดเชื้อเพลิงนี้มีค่าความชื้นอยู่ที่ 47.91% มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 7.22% และมีปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียที่สามารถระเหย 37.38% แต่มีปริมาณเถ้าต่ำอยู่ที่ 8.34% และมีค่าความร้อนสูง 15.13 MJ/kg และค่าความร้อนต่ำ 12.56 MJ/kg แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานและสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	Pellets (%wt.)
Proximate analysis (wt.%)	
Moisture	47.91
Volatile matter	37.38
Ash	8.34
Fix carbon	7.22
HHV (MJ/kg)	15.13
LHV (MJ/kg)	12.56

4.3 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

หลังจากที่นำเม็ดเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงเพื่อหาค่าพลังงานที่ได้รับ เพื่อนำมาทดแทนการใช้ถ่านหินที่โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกกระป๋องใช้เป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งค่าพลังงานที่ได้รับนี้จะสามารถนำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	Sewage Sludge	Coal	Unit
Manufacture Capacity	8,760.00	8,760.00	kg/Yrs.
Investment Costs	20,650.00	-	Baht
Material Costs	0.00	3.00	Baht/kg
Operating Costs	1.00	0.00	Baht/kg
Net Heating Value	12.56	27.79	MJ/kg
Specific Energy Cost	0.08	0.11	Baht/MJ
Energy Saving	0.03	-	Baht/MJ
Energy Saving Cost/Unit	0.79	-	Baht/kg
Disposal Cost/Unit	1.00	-	Baht/kg
Total Saving Cost/Unit	1.79	-	Baht/kg
Total Saving Cost	15,657.80	-	Baht/Yrs.
%Total Saving	59.58	-	%
NPV	48,328.03	-	Baht
IRR	31.19	-	%
B/C	144.64	-	%
Payback Period	3.00	-	Yrs.

<http://jeet.siamtechu.net>

จากตารางที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ประเมินจากพลังงานที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งมีต้นทุนพลังงานที่ต่ำกว่าถ่านหินอยู่ที่ 0.08 บาท/MJ (ถ่านหิน 0.11 บาท/MJ) รวมทั้งยังสามารถลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียซึ่งถือว่าเป็นผลประโยชน์เพิ่ม ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย ให้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุดตั้งนี้ ค่า Total Saving Cost 59.58%, NPV 48,328.03 บาท, IRR 31.19%, B/C 144.64% และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

กากตะกอนน้ำเสียที่สร้างปัญหาและภาระค่าใช้จ่ายให้กับสถานประกอบการในการจัดการของเสีย การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) ถือเป็นแนวทางที่สร้างประโยชน์ด้วยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาหมึกมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่านหินในหม้อไอน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียในเวลาเดียวกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านองค์ประกอบและทางด้านเชื้อเพลิงก่อนจะนำกากตะกอนน้ำเสียมาแปรรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง [1] พบว่ากากตะกอนน้ำเสียถึงแม้ว่าค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าเกณฑ์ แต่มีข้อดีคือไม่มีปริมาณกำมะถันเจือปน จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง แต่ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในการปรับปรุงการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียให้มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นอยู่ในเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจะพิจารณาการนำของเสียชนิดอื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมรวมกัน รวมทั้งการนำวัตถุดิบอื่นมาผสมกับกากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการใช้กากตะกอนน้ำเสียร่วมกับวัตถุดิบชนิดอื่นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. กรุงเทพฯ
- [2] ASTM. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels ASTM E872. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 1982.
- [3] ASTM. Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels ASTM E871. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 1982.
- [4] ASTM. Standard Test Method for Ash in Woods ASTM D1102. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 2013.
- [5] Longbo Jiang. "Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet". *Bioresource Technology*, 2014; 166: 435-443.
- [6] B. Kim. "Physical-chemical characterization of sludge and granular materials from a vertical flow constructed wetland for municipal wastewater treatment". *Water Sci Technol*, 2013; 68(10): 2257-2263.
- [7] M. Grube. "Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy". *Geoderma*, 2006; 130: 324-333.
- [8] N. Senesi. "Humic acids in the first generation of EUROSOLS". *Geoderma*, 2003; 116: 325-344.

การเพิ่มประสิทธิภาพการเฝ้าระวังโรคเลิเจียนแนร์ในโรงแรมแห่งหนึ่ง เขตคลองเตย

กรุงเทพมหานคร

INCREASING EFFICIENCY OF LEGIONNAIRES' DISEASE SURVEILLANCE SYSTEM IN A SELECTED HOTEL OF KHLONGTOEY BANGKOK

นุชนภา สุกใส¹ อินจิรา นิยมฐูร² ศศิธร ลอเรนซ์² วิมลศิริ พรทวิวัฒน์² และสายพิน ไชยนันท์²

Nuchnapa Suksai,¹ Injira Niyomtoon,² Sasitron Lawrence,² Wimolsiri Porntaveewat,²

Saipin Chaiyanun,²

¹*นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² อาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

*Corresponding author, E-mail: injiran@siamtechno.ac.th, Tel. 0899994982

บทคัดย่อ

โรคเลิเจียนแนร์ (Legionnaires' disease) เป็นโรคปอดอักเสบเกิดจากการหายใจรับเชื้อแบคทีเรีย ลีจิโอเนลลา (*Legionella*) ซึ่งแพร่กระจายผ่านทางละอองน้ำเข้าไปในร่างกาย พบได้ทุกภูมิภาคของโลกและพบได้ในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของลีจิโอเนลลา กระทรวงสาธารณสุขของไทยมีมาตรการเฝ้าระวังการระบาดของโรคในหมู่นักท่องเที่ยวต่างชาติที่มาพักในโรงแรมเขตกรุงเทพมหานครและทั่วประเทศ เนื่องจากการติดเชื้อลีจิโอเนลลามากของนักท่องเที่ยวส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของการท่องเที่ยวของประเทศทำให้ความเสียหายต่อธุรกิจการท่องเที่ยว โรคเลิเจียนแนร์มีอัตราการป่วยตายสูง ในประเทศไทยมีประวัติการแพร่ระบาดของโรคเลิเจียนแนร์มาแล้วในช่วงปลายปี 2549 ดังนั้นการป้องกันการปนเปื้อนเชื้อลีจิโอเนลลามากภายในโรงแรมที่พักของไทยจึงถือเป็นสิ่งที่สำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Description Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเฝ้าระวังเชื้อลีจิโอเนลลามากภายในโรงแรมแห่งหนึ่งที่มีรายงานตรวจพบเชื้อลีจิโอเนลลาโดยการจัดสร้างวิธีปฏิบัติมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล (Sanitation Standard Operating Procedure : SSOP) สำหรับใช้เพื่อรักษาความสะอาดและสุขอนามัยของระบบน้ำประปาและอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องพักแขกของโรงแรม งานวิจัยนี้ดำเนินการตรวจเชื้อจากตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำของโรงแรม เช่น หอผึ่งเย็น น้ำใช้จากก๊อกน้ำร้อนและก๊อกน้ำเย็นในห้องพักแขก จากฝักบัวอาบน้ำ ถังพักน้ำร้อน ถังพักน้ำเย็นบนหลังคาและใต้ดิน ซึ่งอาจเป็นที่อยู่ของเชื้อลีจิโอเนลลาและสามารถกระจายเชื้อสู่แขกและผู้อยู่อาศัยในโรงแรมได้ ผลการตรวจพบว่าตรวจพบเชื้อในทุกแหล่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ ยกเว้นถังพักน้ำเย็นใต้ดิน ผู้ดำเนินการวิจัยได้จัดตั้งคณะทำงานการเฝ้าระวังการเกิดโรคเลิเจียนแนร์และร่วมกันวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT analysis) หาสาเหตุของการปนเปื้อนของเชื้อลีจิโอเนลลา ผลจากการทำ SWOT ได้นำมาใช้สร้าง SSOP เพื่อเฝ้าระวังการปนเปื้อนของเชื้อลีจิโอเนลลาขึ้น ก่อนการใช้ SSOP พบเชื้อลีจิโอเนลลาได้ทุกแหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง ยกเว้นถังเก็บน้ำใต้ดินภายหลังจากการเฝ้าระวังซึ่งมีการเก็บตัวอย่างน้ำตรวจทุกเดือน พบเชื้อเพียงเดือนแรก จาก หอผึ่งเย็น ก๊อกน้ำร้อน และก๊อกน้ำเย็นจากห้องพักแขกเท่านั้น ในขณะที่เดือนต่อๆ มาตรวจไม่พบเชื้อเลยจากทุกแหล่งตลอดระยะเวลาดำเนินการมาตรการ 12 เดือน ดังนั้น เพื่อให้การเฝ้าระวังเชื้อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องปฏิบัติตามวิธีปฏิบัติมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล (Sanitation Standard Operating Procedure : SSOP) เพื่อการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อลีจิโอเนลลามากจากแหล่งแพร่กระจายเชื้ออย่างเคร่งครัด

คำสำคัญ: โรคเลิเจียนแนร์, ลีจิโอเนลล่า, หอผึ่งเย็น, การเฝ้าระวัง

ABSTRACT

Legionnaires' disease is a pneumonia caused by inhaling the *Legionella* bacteria which spreads through water droplets into the body. It can be found in all regions of the world and is also found in Thailand, which is a tropical country which has suitable temperature and humidity for the growth of *Legionella*. The Thai Ministry of Public Health has monitored outbreaks among foreign tourists who have stayed in hotels in Bangkok and throughout the country. Due to the infection of tourists by *Legionella* affect image of Thailand tourism. Legionnaires' disease has a high mortality rate. In Thailand, there is a history of Legionnaires' disease outbreaks in late 2006. Therefore, it is important to prevent the contamination of *Legionella* in the hotels in Thailand.

This research is a descriptive study aimed at enhancing the surveillance of *Legionella* in hotels where *Legionella* was reported by establishing the Sanitation Standard Operating Procedure (SSOP) for using to maintain the cleanliness and hygiene of the water supply system and equipment used in the hotel guest rooms. The research examined water samples collected from the hotel water supply sources such as water from cooling tower, hot and cold water faucets in the guest room, from the shower, hot water tank, cold water tank on the roof top and underground, which may have been the habitat of *Legionella* and could be distributed to guests and residents of hotels. The results showed that the *Legionella* was detected in all sources where water samples were collected, except for the underground cold water tank. The researchers established a legionnaire's disease surveillance team and jointly analyzed the external and internal environment (SWOT analysis) to determine the cause of contamination of *Ligionella*. SWOT analysis result had been used to create SSOP for monitoring the contamination of *Ligionella*. Before using SSOP, *Legionella* was found in all sources of water except groundwater tank. After the surveillance, water samples were collected every month. *Ligionella* was only detected in the first month from the cooling tower, hot faucets and cold faucets of the guest rooms, while the following months, *Legionella* was not found in all sources over the course of 12 months. Therefore, in order to ensure effective monitoring of *Legionella* contamination, it is necessary to strictly follow the SSOP for Legionnaires' disease surveillance.

Keywords: Legionnaires' disease, *Legionella*, cooling tower, surveillance, Sanitation Standard Operating Procedure

1. บทนำ

โรคเลิเจียนแนร์ (Legionnaires' disease) เป็นโรคปอดอักเสบเกิดจากการหายใจรับเชื้อแบคทีเรียลีจิโอเนลล่า (*Legionella*) เข้าไปในร่างกายแพร่กระจายผ่านทางละอองน้ำ พบได้ทุกภูมิภาคของโลกและพบได้ในประเทศไทยที่เป็นประเทศในเขตร้อนมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อ กระทรวงสาธารณสุขของไทยมีมาตรการเฝ้าระวังการระบาดของโรคในหมู่นักท่องเที่ยวต่างชาติที่มาพักในโรงแรมเขตกรุงเทพมหานครและทั่วประเทศ เนื่องจากการติดเชื้อลีจิโอเนลล่าของนักท่องเที่ยวส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของการท่องเที่ยวของประเทศไทยทำความเสียหายต่อธุรกิจการท่องเที่ยว โรคเลิเจียนแนร์เป็นโรคที่ต่างประเทศให้ความสนใจเนื่องจากมีอัตราป่วยตายสูง โดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรปมีระบบเฝ้าระวังและมีคณะทำงานสำหรับโรคนี้โดยเฉพาะเรียกว่า "European Working Group for *Legionella* Infection" (EWGLI) ทำหน้าที่เผยแพร่รายชื่อโรงแรมที่มีประวัติการแพร่ระบาดของโรคให้ประชาชนทราบผ่านทางอินเทอร์เน็ต จากรายงานของ EWGLI พบว่าประเทศไทยมีนักท่องเที่ยวชาวยุโรปป่วยเป็นโรคเลิเจียนแนร์มากเป็นอันดับ

หนึ่งในเอเชีย ประเทศไทยมีประวัติการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อในโรงแรมมาแล้วในช่วงปลายปี 2549 (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม , 2550) หากมีรายงานของ EWGLI ว่าพบโรคติดเชื้อในโรงแรมในพื้นที่ประเทศไทย อาจส่งผลให้เกิดการระบาดของโรคและส่งผลกระทบต่อชื่อเสียงของโรงแรมและประเทศชาติ ดังนั้น การป้องกันการปนเปื้อนเชื้อลิจิโอเนลล่าภายในโรงแรมที่พักจึงถือเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกภาคส่วนทั้งภาครัฐและเอกชนต้องให้ความสำคัญและปฏิบัติการเฝ้าระวังและป้องกันโรคอย่างเคร่งครัด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังโรคติดเชื้อในโรงแรม โดยสร้างวิธีปฏิบัติมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล (Sanitation Standard Operating Procedure: SSOP) ในการเฝ้าระวังโรคที่ได้ผล เพื่อให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกแผนกของโรงแรมใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ

2.2 เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติให้โรงแรมหรือสถานที่บริการที่พักต่างๆ ปฏิบัติเพื่อเฝ้าระวังโรคติดเชื้อ

2.3 เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจในการจัดการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมภายในโรงแรม สำหรับผู้บริหารโรงแรมและพนักงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเฝ้าระวังโรคติดเชื้อ

3. สมมติฐานการวิจัย

การสร้างวิธีปฏิบัติมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล (Sanitation Standard Operating Procedure: SSOP) ในการเฝ้าระวังโรคติดเชื้อ โดยการปฏิบัติและควบคุมที่ถูกต้องจะทำให้สามารถกำจัดหรือลดการแพร่กระจายของเชื้อลิจิโอเนลล่าภายในโรงแรมได้

4. ขอบเขตของการวิจัย

ดำเนินการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเฝ้าระวังโรคติดเชื้อจากแหล่งแพร่กระจายภายในโรงแรมแห่งหนึ่งในเขตคลองเตย

5. ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรคติดเชื้อเป็นโรคติดต่อระบบทางเดินหายใจส่วนล่างอย่างเฉียบพลัน ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย รูปแท่ง (bacilli) มีขนาดกว้าง 0.3-0.9 ไมครอน และยาว 1.5 - 5.0 ไมครอน ย้อมติดสีแกรมลบ สามารถสร้างแฟลกเจลลาเพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวได้ พบในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและเจริญได้ดีในสภาวะที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-42°C พบได้ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น ลำธาร หนองน้ำ บ่อน้ำพุร้อน และแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ถังพักน้ำร้อน (Water heater tanks) ถาดรองน้ำจากเครื่องปรับอากาศ (Water tray) ก๊อกน้ำ (Water tap) ฝักบัวอาบน้ำ (Head shower) ถังเก็บน้ำสำรอง (Water storage tank) ในระบบการกระจายน้ำ (Water distribution system) เช่น ในอ่างน้ำพุ หรือน้ำพุประดับ สปริงเกอร์ ในธรรมชาติเชื้อลิจิโอเนลล่าจะไม่สามารถเจริญหรือแบ่งตัวโดยลำพังต้องอาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ อมีบาเสรี (Free living amoeba) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ปัจจุบันมีการรายงานชนิดของเชื้อลิจิโอเนลล่ามากกว่า 50 ชนิด (สปีชีส์) และชนิดที่ก่อโรคในคนมีประมาณ 20 ชนิด ในจำนวนนี้ชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคและทำให้เกิดการระบาดได้บ่อย คือ ลิจิโอเนลล่า นิวโมฟิล่า (*Legionella pneumophila*) การติดเชื้อในคนคาดว่าเกิดจากการหายใจเอาฝอยละอองน้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำที่มีเชือนี้ปนเปื้อนอยู่ โดยมีแหล่งแพร่เชื้อที่สำคัญของโรงแรม คือ หอผึ่งเย็น ระบบทำความเย็นและระบบระบายความร้อน ระบบน้ำร้อนรวม ถังพักน้ำ และถังเก็บน้ำ (น้ำเย็น) หัวก๊อกและหัวฝักบัว การเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดหายใจเชื้อโรคที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศเข้าไป (Air-borne) (สมชัย บวรกิตติ, 2552) ระยะฟักตัวของโรคจะใช้เวลาประมาณ 2-10 วัน ส่วนใหญ่จะปรากฏอาการภายใน 5-6 วัน ทั้งนี้ โรคติดเชื้อยังไม่มียารักษา ยืนยันการแพร่

ระบาดจากคนไปสู่คน ดังนั้น การควบคุมดูแลแหล่งแพร่กระจายเชื้อจากโรงแรมที่พักสำหรับนักท่องเที่ยวจึงเป็นสิ่งจำเป็น ควรมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอรวมถึงการใช้สารชีวฆาตอย่างเหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงด้านสุขภาพต่อผู้สัมผัส และนักท่องเที่ยวที่พักในอาคารให้น้อยที่สุด (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2550) มีงานวิจัยที่ศึกษาการเฝ้าระวังการติดเชื้อโรคติดเชื้อจากแหล่งแพร่กระจายเชื้อต่างๆ ที่มีผลต่อผู้สัมผัสหรือนักท่องเที่ยวที่พักในอาคารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

นิจศิริ เรืองรังษี และ ชนิตา พลานุกูเวช (2554) ศึกษาการเฝ้าระวังสุขภาวะและความเสี่ยงจากการติดเชื้อลีสเทอเรียในสปา เนื่องจากอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงของน้ำในสปาจะลดประสิทธิภาพของน้ำยาฆ่าเชื้อ และมักพบเชื้อสามารถอยู่ในรูปของ Biofilm ที่ทนต่อการทำลาย การดำเนินการเฝ้าระวังสุขภาวะโดยมีการสำรวจสถิติกิจการสปา สำนวจมาตรการกำกับดูแลกิจการสปา จัดเสวนาวิชาการรวบรวมองค์ความรู้ในการเฝ้าระวังโรคเพื่อให้ผู้ประกอบการสปาสามารถดูแลรักษาความสะอาดของอุปกรณ์ สถานที่อย่างถูกต้อง หน่วยงานภาครัฐสามารถกำกับดูแลได้อย่างเข้มแข็ง และมีการตรวจวิเคราะห์ได้รวดเร็ว แม่นยำ ราคาถูก เพื่อเป็นมาตรการที่นำไปสู่การลดความเสี่ยงในการติดเชื้อลีสเทอเรียในสปา

สมภพ ญาณพิสิฐกุล และนัยนา ศรีชัย (2556) ศึกษาความชุกของเชื้อลีสเทอเรียในหอผึ่งเย็นของโรงแรมในตำบลปาดอง จังหวัดภูเก็ต โดยศึกษาหอผึ่งเย็นของโรงแรมขนาดใหญ่ที่มีเครื่องปรับอากาศรวมทุกโรงแรมๆ ละ 1 ตัวอย่าง รวมทั้ง 45 ตัวอย่าง พบว่าโรงแรมส่วนใหญ่ร้อยละ 77.8 มีการดูแลและบำรุงรักษาหอผึ่งเย็นเป็นประจำและตรวจไม่พบเชื้อลีสเทอเรียถึงร้อยละ 68.5 ส่วนโรงแรมที่ไม่มีแผนการดูแลบำรุงรักษาพบเชื้อลีสเทอเรียถึงร้อยละ 90 พบว่าการมีแผนการบำรุงรักษาหอผึ่งเย็นเป็นประจำมีความสัมพันธ์กับการตรวจพบเชื้อลีสเทอเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลของการศึกษาความชุกครั้งนี้นำไปสู่การจัดอบรมผู้ดูแลระบบหอผึ่งเย็นเกี่ยวกับมาตรการบำรุงรักษา การตรวจสอบเฝ้าระวังติดตามผลของระบบผึ่งเย็นให้ถูกต้อง

พิพัฒน์ ลักษณะจักรกุล และคณะ (2557) ศึกษาความชุกของการปนเปื้อนเชื้อลีสเทอเรียในนิวมอฟิล์มและลักษณะการดูแลบำรุงรักษาคูลล์ทาวเวอร์ที่ติดตั้งในสถานที่บางแห่ง เป็นการศึกษาภาคตัดขวางโดยสำรวจคูลล์ทาวเวอร์จำนวน 72 แห่งทั้งจากโรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า และโรงแรมในเขตกรุงเทพมหานคร โดยวิธีตรวจเพาะเชื้อ และสอบถามเจ้าหน้าที่สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะการดูแลรักษาคูลล์ทาวเวอร์ ผลการศึกษาพบว่าร้อยละ 71.4-87.4 เป็นคูลล์ทาวเวอร์ชนิด Cross-flow ร้อยละ 81-100 ของคูลล์ทาวเวอร์ได้รับการดูแลรักษาอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ร้อยละ 50-80.9 ของคูลล์ทาวเวอร์ไม่มีการใช้สารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อลีสเทอเรียในนิวมอฟิล์ม พบว่าแม้ว่าคูลล์ทาวเวอร์ส่วนใหญ่ที่ได้รับการดูแลรักษา แต่ไม่มีการใช้สารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อลีสเทอเรียในนิวมอฟิล์ม ยังคงตรวจพบเชื้อในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น คูลล์ทาวเวอร์จึงควรได้รับการดูแลรักษาควบคู่กับการใช้สารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อลีสเทอเรียในนิวมอฟิล์ม

6. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาดำเนินการกับโรงแรมแห่งหนึ่งในเขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร ที่มีรายงานว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อลีสเทอเรียในน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ของโรงแรม การศึกษาเริ่มจากกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ที่อาจเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อลีสเทอเรียในน้ำได้ แล้วนำตัวอย่างน้ำส่งสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ถนนติวานนท์ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี เพื่อตรวจหาเชื้อ *Legionella* spp. โดยวิธีเพาะเชื้อและนับจำนวนเชื้อที่พบ จัดตั้งคณะทำงานบูรณาการการเฝ้าระวังโรคติดเชื้อแบคทีเรีย ประกอบด้วย ผู้จัดการ ผู้ควบคุม ผู้ปฏิบัติงานในการ

ดูแลบำรุงรักษาและการทำความสะอาดระบบน้ำประปา น้ำใช้ และอุปกรณ์ภายในห้องพัก ร่วมกันวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT analysis) หาสาเหตุของการปนเปื้อนของเชื้อลีสเทอเรียในน้ำ โดยวิเคราะห์ปัญหาการจัดการระบบน้ำภายในโรงแรม และปัญหาของการดำเนินการของพนักงานในการปฏิบัติงานที่อาจสนับสนุนให้มีการปนเปื้อนหรือมีการเจริญของเชื้อได้ เพื่อสร้าง SSOP เฝ้าระวังการปนเปื้อนของเชื้อลีสเทอเรียในน้ำที่มีประสิทธิภาพ

เปรียบเทียบการพบเชื้อลีสทีโอเนลล่าในน้ำจากแหล่งน้ำภายในโรงแรมตามจุดที่กำหนด ก่อนใช้มาตรการ โดยเก็บจากแต่ละจุด 3 ตัวอย่าง (triplicate) และเก็บตัวอย่างน้ำทุกจุดหลังการใช้มาตรการการเฝ้าระวัง 1, 2, 3, 6 และ 12 เดือน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของเชื้อ โดยใช้สถิติ paired t-test

7. ผลการวิจัย

7.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำภายในอาคารที่อาจเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อลีสทีโอเนลล่าในโรงแรมแห่งหนึ่งในเขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร ที่มีรายงานว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อลีสทีโอเนลล่าในน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ของโรงแรม การศึกษาได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ที่อาจเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อลีสทีโอเนลล่าได้ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ทั้งหมด 7 จุด ได้แก่ 1. หอผึ่งเย็น 2. น้ำร้อนจากก๊อกน้ำห้องพักแขก 3. น้ำเย็นจากก๊อกน้ำห้องพักแขก 4. น้ำจากฝักบัวอาบน้ำ 5. น้ำจากถังพักน้ำร้อน 6. น้ำจากถังพักน้ำเย็นบนหลังคา 7. น้ำจากถังพักน้ำเย็นใต้ดิน

7.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT analysis) ของโรงแรมที่ศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการปนเปื้อนของเชื้อลีสทีโอเนลล่า

การวิเคราะห์ SWOT จะนำไปสู่การให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผน กลยุทธ์ การกำหนดการดำเนินงานต่างๆ ทั้งนี้ ผู้ศึกษาได้นำหลัก SWOT analysis มาให้คณะทำงานฯ ของโรงแรมร่วมกันวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกที่มีผลต่อการดำเนินการป้องกันโรคเลิเจียนในโรงแรม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

จุดแข็ง (Strengths)

1. ผู้บริหารโรงแรม ให้ความสำคัญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของโรงแรม โดยเฉพาะปัญหาการตรวจพบเชื้อลีสทีโอเนลล่าจากแหล่งแพร่กระจายเชื้อภายในโรงแรม และได้มีนโยบายต่างๆ เพื่อสนับสนุนการทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ให้ทุกแผนกที่เกี่ยวข้องร่วมปฏิบัติงานตามแผนที่วางไว้

2. สามารถสร้างคณะทำงานควบคุมและเฝ้าระวังโรคร่วมกันปฏิบัติงาน

จุดอ่อน (Weaknesses)

1. ภารกิจในงานในแต่ละแผนกมีมาก ทำให้พนักงานที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติหน้าที่ ไม่มีเวลาสำหรับการทำงานในคณะทำงาน การควบคุมและเฝ้าระวังโรคได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

2. เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบการควบคุมและเฝ้าการแพร่กระจายเชื้อ ขาดความสม่ำเสมอในการดูแลแหล่งแพร่กระจายเชื้อ

3. อุปกรณ์ เครื่องจักรชำรุด ขาดการสนับสนุนด้านงบประมาณในช่วงของการดำเนินงาน

4. การประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อในโรงแรมไม่เพียงพอ หรือมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอทำให้เข้าไม่ถึงพนักงานในแผนกที่เกี่ยวข้อง

โอกาส (Opportunity)

1. ช่องทางในการรับรู้ข่าวสารของผู้ประกอบการมีหลายช่องทาง และมีเทคโนโลยีทางการสื่อสารที่ทันสมัย เช่น Line group

2. มีหน่วยงานสนับสนุนการดำเนินงาน ในด้านข้อมูล องค์ความรู้เกี่ยวกับโรคเลิเจียนในโรงแรม ได้แก่ หน่วยงานสิ่งแวดล้อมเขตคลองเตย และสำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร สามารถนำความรู้ด้านการจัดการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ภายในโรงแรมได้อย่างเหมาะสม

อุปสรรค (Threat)

1. พนักงานแผนกที่เกี่ยวข้องกับการเฝ้าระวังการแพร่กระจายเชื้อยังขาดความตระหนัก ขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการเฝ้าระวังโรคเลิเจียนในโรงแรม

2. พนักงานผู้ปฏิบัติหน้าที่ขาดความเอาใจใส่ ขาดความสม่ำเสมอในการปฏิบัติงานในแต่ละวันเนื่องจากมีความเคยชินกับข้อปฏิบัติแบบเดิม

ในการศึกษาได้วิเคราะห์ปัญหาจากการจัดการระบบน้ำภายในโรงแรม และปัญหาของการดำเนินการของพนักงานในการปฏิบัติงานที่อาจสนับสนุนให้มีการปนเปื้อนหรือมีการเจริญของเชื้อดังแสดงในตาราง 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาจากการจัดการระบบน้ำภายในโรงแรม และปัญหาของการดำเนินการของพนักงาน พร้อมวิธีแก้ปัญหา

การดำเนินการ	ปัญหา	วิธีแก้ปัญหา
1. การจัดการระบบน้ำภายในโรงแรม	1.1 ระบบน้ำเย็นหรือถังพักน้ำใช้ (Water storage tanks) - ถังพักน้ำใช้ ไม่มีการทำความสะอาด เพียงพอ มีการสะสมของตะกอน เมือก และตะไคร่น้ำ - ปริมาณคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) ในถังพักน้ำไม่สม่ำเสมอ บางครั้งน้อยกว่า 0.5 ppm ซึ่งไม่สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อลีสซิโอเนลล่าได้ - เมื่อไม่มีการใช้น้ำจากแหล่งพักน้ำเป็นเวลานาน ไม่มีการระบายน้ำทิ้งจากระบบ	- ต้องล้างทำความสะอาด ถังพัก น้ำ ต่างๆ เช่น พักถังน้ำใช้ ถังน้ำใต้ดินและ ถังเก็บน้ำจาดฟ้า เพื่อระบายตะกอนที่ ก้นถังออก - ให้มีการตรวจสอบปริมาณคลอรีน ตกค้าง (Residual chlorine) ของน้ำใน ถังพักน้ำทุกวัน หากพบว่าถังพักน้ำมี คลอรีนตกค้างน้อยกว่า 0.2 ppm. ให้ เติมคลอรีนเพิ่ม - ควรให้มีการหมุนเวียนของน้ำในถังพัก น้ำ และในระบบท่อจ่ายน้ำโดยเปิดน้ำ ปลดทิ้ง 3-5 นาทีอย่างน้อย 1 ครั้ง/ สัปดาห์
	1.2 ระบบน้ำร้อนรวม (Hot water system) - น้ำจากจุดจ่ายน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส บางจุด - ไม่มีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคใน ระบบน้ำร้อน และระบบท่อจ่ายน้ำร้อน	- ถังพักน้ำร้อน (Hot water tank) ต้อง ผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียสตลอดเวลา - ควรทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคใน ระบบน้ำร้อน และระบบท่อจ่ายน้ำร้อน ในโรงแรมอย่างสม่ำเสมอ
	1.3 ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น ไม่มีกำหนดการทำความสะอาดของ เครื่องปรับอากาศและระบบทำความเย็น	ควรทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ 1-2 ครั้งต่อเดือน และถ้า เครื่องปรับอากาศในห้องพักมี Fan coil unit ต้องหมั่นทำความสะอาดถาดรอง น้ำ หรือ ใสสารชีวฆาตที่ไม่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ

การดำเนินการ	ปัญหา	วิธีแก้ปัญหา
	1.4 อุปกรณ์ในห้องน้ำ ไม่มีการถอดหัวก๊อกน้ำและฝักบัวออกมาฆ่าเชื้อ	ควรถอดหัวก๊อกน้ำและฝักบัวออกมาฆ่าเชื้อโดยการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หรือแช่ในสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 10 ppm. นาน 5 นาที
	1.5 ระบบหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) - มีสิ่งสกปรก และสาหร่ายในน้ำของระบบหอผึ่งเย็น - ไม่มีการดำเนินการตรวจสอบหอผึ่งเย็นตามตารางที่กำหนด	- ควรดูแลทำความสะอาดตามกำหนดระยะเวลา เพื่อไม่ให้เกิดสิ่งสกปรกสะสม - ควรตรวจสอบการทำงานและจุดบกพร่องต่าง ๆ ของหอผึ่งเย็นระบบท่อน้ำ ระบบป้องกันละอองน้ำ
2. การดำเนินการของบุคลากร (พนักงาน) ในการเฝ้าระวังหรือป้องกันการเจริญของเชื้อลีสเทอเรีย	2.1 ศักยภาพของพนักงานเกี่ยวกับการควบคุมและการจัดการเชื้อลีสเทอเรีย - พนักงานไม่มีความรู้เกี่ยวกับเชื้อลีสเทอเรีย - ไม่มีผู้รับผิดชอบเกี่ยวกับการควบคุมและป้องกันการเจริญของเชื้อลีสเทอเรียโดยตรง - ไม่มีการรายงานหรือรวบรวมข้อมูลต่างๆ หรือดำเนินการเกี่ยวกับการบำบัดน้ำ - ไม่มีการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ เช่น หอผึ่งเย็น ถังพักน้ำใช้ และระบบทำน้ำร้อนเพื่อตรวจวิเคราะห์หาเชื้อ ลีสเทอเรียอย่างสม่ำเสมอ	- จัดอบรมให้พนักงานมีความรู้เกี่ยวกับเชื้อลีสเทอเรีย - แต่งตั้งเจ้าหน้าที่หรือคณะทำงานเพื่อควบคุมการจัดการเชื้อลีสเทอเรียโดยเฉพาะ - ทำการจัดบันทึกข้อมูลรายละเอียดผลการบำบัดน้ำจากจุดต่างๆ ในทุกประเภท เช่น บันทึกค่า pH ค่าความเข้มข้นคลอรีนตกค้างที่ถังพักน้ำใช้ทุกวัน - ควรทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ เช่น หอผึ่งเย็น ถังพักน้ำใช้ และระบบทำน้ำร้อนในอาคาร เพื่อตรวจวิเคราะห์หาเชื้อลีสเทอเรียทุก 6 เดือน

จากการทำ SWOT analysis สามารถจัดทำ SSOP เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเฝ้าระวังโรคลีสเทอเรียในโรงแรม และดำเนินการใช้มาตรการที่สร้างขึ้นภายในเดือนถัดมาทันที

SSOP ในการป้องกันการแพร่กระจายจากแหล่งแพร่กระจายเชื้อลีสเทอเรียของโรงแรม มีดังต่อไปนี้

1. ระบบน้ำเย็นหรือถังพักน้ำใช้ (Water storage tanks)

1.1. ถังพักน้ำใช้ ถังน้ำใต้ดิน (Underground tank) และ ถังน้ำดาดฟ้า (Roof tank) ล้างทำความสะอาดเพื่อนำตะกอน ตะกรัน เมือกและตะไคร่น้ำ เพื่อระบายตะกอนที่ก้นถังออกอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

1.2. ให้มีการตรวจสอบปริมาณคลอรีนตกค้าง (Residual chlorine) ของน้ำในถังพักน้ำทั้ง 2 ถังทุกวัน โดยทั่วไปคลอรีนตกค้างจากการประปาจะมีค่าประมาณ 0.2 – 0.5 ppm. แต่หากพบว่าถังพักน้ำมีคลอรีนตกค้างน้อยกว่า 0.2 ppm. ให้เติมคลอรีนเพิ่ม (Double dose) ซึ่งอาจใช้วิธีคนเติม (Manual) หรือติดตั้งถังจ่ายคลอรีนอัตโนมัติ (Auto feed) ที่ถังพักน้ำใต้ดิน หรือติดตั้งที่ถังพักน้ำตาดฟ้า เพื่อควบคุมค่าคลอรีนตกค้างในถังพักน้ำไม่น้อยกว่า 0.5 – 1.0 ppm.

1.3. ควรให้มีการหมุนเวียนของน้ำในถังพักน้ำ และในระบบท่อจ่ายน้ำโดยเปิดน้ำปล่อยทิ้ง 3-5 นาที อย่างน้อย 1 ครั้ง/สัปดาห์ ในจุดหรือเส้นท่อไม่เกิดการไหลเวียน เพื่อป้องกันสภาวะน้ำนิ่งซึ่งเป็นสภาวะที่ง่ายต่อการแพร่กระจายเชื้อ

1.4. ในกรณีหยุดการจ่ายน้ำนาน ควรเติมคลอรีนที่บ่อกักน้ำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นกว่าปกติ และเมื่อเริ่มเปิดอาคารใหม่ ควรเปิดก๊อกน้ำจากห้องพักในทุกเส้นท่อไหลทิ้งจนกว่าคลอรีนจากถังพักน้ำตรวจพบที่ปลายท่อ 0.2-0.5 ppm. เนื่องจากสภาวะน้ำนิ่งในเส้นท่อเป็นต้นเหตุของการเพาะพันธุ์เชื้อลิจีโอแนลล่า

2. ระบบน้ำร้อนรวม (Hot water system)

2.1 ถังพักน้ำร้อน (Hot water tank) ต้องผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาและสามารถส่งน้ำร้อนไปห้องพักทุกชั้น ทุกห้องพักให้มีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 50 องศาเซลเซียส ณ จุดจ่ายน้ำร้อน

2.2 ควรมีการไหลเวียนของน้ำร้อนในเส้นท่อ เพื่อป้องกันการเกิด (Dead space)

2.3 ควรทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคในระบบน้ำร้อน และระบบท่อจ่ายน้ำร้อนในอาคารโรงแรม อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ทั้งนี้ ควรมีการแจ้งวันและช่วงเวลาแก่แขกที่พัก พนักงานและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน

2.4 ในกรณียังตรวจพบเชื้อ หรือเกิดการแพร่ระบาดของเชื้อในระบบน้ำร้อน ควรเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ จากถังน้ำร้อนให้สูงกว่าปกติ

2.5 ในกรณีหยุดการทำงานของถังผลิตน้ำร้อนนานๆ ก่อนการเริ่มเดินระบบให้ระบายน้ำในถังออกจนหมด และพักถังให้แห้งก่อนการเริ่มผลิตน้ำร้อน และควรผลิตอุณหภูมิของน้ำในถังให้สูงกว่าปกติ

3. ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น

3.1 ควรทำความสะอาด 1-2 ครั้งต่อเดือน เพื่อไม่ให้มีตะไคร่หรือสิ่งสกปรกตกค้าง

3.2 เครื่องปรับอากาศในห้องพักหากมี Fan coil unit ในห้องพัก ต้องทำความสะอาดถาดรองน้ำ (Water tray) จากท่อคอยล์เย็นทุก 1-2 สัปดาห์หรือ ใส่สารชีวฆาตที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของแขกที่พัก ตลอดจนผู้เกี่ยวข้อง

4. หัวก๊อกน้ำ (Water tap) และฝักบัวอาบน้ำ (Head shower)

4.1 ควรถอดหัวก๊อกน้ำและฝักบัวออกมาแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หรือนำไปแช่ในสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 10 ppm. นาน 5 นาที ในกรณีที่ถอดหัวก๊อกน้ำไม่ได้ ให้ฉีดด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

4.2 ควรสำรองฝักบัวอาบน้ำหรือก๊อกน้ำจำนวนหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนใช้ทันทีที่นำหัวฝักบัวหรือก๊อกน้ำที่ใช้งานอยู่ทำความสะอาด ในกรณีไม่มีผู้ให้บริการหรือหยุดการใช้น้ำนาน ให้เปิดน้ำจากฝักบัวทิ้งไว้ 3-5 นาทีเป็นประจำ อย่างน้อย 1 ครั้ง/สัปดาห์

ในกรณีปิดใช้อาคารหรือโรงแรมเป็นเวลานาน ควรทำความสะอาดตามข้อ 4.1 ทุกห้องพัก ก่อนเปิดให้บริการ

5. ระบบหอผึ่งเย็น (Cooling Tower)

5.1 ควรดูแลทำความสะอาดตามกำหนดระยะเวลา เพื่อไม่ให้เกิดสิ่งสกปรกสะสม Biofilm เกิดสาหร่ายและโปรโตซัวซึ่งเป็นแหล่งอาหารของเชื้อ

5.2 ควรควบคุมคุณภาพของน้ำที่นำมาใช้ในหอผึ่งเย็น ให้มีคุณลักษณะได้ตามมาตรฐานน้ำ เช่น ความใส ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารกัดกร่อน สารแขวนลอย ตลอดจนเชื้อแบคทีเรีย อย่างสม่ำเสมอ

5.3 ควรตรวจสอบจุดบกพร่องของหอผึ่งเย็นตลอดจนระบบท่อน้ำ เช่น จุดชำรุด สนิม ตะกรัน เป็นประจำตามตารางที่กำหนด

5.4 ควรให้น้ำในหอผึ่งเย็น และในระบบท่อเกิดการหมุนเวียน (Circulation) ไม่เกิดสภาพนิ่งที่จะทำให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อได้ง่าย

5.5 หากหอผึ่งเย็นมีระบบป้องกันละอองน้ำ ควรตรวจสอบการทำงานอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองน้ำสู่บริเวณโดยรอบ และควรเปิดการทำงานตลอดเวลา

5.6 ในกรณีปิดใช้อาคารหรือโรงแรมเป็นเวลานาน และปิดการทำงานของหอผึ่งเย็นเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดสภาวะน้ำนิ่งในหอผึ่งเย็น เกิดการสะสมของสิ่งสกปรก ตะกอน Biofilm เกิดสาหร่ายและโปรโตซัวซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีของเชื้อ ทำให้หอผึ่งเย็นเป็นรังโรคจนเกิดการแพร่ระบาดได้ ดังนั้นก่อนการเปิดใช้งานหอผึ่งเย็น ควรขัดตะกรัน ตะไคร่ออกให้หมด และให้ทั้งน้ำ (drain) ทั้งหมด และทิ้งไว้ให้แห้งก่อนทำการฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอรีนเข้มข้น 10 ppm. ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 3 – 6 ชั่วโมงและ drain น้ำทิ้ง ก่อนเปิดน้ำเข้าระบบต่อไป

6. ระบบจัดการทั่วไป

6.1 แต่งตั้งเจ้าหน้าที่หรือคณะทำงาน เพื่อควบคุมการจัดการเชื้อลิจิโอเนลล่าโดยเฉพาะ ในกรณีที่เกิดปัญหาการแพร่ระบาดหรือมีแขกที่เข้าพักติดเชื้อ สามารถเข้าปฏิบัติงานได้ทันที

6.2 ควรเพิ่มศักยภาพเจ้าหน้าที่ ให้มีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโรคติดเชื้อ เพื่อประโยชน์ในการการควบคุม ป้องกันและเฝ้าระวังโรค

6.3 ทำการจดบันทึกข้อมูลรายละเอียดผลการบำบัดน้ำ จากจุดต่างๆ ในทุกประเภท เช่น บันทึกค่า pH ค่าความเข้มข้นคลอรีนตกค้างที่ถังพักน้ำใช้ทุกวัน หรือความถี่ที่กำหนด ค่า pH, Conductivity , Alkalinity จากหอผึ่งเย็น และมีชื่อผู้จดบันทึกและเวลาจดบันทึกชัดเจน

6.4 ควรทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ เช่น หอผึ่งเย็น ถังพักน้ำใช้ และระบบทำน้ำร้อนในอาคาร/โรงแรม เพื่อตรวจวิเคราะห์หาเชื้อลิจิโอเนลล่าทุก 6 เดือนเป็นอย่างน้อย เพื่อให้แน่ใจในวิธีการบำรุงรักษาและการทำความสะอาดที่สามารถควบคุมและกำจัดเชื้อได้จริง โดยจุดเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์หาเชื้อลิจิโอเนลล่าควรมีดังต่อไปนี้

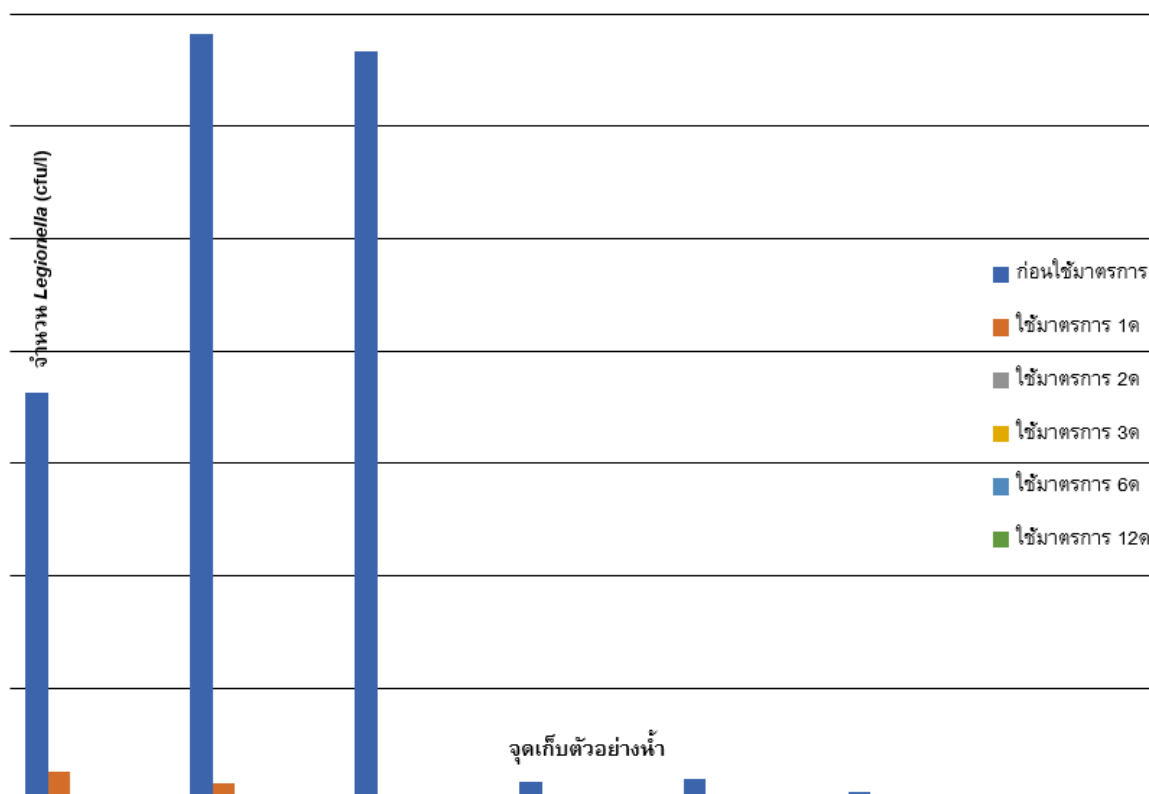
- น้ำร้อนและน้ำเย็นในห้องพักแขก (Hot water & Cold water)
- ถังพักน้ำใช้ ถังน้ำใต้ดิน (Underground tank) และถังน้ำดาดฟ้า (Roof tank)
- ถังผลิตน้ำร้อน (Hot water tank)
- หอผึ่งเย็น (Cooling tower) โดยมีจุดเก็บ น้ำเข้า(Inlet) น้ำในถาด(Basin) และ น้ำออก (Outlet)
- หัวก๊อกและฝักบัวอาบน้ำ (Water tap & Head shower)
- น้ำถาดแอร์ หรือน้ำทิ้งจากระบบทำความเย็น (Water tray / Air condition drainage)
- น้ำพุ หรือน้ำตกประดับ (Decorative waterfall & Decorative fountain)

7.3 ประเมินประสิทธิภาพของ SSOP ในการเฝ้าระวังโรคติดเชื้อในโรงแรม

เปรียบเทียบการพบเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากแหล่งน้ำภายในโรงแรมตามจุดที่กำหนด ก่อนใช้ SSOP เฝ้าระวังโรคติดเชื้อในโรงแรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละจุดกำหนดจุดละ 3 ตัวอย่าง (triplicate) และเก็บตัวอย่างน้ำทุกจุดหลังการใช้มาตรการการเฝ้าระวัง 1, 2, 3, 6 และ 12 เดือน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 1

ปริมาณเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากแหล่งแพร่กระจายเชื้อภายในโรงแรม 7 แหล่งก่อนการใช้ SSOP เฝ้าระวังเชื้อ พบว่าตรวจพบเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจาก ก๊อกน้ำเย็นในห้องพักแขก และหอผึ่งเย็น ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงมีค่าเฉลี่ย คือ 3408, 3333 และ 1816 cfu/l ตามลำดับ พบปริมาณเชื้อเล็กน้อยในน้ำจากถังพักน้ำร้อน ฝักบัวอาบน้ำ และถังพักน้ำบนดาดฟ้า ค่าเฉลี่ย คือ 99, 85 และ 41 cfu/l ตามลำดับ และตรวจไม่พบเชื้อในน้ำที่ถังเก็บน้ำเย็นใต้ดิน หลังจากใช้

SSOP เฝ้าระวังโรคเลิเจียแนร์ในโรงแรม พบว่าเดือนแรกจำนวนเชื้อที่พบมีเพียงในน้ำจากหอฝึ้งเย็น ก๊อกน้ำร้อน และก๊อกน้ำเย็น ค่าเฉลี่ยที่ 126, 78 และ 4 cfu/l ซึ่งเป็นการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และไม่พบเลยในเดือนถัดมาตลอดจนครบ 12 เดือน ส่วนแหล่งน้ำภายในโรงแรมที่เหลือไม่พบเชื้อเลยหลังจากการเริ่มใช้มาตรการ และไม่พบตลอดจนครบ 12 เดือน จึงสามารถสรุปได้ว่า SSOP เฝ้าระวังโรคเลิเจียแนร์ในโรงแรมได้ผล โดยเฉพาะถ้าผู้บริหารให้ความสำคัญกับการดำเนินการของพนักงานทุกระดับ และการมีคณะทำงานควบคุมและเฝ้าระวังโรคเลิเจียแนร์ในโรงแรมช่วยในการป้องกันการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของเชื้อลิจิโอเนลล่าได้



ภาพที่ 1 เชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากแหล่งน้ำภายในโรงแรมตามจุดที่กำหนด ก่อนและหลังการใช้ SSOP เฝ้าระวังโรคเลิเจียแนร์ในโรงแรม

8. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแพร่กระจายของเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากระบบทำความเย็น ระบบกักเก็บน้ำและระบบจ่ายน้ำในโรงแรมแห่งหนึ่งในเขตคลองเตยที่มีรายงานว่าตรวจพบเชื้อลิจิโอเนลล่าในแหล่งน้ำของโรงแรม พบว่าการปนเปื้อนของเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากหอฝึ้งเย็น น้ำจากก๊อกน้ำร้อน ก๊อกน้ำเย็นในห้องพักแขก ก่อนช่วงสูง แต่ไม่เกิน 104 cfu/l พบปริมาณเพียงเล็กน้อย ในน้ำจากฝักบัวอาบน้ำ ถึงพักน้ำร้อน และถึงพักน้ำเย็นบนดาดฟ้า และไม่พบเลยในน้ำจากถังพักน้ำเย็นใต้ดิน เนื่องจากเชื้อลิจิโอเนลล่ามีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญอยู่ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ดังนั้นน้ำจากแหล่งน้ำที่ถูกเพิ่มอุณหภูมิด้วยระบบให้ความร้อนจึงอาจตรวจพบเชื้อนี้ได้ ดังนั้นน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องทำน้ำร้อนจึงควรมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป

จากการทำ SWOT analysis ของการบริหารจัดการระบบน้ำภายในโรงแรม และการดำเนินการของบุคลากร ในการเฝ้าระวังหรือป้องกันการเจริญของเชื้อลิจิโอเนลล่า งานวิจัยนี้จึงสร้าง SSOP เพื่อเฝ้าระวังโรคเลิเจียแนร์ในโรงแรมขึ้น

และภายหลังการใช้ SSOP ได้มีการติดตามการปนเปื้อนหรือยู่รอดของเชื้อลิจิโอเนลล่าในแหล่งกระจายน้ำต่าง ๆ ของโรงแรม เป็นระยะ 1, 2, 3, 6 และ 12 เดือน พบว่าภายในเดือนแรกยังตรวจพบเชื้อลิจิโอเนลล่าในน้ำจากห้องฝักเย็น ก๊อกน้ำร้อน ก๊อกน้ำเย็น ฝักบัวอาบน้ำ ถึงพักน้ำร้อน และถึงพักน้ำเย็น แต่ในเดือนต่อๆ มาจนถึง 12 เดือนตรวจไม่พบเชื้ออีกเลย จึงแสดงว่า SSOP เฝ้าระวังโรคเลิเจียนในโรงแรมที่จัดสร้างขึ้นได้ผลดี ผู้บริหาร พนักงานและผู้เกี่ยวข้องให้ความร่วมมือปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด ผู้บริหารส่งเสริมให้บุคลากรมีความรู้เบื้องต้นในการตรวจสอบแหล่งแพร่เชื้อตามจุดต่างๆ อีกทั้งได้สร้างคณะทำงานการเฝ้าระวังการแพร่กระจายเชื้อระหว่างแผนกงานในโรงแรมเพื่อการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

9. ข้อเสนอแนะ

เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ในวงกว้าง ควรส่งเสริมให้มีการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อของโรงแรมต่างๆ เช่น บอร์ดกระจายข่าวที่มีประสิทธิภาพให้สามารถเข้าถึงเจ้าหน้าที่ทุกแผนกเพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมโรคเลิเจียน ส่งเสริมให้ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการป้องกันโรคเลิเจียนอย่างมีประสิทธิภาพ

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหาร และพนักงานของโรงแรม และขอขอบคุณพนักงานเจ้าหน้าที่ฝ่ายสิ่งแวดล้อม เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร และอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกด้าน ทำให้การศึกษาเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิจศิริ เรืองรังษี และ ชนิตา พลาหนูเวช. "การเฝ้าระวังสุขภาวะและความเสี่ยงจากการติดเชื้อโรคใน สปา", รายงานวิจัยศูนย์ศึกษาและเฝ้าระวังปัญหาสุขภาพและสาธารณสุข วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2554.
- [2] พิพัฒน์ ลักษณะมีจรลกุล และคณะ. "ความชุกของการปนเปื้อนเชื้อลิจิโอเนลล่า นิวโมฟิล่าและลักษณะการดูแลบำรุงรักษาเครื่องทาวเวอร์ที่ติดตั้งในสถานที่บางแห่ง กรุงเทพมหานคร". *สงขลานครินทร์เวชสาร*. 32(1), หน้า 1-10. 2557.
- [3] สมชัย บวรกิตติ. "โรคทางละอองน้ำในอากาศ". *วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข*. 3(4), หน้า 489-494. 2552.
- [4] สมภพ ญาณพิสิฐกุล และนัยนา ศรีชัย. "ความชุกของเชื้อลิจิโอเนลล่า (*Legionella* sp.) ในหอฝักเย็นของโรงแรมในตำบลป่าตอง จังหวัดภูเก็ต", *การประชุมมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4 "การวิจัยเพื่อพัฒนาสังคมไทย" วันที่ 10 พฤษภาคม 2556, มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่*. 2556.
- [5] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. "การควบคุมเฝ้าระวังปัญหาการแพร่ระบาด โรคเลิเจียนแนร์". พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. กรุงเทพฯ. 2550.

กรอบการประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชันสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

A FRAMEWORK OF ATTRIBUTE DATA MEASUREMENT SYSTEM EVALUATION OF MACHINE VISION TECHNIQUES FOR CONTAMINATION DETECTION ON AIR BEARING SURFACE

ปัญญา สำราญพันธ์^{1*} ณภพ ชัยสุวรรณ² บุริม นิลแป้น³

Panya Samranhan^{1*} Napop Saisuwan² Burim Nilpan³

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

^{1,2,3} Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Corresponding author, E-mail : panya.su@bsru.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูง และมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 - 2562 โดยเฉลี่ยกว่า 3 หมื่นล้านบาท หรือเฉลี่ยต่อปี ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์พยายามพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อช่วยในการควบคุมคุณภาพ โดยเฉพาะการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กมีความพยายามเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบโดยพนักงาน เปลี่ยนเป็นการตรวจสอบด้วยระบบการประมวลผลภาพ หรือแมชชีนวิชันที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำ และความต่อเนื่องในการทำงานเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการตรวจสอบด้วยระบบแมชชีนวิชันก็ยังมีข้อจำกัดในด้านความเชื่อมั่นในการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบ สำหรับการตัดสินใจในการจะนำระบบมาใช้งาน ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดกรอบสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพระบบแมชชีนวิชัน ด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลนับสำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กรอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของบทความนี้มาจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอเป็น 3 ส่วน คือส่วนแรกคือการตรวจสอบคุณภาพด้วยแมชชีนวิชัน และการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบ และส่วนสุดท้ายเป็นกรอบของการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลนับสำหรับการวิเคราะห์ระบบแมชชีนวิชัน ผลของงานวิจัยนี้ นักวิชาการและผู้จัดการสามารถนำกรอบของการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลนับไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบความเชื่อมั่นของค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด และประเมินประสิทธิภาพสำหรับการทดสอบระบบแมชชีนวิชันต่อไป

คำสำคัญ : ระบบแมชชีนวิชัน, การวิเคราะห์ระบบการวัด ,การประเมินผลระบบการวัด

ABSTRACT

The electronics industry of Thailand is an industry with high potential and very important to the Thai economy. the exported value from 2016 to 2019 years, an average of over US \$ 30 billion per year. In the electronics industry, trying to develop new technologies to control quality, especially the small electronic components quality inspection. Attempts have been made to change the inspection method by the employee

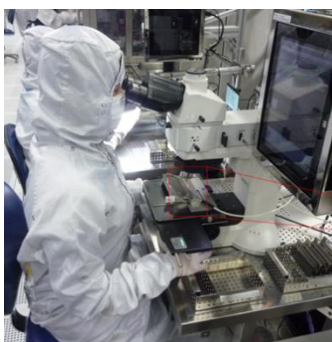
to image processing systems or machine vision. It improves the accuracy and continuity of work. However, the machine vision inspection has limitations in the confidence in the valuation of error from inspection results for a decision to implement the system. Therefore, this paper aims to provide a framework for analyzing the efficiency of machine vision systems by attribute data measurement system analysis for electronic components. The measurement system analysis framework of this document from the relevant literature review and presented in 3 parts, the first is a quality inspection by machine vision. The second part is the development of machine vision systems and the evaluation of the error from the inspection, and then finally is the measurement system analysis of the attribute data for machine vision analysis. Results of this document scholars and managers can apply a framework for analyzing the attribute data measurement system as a guideline for verifying the confidence of measurement error and evaluate the performance of the machine vision systems.

Keywords: Machine Vision System, Measurement System analysis, Measurement System Evaluation

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูง และมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 – 2562 โดยเฉลี่ยกว่า 3 หมื่นล้านเหรียญสหรัฐต่อปี [1] ซึ่งจากสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี พ.ศ.2562 และแนวโน้มปี 2563 ของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ได้สรุปแนวโน้มของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้อย่างน่าสนใจว่าการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในปี 2562 ถึงจะมีการปรับตัวลดลงร้อยละ 6.3 เมื่อเทียบกับปี 2561 เนื่องจากมีการหดตัวของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของโลก และการลดลงของมูลค่าการส่งออกของกลุ่มตลาดหลักที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น อาเซียน จีน สหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น แต่ถึงอย่างไรสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้การคาดการณ์แนวโน้มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปี 2563 จะเพิ่มขึ้นได้อีกร้อยละ 1.6 เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเศรษฐกิจโลกจะเข้าสู่ภาวะขาขึ้นของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โลก และเมื่อพิจารณาสินค้าหลักบางรายการเช่น อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ที่จะมีการย้ายฐานการผลิตจากมาเลเซียมายังประเทศไทย ทำให้ไทยได้ประโยชน์จากศักยภาพในอุตสาหกรรมดังกล่าว จากมูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ประมาณร้อยละ 70 เป็นสินค้าประเภท Hard disk drive(HDD), Integrated circuit(IC), และ Printed circuit board(PCB) รวมกัน

การควบคุมคุณภาพของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจะมุ่งเน้นการควบคุมสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ บนชิ้นงานด้วยการสร้างห้องคลีนรูม การเปลี่ยนเครื่องแต่งกายในการเข้าพื้นที่ปฏิบัติงาน และทำการตรวจสอบชิ้นงานด้วยพนักงานทั้งก่อนเข้ากระบวนการและที่เป็นสินค้าสำเร็จรูปแล้ว ซึ่งการตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก เช่น หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ต้องใช้กล้องขยายขนาด 20 เท่า กรณีตรวจสอบเบื้องต้น และกำลังขยายขนาด 200 เท่า กรณีตรวจสอบแบบละเอียด ดังนี้



รูปที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กด้วยพนักงาน

<http://jeet.siamtechu.net>

การควบคุมคุณภาพของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน นอกเหนือจากการตรวจสอบคุณภาพด้วยพนักงานแล้ว ภาคอุตสาหกรรมได้เร่งพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการตรวจสอบ เนื่องจากถึงแม้ว่าการตรวจสอบด้วยพนักงานจะมีข้อดีที่มีความยืดหยุ่นสามารถตัดสินใจได้หลายลักษณะ แต่ก็จะมีข้อจำกัดด้านเวลาและความต่อเนื่องในการทำงาน จึงเป็นที่มาของการนำเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพจากการถ่ายภาพเข้ามาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว ตัวอย่างการนำเครื่องจักรเข้ามาช่วยพนักงานในการตรวจสอบสินค้า [2] ดังเช่นการตรวจสอบความสมบูรณ์รอยเชื่อมของวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ [3] ตรวจสอบและแยกของเสียจำนวน 6 ลักษณะแบบอัตโนมัติ[4] และการตรวจสอบของเสียที่ผิวของ TFT-LCD เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีต่าง ๆ จะถูกนำเข้ามาช่วยและทำงานทดแทนการทำงานของมนุษย์มากยิ่งขึ้น [5]

แต่อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยภาพถ่าย หรือระบบแมชชีนวิชั่นถึงจะมีการพัฒนาไปมาก แต่ยังคงพบข้อจำกัดในการประเมินค่าความเชื่อมั่นของความคลาดเคลื่อนจากระบบแมชชีนวิชั่นซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาระบบแมชชีนวิชั่นนิยมแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือสำหรับการฝึกอบรม และการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัด แต่ยังมีงานวิจัยส่วนน้อยที่ประยุกต์การศึกษา GR&R แบบข้อมูลนับสำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นบทความนี้จะกำหนดกรอบในการประเมินค่าความเชื่อมั่นของความคลาดเคลื่อนจากระบบแมชชีนวิชั่น ด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R ข้อมูลนับตามแนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัด(Measurement System Analysis: MSA) ของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์(Automotive Industry Action group: AIAG) [6]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R แบบข้อมูลนับของการทดสอบระบบแมชชีนวิชั่น สำหรับตรวจสอบรอยตำหนิบนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ตามแนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) ของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industry Action group: AIAG)

3. การตรวจสอบคุณภาพด้วยแมชชีนวิชั่น

การตรวจสอบคุณภาพของสินค้าด้วยระบบการประมวลผลภาพในภาคอุตสาหกรรม สามารถแยกประเภทการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้ 4 ประเภท [2] คือการตรวจสอบขนาด การตรวจสอบพื้นผิว การตรวจสอบเทียบกับมาตรฐาน และการตรวจสอบโครงสร้าง ซึ่งการตรวจสอบรอยตำหนิบนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของกรอบงานวิจัยครั้งนี้อยู่ในกลุ่มของการตรวจสอบคุณภาพแบบพื้นผิว(Surface) และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจสอบพื้นผิว มุ่งเน้นตรวจจับข้อบกพร่องบนพื้นผิวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะพยายามสร้างความเด่นชัดของความแตกต่างบนพื้นผิวของภาพถ่าย เช่น ระดับสี ,ขอบองค์ประกอบในภาพ ซึ่งหลายๆ งานวิจัยจะนำเทคนิคการประมวลผลภาพ หรือระบบแมชชีนวิชั่นมาใช้ในการตรวจจับข้อบกพร่องด้วย 3 เทคนิค [7] คือการจดจำรูปแบบทางสถิติ (Statistical pattern recognition) การแยกแยะคุณลักษณะ(feature vector extraction) และการจำแนกภาพพื้นผิว (texture/image classification) โดยตัวอย่างลักษณะข้อบกพร่องบนพื้นผิวของแต่ละผลิตภัณฑ์ถึงจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน แต่ก็ยังมีสิ่งที่เหมือนกันและสามารถระบุได้ คือข้อบกพร่องจะมีลักษณะเด่นที่นอกเหนือจากพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่เป็นปกติ [8]

4. ขั้นตอนการพัฒนาระบบแมชชีนวิชั่น และการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการ

ตรวจสอบ

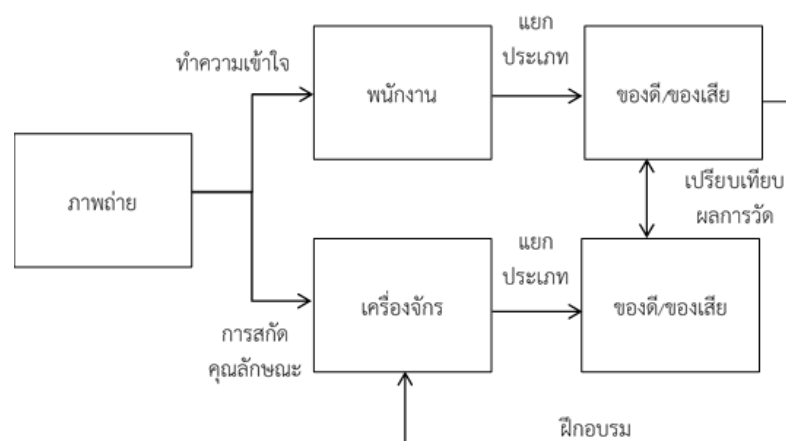
ดังที่กล่าวมาแล้วในภาพรวมของการตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติถึงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งในเอกสารวิชาการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีขั้นตอนการดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพสินค้าอัตโนมัติ

ลำดับ	ผู้วิจัย/ปีที่ตีพิมพ์	Input image	Optical Acquisition	Image Acquisition	Pre-processing	Segmentation	Feature extraction	Feature selection	Training	Classify	สรุปขั้นตอนและรูปแบบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
1.	[9]		/		/	/	/			/	การมองเห็นของเครื่องจักรจากภาพต้นแบบ
2.	[10]	/			/		/	/		/	อธิบายความสัมพันธ์ของการจดจำจากการมองเห็นของเครื่องจักร
3.	[11]			/	/		/	/	/	/	พัฒนาการเรียนรู้จากการมองเห็น และจดจำที่ซ้ำ ๆ กัน

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ[12] และ [13] ที่มีขั้นตอนดำเนินการตรวจสอบคุณภาพจากภาพ 3 ขั้นตอนคือการเตรียมภาพ (Preprocessing), การแยกองค์ประกอบของภาพ (Feature extraction), และการแบ่งประเภทของภาพ (Pattern classification) และงานวิจัยของ[14] การออกแบบกระบวนการตรวจสอบหน้าสัมผัสหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่มีประสิทธิภาพสิ่งที่สำคัญคือความสามารถในการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (ROI)

ขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการตรวจสอบอัตโนมัติด้วยระบบแมชชีนวิชชั่นมีขั้นตอนที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่สามารถสรุปขั้นตอนได้ 3 ขั้นตอนหลักๆ คือขั้นตอนการเตรียมกระบวนการเพื่อให้เครื่องสามารถอ่านภาพได้ ขั้นตอนการทำให้เครื่องจักรรู้จักภาพเพื่อทำการประมวลผล และขั้นตอนการตัดสินใจเพื่อแยกประเภทของภาพ และการเปรียบเทียบผลตรวจสอบคุณภาพของพนักงานและการตรวจสอบคุณภาพด้วยเครื่องจักร โดยสามารถสรุปได้ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2 กรอบการประเมินประสิทธิภาพระบบการตรวจสอบคุณภาพระหว่างพนักงานและแมชชีนวิชชั่น

5. การประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับ

5.1 ความหมายของการประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับ

การประเมินผลระบบการวัด(Measurement system evaluation ; MSE) หรือ การศึกษา GR&R สำหรับการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบคุณลักษณะเชิงคุณภาพหรือข้อมูลนับ(Attribute Characteristics) การประเมินผลจะออกมาในรูปแบบยอมรับหรือปฏิเสธ ซึ่งในเอกสารนี้จะนำเสนอวิธีการประเมินผลในระยะสั้นเพื่อตรวจสอบความสามารถจากการทำเหมือน และทำซ้ำ [15] ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ รีพีทอะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (1)$$

$$\% \text{ ความไม่ไว้วางใจของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2)$$

5.2 การกำหนดตัวอย่างในการวิเคราะห์ระบบการวัด

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าการพัฒนาระบบแมชชีนวิชั่นต้องอาศัยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร โดยเตรียมตัวอย่าง(ภาพ)สำหรับการฝึกอบรมให้เครื่องจักรเกิดการเรียนรู้ชุดหนึ่ง และข้อมูลอีกชุดหนึ่งสำหรับการประเมินค่าความคลาดเคลื่อน [10] [15] กำหนดตัวอย่างไว้ 3 ลักษณะ คือลักษณะดี ลักษณะเสีย และลักษณะก้ำกึ่ง(ทั้งก้ำกึ่งดีและก้ำกึ่งเสีย จำนวนอย่างละเท่า ๆ กัน) ทั้ง 3 ลักษณะจะกำหนดจำนวนตัวอย่างลักษณะละ 1 ใน 3 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด [16] โดยการกำหนดจำนวนตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำอย่างน้อย อ้างอิงตาม [17] ซึ่งการทดสอบระบบแมชชีนวิชั่นของเอกสารนี้จะทำการเปรียบเทียบผลที่ตรวจสอบได้จากระบบแมชชีนวิชั่นเทียบกับพนักงาน เปรียบได้กับมีจำนวนพนักงาน 2 คน เปรียบเทียบกัน จึงเลือกใช้จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด 18 ตัวอย่าง และมีจำนวนทดลองซ้ำเท่ากับ 4 ครั้ง [15] มีแผนการรวบรวมข้อมูลดังตารางต่อไป

ตารางที่ 2 ตารางการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R แบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชั่นและพนักงาน

ลำดับ	คุณภาพงานที่แท้จริง (ดี หรือเสีย)	ตรวจสอบด้วยคน				ตรวจสอบด้วยเครื่อง			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1									
2									
3									
...									
n									

5.3 การวิเคราะห์ผลของระบบการตรวจสอบของระบบแมชชีนวิชั่น

การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบของระบบแมชชีนวิชั่นเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการตรวจสอบของพนักงานเทียบกับผลการตรวจสอบของระบบแมชชีนวิชั่น ภายใต้สมมติฐานของความมีประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานและระบบแมชชีนวิชั่นที่ละคู่ ดังสมมติฐานต่อไปนี้

H_0 : พนักงานและระบบแมชชีนวิชั่นไม่มีผลต่อค่าวัดจากระบบการตรวจสอบ

H_1 : พนักงานและระบบแมชชีนวิชั่นมีผลต่อค่าวัดจากระบบการตรวจสอบ

5.3.1 การประเมินประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานด้วย GR&R แบบข้อมูลวัด

เพื่อประเมินค่ารีพีเทบิลิตี้ของผู้ตรวจสอบ(พนักงาน และระบบแมชชีนวิชั่น) และหากไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดให้ทำการปรับปรุงการเรียนรู้ของเครื่องจักรใหม่ และทำการประเมินค่ารีพีเทบิลิตี้เพื่อปรับปรุงค่าให้ดีขึ้น และการประเมินค่าความไม่ไวของของผู้ตรวจสอบ และหากไม่ผ่านเกณฑ์จะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่ ซึ่งการประเมินค่ารีพีเทบิลิตี้ และความไม่ไวของนี้จะช่วยให้ผู้พัฒนาระบบแมชชีนวิชั่นสามารถทราบได้ถึงสาเหตุและจุดที่ต้องปรับปรุงระบบเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบลงได้

5.3.2 การเปรียบเทียบวิธีการตรวจสอบแบบเก่า(พนักงานตรวจสอบ) และวิธีการตรวจสอบแบบใหม่ (ระบบแมชชีนวิชั่น) เพื่อประกอบการตัดสินใจถึงวิธีการใหม่ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้หรือไม่

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการทดสอบระหว่างพนักงานและระบบแมชชีนวิชั่น

		พนักงาน		ผลรวม
		ของเสีย	ของดี	
ระบบแมชชีนวิชั่น	ของเสีย			
	ของดี			
ผลรวม				

การทดสอบสมมุติฐานจะพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างกันจากผลการตรวจสอบของพนักงานและระบบแมชชีนวิชั่นที่เหมือนกัน (Interrater agreement) ด้วย Cohen's Kappa หรือ Kappa and Kendall's coefficient ดังสมการ

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

เมื่อ P_o = ผลรวมของค่าสังเกตแนวทแยงมุม

P_e = ผลรวมของค่าสัดส่วนคาดหวังแนวทแยงมุม

ซึ่ง [6] แนะนำการประเมินผล Kappa ที่ได้ไว้ว่า

$Kappa \geq 0.75$ หมายถึง ผลการตรวจสอบพ้องกันดีมาก

$Kappa \leq 0.40$ หมายถึง ผลการตรวจสอบไม่พ้องกัน

5.2.3 ความสามารถในการตรวจสอบของระบบแมชชีนวิชั่น

โดยพิจารณาถึงควมมีประสิทธิภาพของพนักงาน(operation effectiveness index; O_E) ดัชนีการตรวจสอบปฏิเสธที่ผิดพลาด(False alarm index; I_{FA}) และดัชนีการตรวจสอบยอมรับที่ผิดพลาด(Index of a miss; I_{MISS}) ดังสมการต่อไปนี้

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนโอกาสทั้งหมดที่จะถูกต้อง}} \quad (4)$$

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธผิดพลาด}}{\text{จำนวนโอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด}} \quad (5)$$

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด}}{\text{จำนวนโอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับผิดพลาด}} \quad (6)$$

ตารางที่ 4 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับความสามารถการตรวจสอบของพนักงาน[18] ไว้ดังตารางต่อไปนี้

การตัดสินใจ	O_E	I_{FA}	I_{MISS}
ยอมรับพนักงานทดสอบ	$\geq 90\%$	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$
ยอมรับพนักงานแบบกำกึ่ง	$\geq 80\%$	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
ปฏิเสธพนักงานทดสอบ	$< 80\%$	$> 5\%$	$> 10\%$

หมายเหตุ พนักงานสำหรับเอกสารนี้หมายถึงระบบแมชชีนวิชชั่น

การวิเคราะห์ระบบการวัดยังสามารถพยากรณ์โอกาสในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์บกพร่องอย่างถูกต้อง ตามกฎของเบย์ [15] ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P(\text{บกพร่องจริง/ตรวจว่าบกพร่อง}) = \frac{P(\text{สัดส่วนปฏิเสธถูก}) P(\text{บกพร่องจริง})}{P(\text{สัดส่วนปฏิเสธถูก}) P(\text{บกพร่องจริง}) + P(\text{สัดส่วนปฏิเสธผิดพลาด}) P(\text{ของดี})} \quad (7)$$

สัดส่วนปฏิเสธถูก หมายถึง พนักงานตรวจว่าบกพร่อง / สินค้ามีความบกพร่องจริง(ของเสีย)

สัดส่วนปฏิเสธผิดพลาด หมายถึง พนักงานตรวจว่าบกพร่อง / สินค้าไม่มีความบกพร่อง(ของดี)

6. บทสรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดผลการตรวจสอบของระบบแมชชีนวิชชั่น สำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ จากกรอบของการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดเป็นกรอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบของแมชชีนวิชชั่น และนำไปประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดว่ามีสาเหตุมาจากแหล่งใดเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแมชชีนวิชชั่นให้ดีขึ้นได้ ข้อจำกัด การนำเสนอกรอบสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในเอกสารนี้เป็นเพียงกรอบการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเท่านั้น และงานวิจัยหลังจากนี้จะนำกรอบที่นำเสนอไปใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์ระบบการวัดของระบบแมชชีนวิชชั่นสำหรับการตรวจสอบหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ต่อไปและจะกลับมารายงานผลอีกครั้ง

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ประจำปีงบประมาณ 2563

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (2563). รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: [http://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industry% 20conditions/ annual2019trends2020.pdf.pdf](http://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industry%20conditions/annual2019trends2020.pdf.pdf)
- [2] Malamas EN, Petrakis EGM, Zervakis M, Petit L, Legat JD. A survey on industrial vision systems, applications and tools. *Image Vis Comput.* 2003;12(2):171–88.
- [3] Wu F, Zhang X. An inspection and classification method for chip solder joints using color grads and Boolean rules. *Robot Comput Integr Manuf.* 2014;30(5):517–26.
- [4] Jeffrey Kuo CF, Peng KC, Wu HC, Wang CC. Automated inspection of micro-defect recognition system for color filter. *Opt Lasers Eng.* 2015;70:6–17.
- [5] Cen YG, Zhao RZ, Cen LH, Cui LH, Miao ZJ, Wei Z. Defect inspection for TFT-LCD images based on the low-rank matrix reconstruction. *Neurocomputing.* 2015;149(C):1206–15.
- [6] Down M, Czubak F, Gregory G, Stahley S, Benham D. Measurement System Analysis - MSA Fourth Edition [Internet]. Automotive Industry Action group: AIAG; 2010. 1–241 p. Available from: <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools/msa>
- [7] Tsai DM, Chen MC, Li WC, Chiu WY. A fast regularity measure for surface defect detection. *Mach Vis Appl.* 2012;23(5):869–86.
- [8] Lin HD. Automated visual inspection of ripple defects using wavelet characteristic based multivariate statistical approach. *Image Vis Comput.* 2007;25(11):1785–801.
- [9] Golnabi H, Asadpour A. Design and application of industrial machine vision systems. *Robot Comput Integr Manuf.* 2007;23(6):630–7.
- [10] Demant C, Streicher-Abel B, Garnica C. Industrial Image Processing. 2nd ed. Industrial Image Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013.
- [11] Ravikumar S, Ramachandran KI, Sugumaran V. Machine learning approach for automated visual inspection of machine components. *Expert Syst Appl.* 2011;38(4):3260–6.
- [12] Snyder WE, Qi H. Machine vision. Machine Vision. Cambridge University Press; 2010.
- [13] Satorres S, Gomez J, Gamez J, Sanchez A. A Machine Vision for Automated Headlamp Lens Inspection. *Vis Sensors Edge Detect.* 2010;(August).
- [14] Kunakornvong P, Sooraksa P. Machine vision for defect detection on the air bearing surface. In: Proceedings - 2016 IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, IS3C 2016. IEEE; 2016. p. 37–40.
- [15] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) : ประมวลผลด้วย MINITAB. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2546
- [16] Wen S, Chen Z, Li C. Vision-based surface inspection system for bearing rollers using convolutional neural networks. *Appl Sci.* 2018;8(12):1–19.
- [17] Fasser Y. and Brettner D., Wiley. Quality and Reliability Engineering. New York: John Wiley & Sons Inc.; 1992.
- [18] Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Measurement system analysis 4th ed. Automotive Industrial Action Group(AIAG); 2010.

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMATIC TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM FOR OYSTER MUSHROOM HOUSE CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

นิติคม อริยพิมพ์¹ และชัยพร อัดโดดดร^{2*}

Nitikom Ariyapim¹ and Chaiporn Addoddorn^{2*}

¹อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

² อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

*Corresponding author, E-mail : chaiporn.add@neu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยให้ระบบภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในการควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบกับก้อนเห็ดนางฟ้า โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นมีผลกระทบต่อโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าโดยตรง ซึ่งโรงเรือนจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแล้วส่งค่าไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมให้ปั๊มน้ำสำหรับชุดพ่นละอองน้ำ พัดลมระบายอากาศ และหลอดไฟทำงาน สามารถปรับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นได้ตามที่ต้องการ มีการแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นผ่านหน้าจอแสดงผลเจ็ดส่วน โรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้ามีขนาดความกว้าง 150 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่า การเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนมากกว่าหรือเท่ากับ 33 องศาเซลเซียสและความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70% ปั๊มน้ำจะทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นและระบายความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิในโรงเรือนลดลงให้ต่ำกว่า 33 องศาเซลเซียส เมื่อความชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 80% พัดลมจะทำงานและปั๊มน้ำจะหยุดทำงาน สามารถตอบสนองตรงกับความต้องการของผู้ใช้และสามารถนำระบบไปใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: อุณหภูมิ ความชื้น โรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า อัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

Automatic temperature and humidity control system for the mushroom house has the objective to apply technology to help make the system inside the mushroom house to be more efficient. To control the factors affecting the mushroom cube, the temperature and humidity has a direct effect on the mushroom house cultivation. The mushroom houses are equipped with temperature and humidity sensors that send the signal data to the microcontroller to control the water pump of the spray unit, ventilation fan and lamps so that the temperature and humidity can be adjusted as needed. The temperature and humidity are displayed using a seven-segment display. Oyster Mushroom house has the dimension as follows, the width is 150 cm, the length

<http://jeet.siamtechu.net>

is 200 cm and the height is 200 cm. From the experiment, it was found that, for automatic mushroom cultivation, when the indoor temperature is greater than or equal to 33 °C and the humidity is less than or equal to 70%, the water spray pump will be driven to increase the humidity and cool down the environment to bring the house temperature down to below 33 °C. When the humidity is greater than or equal to 80 %, the fan will be driven and the water spray pump will stop. From the results, it can be seen that this system can be used in practice in accordance with its objectives.

Keywords: Temperature, Humidity, Oyster Mushroom house, Automatic, Microcontroller.

1. บทนำ

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่เพาะเป็นการค้าในประเทศไทย เห็ดชนิดนี้สามารถพบได้ตามธรรมชาติ ชอบเจริญตามไม้เนื้ออ่อนที่กำลังผุ เห็ดนางฟ้ามีคุณค่าทางโภชนาการมาก ถือได้ว่าเป็นเห็ดที่ได้รับความนิยมสูงมาก ปัจจุบันการเพาะเห็ดนางฟ้าเป็นอาชีพที่มีความสำคัญในทางเศรษฐกิจอาชีพหนึ่งของประเทศไทย การเพาะเห็ดนางฟ้าสามารถเพาะเห็ดนางฟ้าได้เองและมีความสะดวกสบายในการเพาะเห็ดนางฟ้ามากยิ่งขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติของแผ่นนำความเย็น คือ เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนเป็นความเย็น โดยการนำความเย็นโดยตรงจากเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์และใช้พัดลมช่วยพาความเย็นออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำความเย็นมาใช้กับระบบเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะเห็ดโดยในตัวโรงเรือนจะมีระบบต่างๆ อีก [1] และได้นำเสนอระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะเห็ดโดยในตัวโรงเรือนจะมีระบบตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นอยู่ตลอดเวลาหากไม่เป็นตามที่ต้องการ เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงระบบควบคุมก็จะสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงานเพื่อลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนและถ้าหากความชื้นภายในโรงเรือนต่ำระบบควบคุมก็จะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับโรงเรือน [2] ส่วนในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องพ่นละอองน้ำ หลอดไฟและพัดลมระบายอากาศ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อนำค่าไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ [3,4] ควบคุมให้ปั๊มน้ำพ่นละอองน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้แก่โรงเรือน ในการควบคุมอุณหภูมิเพื่อทำให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม การเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือนใช้หลอดไฟเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มอุณหภูมิและพัดลมระบายอากาศเป็นอุปกรณ์ในการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน [4] [5] โดยมีจอแสดงผลแสดงส่วนแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการเพาะเห็ดนางฟ้า ระบบจะตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นอยู่ตลอดเวลาและปรับการทำงานของอุปกรณ์ตามต้องการให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะเห็ดนางฟ้า ปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถนำเทคโนโลยีมาช่วยในการจัดการควบคุมกระบวนการทำงานภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและช่วยให้ประหยัดเวลาในการดูแล จึงได้ออกแบบและสร้างระบบชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขึ้นมา การทำงานของระบบชุดอุปกรณ์ในโรงเรือนนั้นช่วยในระบบการจัดการควบคุมการทำงานของเครื่องพ่นละอองน้ำ หลอดไฟและพัดลมระบายอากาศ ซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมให้ทำงานโดยอัตโนมัติได้โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน และระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงเรือนทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติ เงื่อนไขเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 33 องศาเซลเซียส อุปกรณ์ตรวจจับจะทำงานโดยสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อรักษาอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เมื่อความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70% อุปกรณ์ตรวจจับจะสั่งให้พ่นละอองน้ำออกมาและเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส ระบบจะทำงานอัตโนมัติและให้แสงสว่างภายในโรงเรือนเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นตามกำหนด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเตรียมโรงเรือนสำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

สำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าโรงเรือนควรเป็นแบบที่สร้างง่าย ลงทุนน้อย สำหรับการสร้างโรงเรือนให้เหมาะสมนั้นควรสร้างในที่เย็นชื้นและสะอาดปราศจากศัตรูของเห็ดที่จะเข้ามารบกวน หลังคามุงจากหรือแฝก การ

<http://jeet.siamtechu.net>

คลุมหลังคาขึ้นอยู่กับชนิดของเห็ดด้วย เพื่อป้องกันลมแรง ลมค้อย ลมหนาว ลมแห้งแล้ง สภาพลม สภาพอากาศ มีผลกระทบต่อการออกดอกของเห็ดได้เช่นเดียวกัน ปิดประตูด้วยกระสอบป่านหรือแผ่นยางปูพื้นด้วยทราย เพื่อเก็บความชื้น ทิศทางลมก็มีส่วนสำคัญในการโรงเพาะเห็ด ต้องดูทิศทางของลมเหนือลมใต้ เพื่อป้องกันการพัดพาเชื้อโรค ที่จะมีผลต่อก่อนเห็ด และการออกดอกของเห็ด วัสดุในการทำงานก็ใช้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น ไม้ไผ่ ไม้ยูคา ตัวเสา ก็อาจจะใช้ไม้ที่มีขนาดใหญ่เพื่อความแข็งแรงของโรงเรือน หลังคาใช้หญ้าแฝก ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการทำโรงเรือนเป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถกักเก็บความร้อนขึ้นได้ดีเป็นภูมิอากาศที่เหมาะสมกับเห็ดนางฟ้า

2.2 การเก็บเกี่ยวผลผลิตเห็ดนางฟ้า

หลังจากทำการบ่มเชื้อเห็ดนางฟ้าเรียบร้อยแล้ว เป็นช่วงระยะเวลาของการเปิดดอกและทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเห็ดนางฟ้า เห็ดนางฟ้าจะออกดอกเมื่อมีความชื้นสูงพอและอากาศไม่ร้อนมาก เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยอากาศเย็น ตอนกลางคืนก็จะออกดอกได้ดี เทคนิคที่ให้ออกดอกสม่ำเสมอและดอกใหญ่สามารถทำได้ดังนี้ เมื่อเก็บดอกเสร็จต้องทำความสะอาดหน้าก้อนเชื้อโดยเช็ดเห็ดออกให้หมด งดให้น้ำสัก 3 วัน เพื่อให้เชื้อพักตัวแล้วก็กลับมาให้น้ำอีกตามปกติเห็ดก็จะเกิดเยื่อเหมือนเดิมหรือเมื่อเก็บดอกเห็ดเสร็จทำความสะอาดหน้าก้อนเชื้อเหมือนเดิม ปิดปากถุงไม่ให้อากาศเข้า ทั้งระยะเวลาประมาณ 2 – 3 วัน ให้น้ำปกติหลังจากนั้นก็เปิดปากถุงก็จะเกิดดอกที่สม่ำเสมอเป็นการเหนี่ยวนำให้ออกดอกพร้อมกัน เมื่อเห็ดออกดอกและบานจนได้ขนาดตามที่ต้องการ ให้เก็บดอกโดยจับที่โคนดอกทั้งซ่อแล้วดึงออกจากถุงเห็ด ระวังอย่าให้ปากถุงเห็ดบาน ถ้าดอกเห็นโคนขาดติดอยู่ให้แกะออกทิ้งให้สะอาดเพื่อป้องกันการเน่าเสีย เป็นสาเหตุทำให้เกิดหนอนจากการวางไข่ของแมลงได้ ลักษณะดอกเห็ดที่ควรเก็บดอกไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป

2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

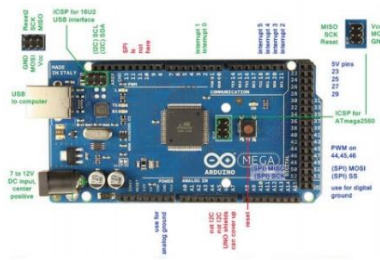
อุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature & Relative Humidity Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบสมองกลฝังตัวได้หลากหลาย เช่น การวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ และความชื้นในห้อง เป็นต้น อุปกรณ์ประเภทนี้แตกต่างกันตามผู้ผลิต ราคา ความแม่นยำ ความละเอียดในการวัด การให้ค่าแบบดิจิตอลหรือแบบอนาล็อก เป็นต้น การทดลองใช้งานโมดูล DHT22 / AM2302 ซึ่งมีราคาถูก ให้ค่าเป็นแบบดิจิตอล ใช้ขาสัญญาณดิจิตอลเพียงเส้นเดียวในการเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (serial data, bidirectional) โดยนำมาเชื่อมต่อกับอาดูโน (Arduino) เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์ ดังนี้



รูปที่ 1 DHT22 Temperature-Humidity Sensor

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

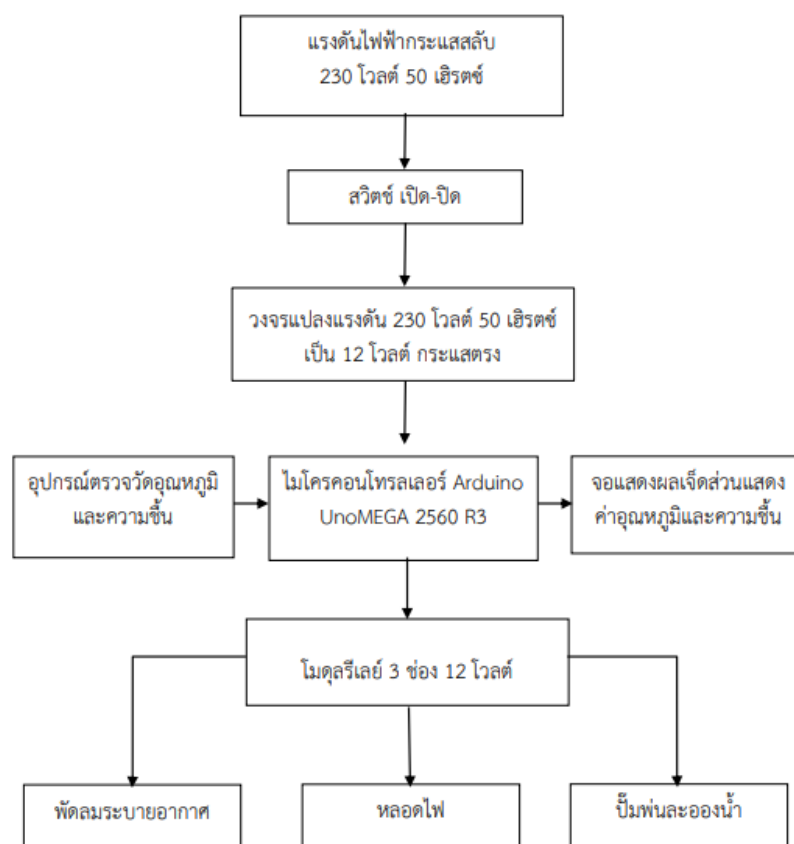
Arduino Mega2560 เป็นบอร์ดในตระกูล Arduino มีคุณสมบัติต่างๆ เพิ่มขึ้นจาก Arduino Uno R3 โดยมีหน่วยความจำแฟลช (Flash) 256 KB แรม 8 KB ใช้ไฟเลี้ยง 7-12 โวลต์ แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 โวลต์ มี Digital Input / Output มากถึง 54 ขา (เป็น PWM ได้ 14 ขา) มี Analog Input 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบน Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่างๆ ให้ต่อใช้งานมากขึ้น ดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา Arduino Mega2560

3. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

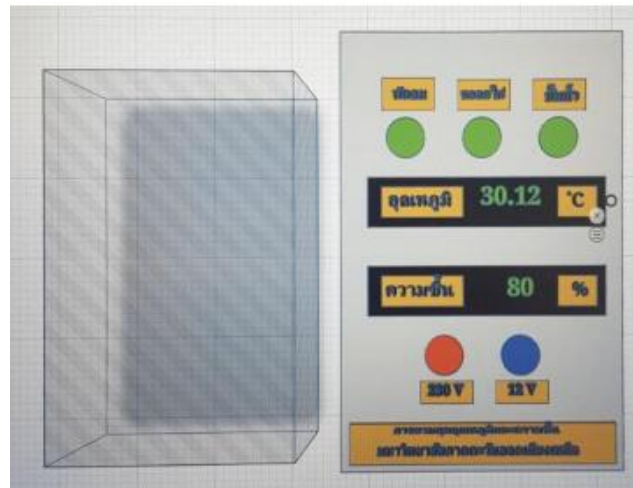


รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นอินพุต และส่วนที่เป็นเอาต์พุต โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560 เป็นตัวกลางรับข้อมูลจากอุปกรณ์ทางด้านอินพุตเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลส่งอุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุต ให้ทำงานตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้โดยอัตโนมัติซึ่งค่าอุณหภูมิและความชื้นจะแสดงผลบนจอแสดงผลเจ็ดส่วน

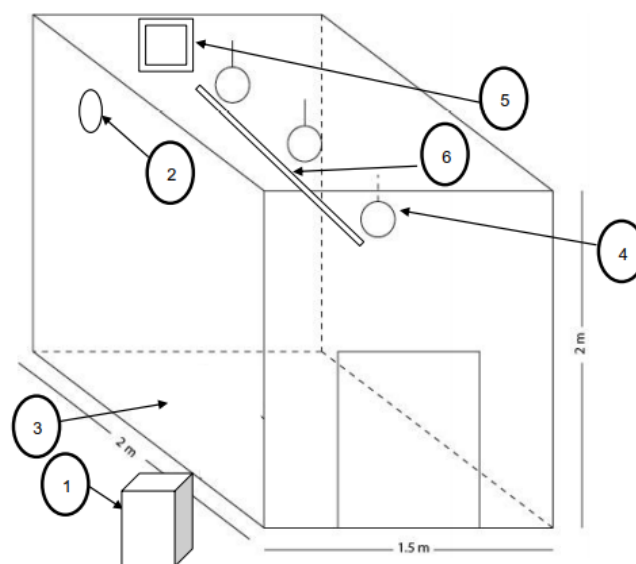
3.2 โครงสร้างของโรงเรือนเพาะเห็ด

3.2.1 การออกแบบตู้คอนโทรล



รูปที่ 4 ตู้คอนโทรล

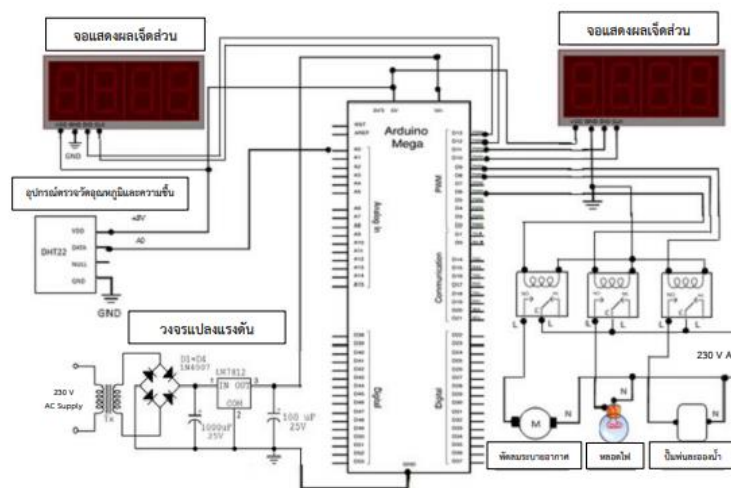
3.2.2 การออกแบบโรงเรือน



รูปที่ 5 โครงสร้างของโรงเรือน

1. ตู้คอนโทรล
2. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น
3. อุปกรณ์วางก้อนเห็ด
4. หลอดไฟชนิดไส้
5. พัดลมระบายอากาศ
6. อุปกรณ์พ่นละอองน้ำ

3.3 วงจรควบคุมการทำงาน



รูปที่ 6 วงจรควบคุมการทำงาน

จากวงจรอุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเพาะเห็ดนางฟ้า เริ่มจากส่วนแรกคือวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจร Rectifier โดยมีหม้อแปลงทำหน้าที่แปลงแรงดันจาก 230 โวลต์ไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เหลือ 12 โวลต์กระแสสลับ ต่อมาไดโอดที่ต่อแบบบริดจ์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงและใช้คาปาซิเตอร์ 1,000 uF และ 100 uF กรองสัญญาณให้เรียบยิ่งขึ้นและผ่านไปยังไอซีเบอร์ 7812 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้ใกล้เคียง 12 โวลต์กระแสตรง และใช้คาปาซิเตอร์อีกหนึ่งตัวทางด้านเอาต์พุตเพื่อกรองสัญญาณอีกรอบเมื่อได้ไฟ 12 โวลต์กระแสตรงไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ด Arduino Mega 2560 R3 อุปกรณ์ที่ต่อกับบอร์ด Arduino Mega2560 R3 ส่วนที่เป็นอินพุตประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจจับค่าอุณหภูมิ ความชื้น โดยโมดูลที่ใช้คือ DHT11 ซึ่งคุณสมบัติคือสามารถตรวจจับได้ทั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นส่งค่าเป็นค่าอนาล็อก ส่วนต่อมาเป็นส่วนที่เป็นด้านเอาต์พุตเริ่มจากโมดูลจอแสดงผลเจ็ดส่วน ที่ใช้เป็นจอชนิด 4 digit จอจะแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ ส่วนที่สองคือรีเลย์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ชนิด ประกอบด้วย ปั๊มน้ำ ฟันละอองน้ำ หลอดไฟ และพัดลมดูดอากาศ การเขียนโปรแกรมเครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติให้รักษาอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับการเพาะเห็ดนางฟ้า

3.4 การออกแบบกระบวนการทำงาน

ในการออกแบบระบบจะเป็นการนำความรู้ในหลายสาขาวิชาที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้ามาทำการประยุกต์ใช้งาน เพื่อสร้างระบบที่มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดอย่างมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าประกอบไปด้วย 1.อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ 2.อุปกรณ์ตรวจจับความชื้น 3.อุปกรณ์ฟั่นละอองน้ำ 4.พัดลม 5.หลอดไฟชนิดไส้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมการทำงานการทำงานของเครื่องฟั่นละอองน้ำและใช้อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น เพื่อนำค่าไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วควบคุมให้เครื่องฟั่นละอองน้ำและความชื้นทำงาน ในการควบคุมอุณหภูมิทำให้เห็ดนางฟ้าเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในอุณหภูมิที่เหมาะสม มีจอแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้น เพื่ออำนวยความสะดวกตามระยะเวลาการเพาะเห็ดที่เหมาะสม ถ้าอุณหภูมิในโรงเรือนสูงเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังระบบทำความเย็นทำให้อุณหภูมิในโรงเรือนลดลง การควบคุมความชื้นถ้าหากความชื้นมากเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งการทำงานไปยังอุปกรณ์ให้พัดลมดูด อากาศออกเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะระบายความชื้นในโรงเรือนออกสู่ภายนอก หากความชื้น

<http://jeet.siamtechu.net>

ในโรงเรือนน้อยเกินไป ไม่โครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการทำงานไปยังระบบทำความชื้นเพื่อทำการพ่นละอองน้ำเข้าสู่โรงเรือน

4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดลองวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

ในการทดลองวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นนั้น เนื่องด้วยอุปกรณ์มีคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์เองคือสามารถวัดทั้งค่าของอุณหภูมิและความชื้นแสดงผ่านไปยังจอแสดงผลเจ็ดส่วน ในการทดลองนั้นเพียงมีไฟเข้าไปเลี้ยงวงจรตัวอุปกรณ์ก็จะทำงานอัตโนมัติ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น 1 ตัว เพื่อให้ทราบว่าการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นทำงานหรือไม่นั้น สามารถทำการทดลองได้ดังนี้ เมื่อติดตั้งวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นเรียบร้อยแล้ว เปิดไฟเลี้ยงให้กับวงจร ถ้าวางวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นทำงานจะมีค่าอุณหภูมิและความชื้นแสดงบนจอแสดงผลเจ็ดส่วน โดยทดลองทำการเปิดและปิดไฟเลี้ยงวงจร 20 ครั้งต่อเนื่อง แสดงไว้ดังในตารางที่ 1 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 7 การทำงานของวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

จากรูปที่ 7 เป็นภาพจอแสดงผลเจ็ดส่วน แสดงอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ค่าของความชื้นที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น

ครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น		หมายเหตุ
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	
1	33	78	จอแสดงผลทำงาน
2	33	78	จอแสดงผลทำงาน
3	33	78	จอแสดงผลทำงาน
4	32	78	จอแสดงผลทำงาน
5	32	77	จอแสดงผลทำงาน
6	32	77	จอแสดงผลทำงาน
7	32	77	จอแสดงผลทำงาน
8	33	76	จอแสดงผลทำงาน
9	33	76	จอแสดงผลทำงาน
10	33	75	จอแสดงผลทำงาน
11	33	75	จอแสดงผลทำงาน
12	34	75	จอแสดงผลทำงาน
13	34	74	จอแสดงผลทำงาน
14	34	74	จอแสดงผลทำงาน
15	34	74	จอแสดงผลทำงาน
16	34	73	จอแสดงผลทำงาน
17	33	73	จอแสดงผลทำงาน
18	33	72	จอแสดงผลทำงาน
19	33	72	จอแสดงผลทำงาน
20	33	71	จอแสดงผลทำงาน

จากตารางที่ 1 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนด

4.2 การทำงานของปั๊มพ่นละอองน้ำ

การทดลองการทำงานของปั๊มพ่นละอองน้ำว่าพ่นละอองน้ำได้ปกติหรือไม่นั้นสามารถทำการ ทดลองได้ดังนี้ เมื่อทำการต่อวงจรอย่างสมบูรณ์แล้ว ใช้โปรแกรมคำสั่ง โดยใช้ความชื้นเป็นตัวกำหนดการเปิดและปิดวงจร ถ้าความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70% ปั๊มพ่นละอองน้ำจะทำงาน แต่ถ้าความชื้นมากกว่า 70% ปั๊มพ่นละอองน้ำจะไม่ทำงาน ทำให้การทำงานเห็นผลชัดเจนว่า หัวพ่นละอองน้ำทำงานได้ปกติหรือไม่ โดยทำการทดลองตามระยะเวลาในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 การทดลองการทำงานของปั๊มฟั่นละองน้ำ

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	หัวฟั่นละองน้ำ
1	06:00	27	69	ทำงาน
2	07:00	27	70	ทำงาน
3	08:00	28	71	ไม่ทำงาน
4	09:00	29	72	ไม่ทำงาน
5	10:00	30	74	ไม่ทำงาน
6	11:00	31	74	ไม่ทำงาน
7	12.00	32	69	ทำงาน
8	13.00	32	70	ทำงาน
9	14.00	33	71	ไม่ทำงาน
10	15.00	33	72	ไม่ทำงาน
11	16.00	34	73	ไม่ทำงาน
12	17.00	32	72	ไม่ทำงาน
13	18.00	31	70	ทำงาน
14	19.00	30	70	ทำงาน
15	20.00	30	77	ไม่ทำงาน
16	21.00	29	77	ไม่ทำงาน
17	22.00	29	78	ไม่ทำงาน
18	23.00	28	78	ไม่ทำงาน
19	24.00	28	79	ไม่ทำงาน

จากตารางที่ 2 เป็นการแสดงการทำงานของปั๊มฟั่นละองน้ำโดยการทดลองปั๊มฟั่นละองน้ำได้ทำงานตามเงื่อนไขของโปรแกรมเมื่อมีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70% ปั๊มฟั่นละองน้ำจะทำงาน แต่ถ้าความชื้นมากกว่า 70% ปั๊มฟั่นละองน้ำจะหยุดทำงาน

4.3 การทำงานของพัดลม

จากวงจรควบคุมการเปิดปิดของพัดลมถ่ายเทอากาศ เพื่อช่วยให้อากาศภายในโรงเรือนถ่ายเทได้สะดวก ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า และยังช่วยในกระบวนการระบายความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือนอีกด้วย การทำงานของวงจรต้องใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อง่ายและสะดวกต่อการควบคุม โดยได้ทำการทดลองและบันทึกผลการทำงานของพัดลมระบายอากาศ แสดงดังในตารางที่ 3 การทดลองการทำงานของพัดลมระบายอากาศนั้น จะต้องทำงานสอดคล้องกันกับหัวฟั่นละองน้ำ ซึ่งหัวฟั่นละองน้ำมีผลช่วยให้ลดอุณหภูมิภายในได้เร็วขึ้น จากผลดังแสดงในตารางเราจะทำการทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00 น. ถึง 24.00 น. โดยแบ่งเป็นช่วงเวลา ดังนี้

ตารางที่ 3 การทดลองการทำงานของพัดลมถ่ายเทอากาศ

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	พัดลม
1	06:00	28	80	ทำงาน
2	07:00	29	77	ไม่ทำงาน
3	08:00	30	78	ไม่ทำงาน
4	09:00	31	76	ไม่ทำงาน
5	10:00	32	75	ไม่ทำงาน
6	11:00	32	78	ไม่ทำงาน
7	12:00	33	78	ทำงาน
8	13:00	33	78	ทำงาน
9	14.00	34	79	ทำงาน
10	15:00	32	80	ทำงาน
11	16:00	31	79	ไม่ทำงาน
12	17:00	31	78	ไม่ทำงาน
13	18.00	30	78	ไม่ทำงาน
14	19.00	30	77	ไม่ทำงาน
15	20.00	29	76	ไม่ทำงาน
16	21.00	29	75	ไม่ทำงาน
17	22.00	28	74	ไม่ทำงาน
18	23.00	27	78	ไม่ทำงาน
19	24.00	27	80	ทำงาน

จากตารางที่ 3 เป็นการแสดงการทำงานของพัดลมระบายอากาศ โดยการทดลองพัดลมระบายอากาศสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนดไว้เมื่ออุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 33 องศาเซลเซียสหรือความชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 80% พัดลมระบายความร้อนจะทำงาน แต่ถ้าอุณหภูมิน้อยกว่า 33 องศาเซลเซียสหรือความชื้นน้อยกว่า 80% พัดลมระบายความร้อนจะหยุดทำงาน

4.4 การทำงานของหลอดไฟ

จากวงจรควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ เพื่อช่วยให้อากาศภายในโรงเรือนสอดคล้องกับขอบเขตการทดลอง มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าช่วยในกระบวนการลดความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือนอีกด้วย การทำงานของวงจรต้องใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อง่ายและสะดวกต่อการควบคุม โดยได้ทำการทดลองและบันทึกผลการการทำงานของหลอดไฟ แสดงดังในตารางที่ 4 การทดลองการทำงานของหลอดไฟจะต้องทำงานสอดคล้องกันกับหัวฟ่นละอองน้ำ และหลอดไฟมีผลช่วยให้เพิ่มอุณหภูมิภายในได้เร็วขึ้น

ตารางที่ 4 การทดลองการทำงานของหลอดไฟ

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	หลอดไฟ
1	06:00	26	80	ทำงาน
2	07:00	26	77	ทำงาน
3	08:00	30	78	ไม่ทำงาน
4	09:00	31	76	ไม่ทำงาน
5	10:00	32	75	ไม่ทำงาน
6	11:00	32	78	ไม่ทำงาน
7	12:00	33	78	ไม่ทำงาน
8	13:00	33	78	ไม่ทำงาน
9	14:00	34	79	ไม่ทำงาน
10	15:00	34	79	ไม่ทำงาน
11	16:00	34	79	ไม่ทำงาน
12	17:00	33	78	ไม่ทำงาน
13	18:00	33	78	ไม่ทำงาน
14	19:00	30	76	ไม่ทำงาน
15	20:00	29	75	ไม่ทำงาน
16	21:00	28	74	ไม่ทำงาน
17	22:00	26	73	ทำงาน
18	23:00	26	73	ทำงาน
19	24:00	26	72	ทำงาน

จากตารางที่ 4 เป็นการแสดงการทำงานของหลอดไฟโดยการทดลองหลอดไฟสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนดไว้เมื่ออุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส หลอดไฟจะทำงาน แต่ถ้าอุณหภูมิมากกว่า 27 องศาเซลเซียส หลอดไฟจะหยุดทำงาน

4.5 การทดลองก่อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ออกดอกในแต่ละวันของเห็ดนางฟ้าจำนวน 100 ก้อน

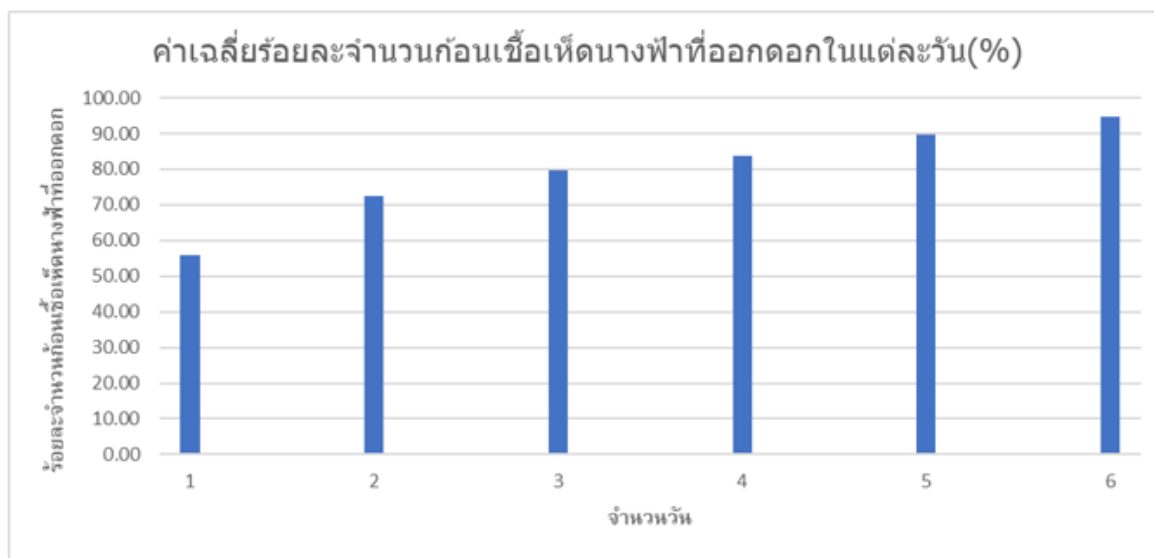


รูปที่ 8 การเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าในวันที่ 6

ตารางที่ 5 การทดลองก่อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ออกดอกในแต่ละวันของเห็ดนางฟ้าจำนวน 100 ก้อน

วันที่	เวลา	จำนวน เห็ดที่ออกดอก (ก้อน)	ร้อยละจำนวนก้อนเชื้อ เห็ดนางฟ้าที่ออกดอก (%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละจำนวน ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ ออกดอกในแต่ละวัน(%)
1	06:00	44	44	56.00
	16:00	61	61	
	22:00	63	63	
2	06:00	66	66	72.33
	16:00	74	74	
	22:00	77	77	
3	06:00	78	78	79.67
	16:00	80	80	
	22:00	81	81	
4	06:00	82	82	83.67
	16:00	84	84	
	22:00	85	85	
5	06:00	88	88	89.67
	16:00	90	90	
	22:00	91	91	
6	06:00	93	93	94.67
	16:00	95	95	
	22:00	96	96	

จากตารางที่ 5 เป็นการทดลองการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยการทดลองการจะแสดงให้เห็นว่าเห็ดนางฟ้าสามารถให้ผลผลิตได้เป็นอย่างดี โดยจะคำนวณจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ให้ดอกและสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละจำนวนก่อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ออกดอกในแต่ละวัน (%)

5. บทสรุป

การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าเพื่อลดการใช้แรงงานคนและเพิ่มคุณภาพในการผลิต ระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแล้วส่งค่าที่ไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้พัดลมระบายอากาศ บั๊มพ์น้ำและฮีตเตอร์ และหลอดไฟ แสดงผลบนจอแสดงผลเจ็ดส่วนให้ทำงาน ทำให้วัดค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นตามที่เรากำหนด สามารถรักษาอุณหภูมิไม่ให้เกิน 35.00 องศาเซลเซียส แจ้งเตือนสัญญาณไฟ พร้อมควบคุมให้ปั๊มน้ำทำงาน มีการแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น ผ่านหน้าจอแสดงผลเจ็ดส่วน ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้ามีขนาดความกว้าง 150 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร มีการวิเคราะห์ผลของเพาะเห็ดนางฟ้าโดยอัตโนมัติ และแบบปกติเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนมากกว่าหรือเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70% บั๊มพ์น้ำจะทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นและระบายความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิในโรงเรือนลดลงให้ต่ำกว่า 33 องศาเซลเซียส เมื่อความชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 80% บั๊มพ์น้ำจะหยุดทำงาน ถ้าความชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 80% พัดลมจะทำงานและบั๊มพ์น้ำจะหยุดทำงาน หัวปั๊มน้ำจะทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนได้ตามเงื่อนไขหรือขอบเขตที่ตั้งไว้ และปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนคือ อากาศที่ร้อนอบอ้าว ซึ่งแต่ละช่วงเวลาอุณหภูมิและสภาพอากาศก็แตกต่างกันออกไป ส่วนการคำนวณจุดคุ้มทุน โดยซื้อก้อนเห็ดนางฟ้ามาก่อนละ 9 บาท จำนวน 100 ก้อน เป็นเงิน 900 บาท ซึ่งเห็ดนางฟ้า 2-3 ก้อนจะเก็บได้น้ำหนัก 1 ขีด หรือประมาณ 25 ก้อน ได้ 1 กิโลกรัม หากสามารถหาตลาดขายปลีกได้เอง โดยเอาเห็ดมาวางขายทำเป็นถุงละ 3 ขีด ราคาถุงละ 25 บาท หรือ กิโลกรัมละ 75 บาท ดังนั้นเห็ดรอบแรกทั้งรุ่นจะเก็บได้ประมาณ 4 กิโลกรัม เป็นเงิน 300 บาท หมายความว่าจะต้องเก็บเห็ดถึงรุ่นที่ 3 ถึงจะได้ต้นทุนค่าก้อนเห็ดคืน ซึ่งยังไม่ได้กำไรเพราะต้องคิดค่าแรง ค่าโรงเรือน โดยปกติแล้วแต่ละรุ่นจะออกห่างกันประมาณ 10 วัน หมายความว่ารุ่นที่ 4 ต้องรอประมาณ 1 เดือนครึ่งจึงจะเป็นกำไรโดยไม่นับต้นทุนคงที่ โดยอายุเฉลี่ยของเห็ดจะมีอายุประมาณ 5-6 เดือน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจพล เรืองศักดิ์ และคณะ. “ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นสำหรับใช้ในโรงเพาะเห็ด”. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [2] บุญยัง สิงห์เจริญ และคณะ. “ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด”. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1. หน้า 176-183.
- [3] นิตติคม อริยพิมพ์, ชัยพร อัดโตดตร และวินัย คำทวิ, “การออกแบบและสร้างระบบ IoT สำหรับบ้านจำลองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์”, การประชุมวิชาการและเสนอผลงานระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 7 (CASNIC 2019), วันที่ 16 พฤศจิกายน 2562 ณ วิทยาลัยบัณฑิตเอเซีย ขอนแก่น, 2562. หน้า 1535-1545.
- [4] P Sihombing and Committee. “Microcontroller based automatic temperature control for oyster mushroom plants”. 2nd International Conference on Computing and Applied Informatics 2017.
- [5] Hanani Abd Wahab and Committee. “Investigation of Temperature and Humidity Control System for Mushroom House”. International Journal of Integrated Engineering · September 2019. pp. 27-37.

แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

IOT SYSTEM MODEL FOR THE AUTOMATIC CHICKEN FARM CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย¹ และชัยพร อัดโดดอร์^{2*}

Pipat Durongdumrongchai¹ and Chaiporn Addoddorn^{2*}

¹ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

² อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

*Corresponding author, E-mail : chaiporn.add@neu.ac.th

บทคัดย่อ

แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีของระบบไอโอทีมาประยุกต์ใช้กับฟาร์มไก่ เพื่อการพัฒนาระบบการจัดการฟาร์มไก่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ปัจจัยที่มีผลกระทบกับไก่โดยตรง คือ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในฟาร์มไก่ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการเจ็บป่วยของไก่โดยตรง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบไอโอทีกับฟาร์มไก่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม โดยมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ คือ ปั๊มน้ำ พัดลม และหลอดไฟฟ้า การสั่งการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะสั่งการผ่านแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ทโฟน การสั่งการทำงานมี 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดแมนนวล ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ทโฟนได้ หลักการทำงานเริ่มจาก บอร์ด Node MCU ESP8266 จะรับสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นมาประมวลผล เพื่อการสั่งการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ต้องการ ใช้โมดูล PZEM-004T เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยค่าที่ตรวจวัดได้จะถูกส่งไปที่ Node MCU ESP8266 เพื่อส่งค่าไปยังแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน จากผลการทดสอบปรากฏว่า แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติมีผลการดำเนินงานที่ดี สามารถตอบสนองตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ดี และสามารถประยุกต์แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติเพื่อนำไปใช้งานจริงได้

คำสำคัญ: ระบบไอโอที, ฟาร์มไก่, อัตโนมัติ, ไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

The IoT system model for the automatic chicken farm controlled by a microcontroller aims to apply the IoT technology to chicken farms in order to develop the chicken farm management system to be more efficient. Factors affecting chickens directly is to control the temperature and the humidity within the chicken farm. These factors will directly affect the growth and disease of chickens. Therefore, the researcher has proposed the application of the IoT system for the chicken farm in order to regulate the temperature and humidity appropriately by having electrical devices that can help regulate temperature and humidity. These devices are water pumps, fans and electric lamps. Operation of the electrical equipment can be operated via the application

<http://jeet.siamtechu.net>

on a smartphone. There are 2 modes of operation: Auto mode and manual mode. The user can check the operating status of electrical devices and can read the electric quantity via the application on the smartphone. The working principle starts from the NodeMCU ESP8266 board receives the input signal from the temperature and humidity sensing device to process in order to order the operation of various electrical devices according to the desired conditions. The PZEM-004T module is used as a measuring device for voltage and current values of various electrical devices. The measured values are sent to NodeMCU ESP8266 in order to send the value to the application on the smartphone. According to results, it reveals that the IoT system model for automatic chicken farm has a good performance. Also, this can satisfy users' needs at a good level. Furthermore, the IoT model for automatic chicken farms can be applied for a practical usage.

Keywords: IoT System, Chicken Farm, Automatic, Microcontroller.

1. บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตนับเป็นปัจจัยที่ 5 สำหรับคนในยุคปัจจุบันไปแล้ว จากเดิมการใช้คอมพิวเตอร์เพียงแคร์รับและส่งอีเมล แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้ก้าวมาสู่โลกของ World Wide Web ที่ท่องไปได้ทุกที่ในชั่วอึดใจแค่ปลายนิ้วสัมผัส เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าขึ้นเรื่อย ๆ คอมพิวเตอร์ก็ฉลาดขึ้นเรื่อย ๆ ล่าสุดมีเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (The Internet of Things : IoT) [1,2] เป็นยุคที่นำทุกอย่างเชื่อมเข้าหากันหมดด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแทบทุกอย่างกลายเป็น Smart Device อย่างสมบูรณ์แบบ มนุษย์สามารถพูดคุยกับอุปกรณ์ และสิ่งต่าง ๆ นับล้านชิ้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรในโรงงาน รถยนต์ เครื่องใช้ภายในบ้าน และอื่นๆ อีกมากมาย ที่เข้ามาช่วยทำให้การใช้ชีวิตของคนเราเปลี่ยนไปในทิศทางที่ดีขึ้น สะดวกขึ้น และปลอดภัยยิ่งขึ้น ตัวอย่างการนำ IoT ไปใช้กับสรรพสิ่งแล้วเกิดประโยชน์ที่น่าสนใจ เช่น ฟาร์มไก่ เปลี่ยนฟาร์มธรรมดาให้กลายเป็นฟาร์มอัจฉริยะ [2,3] และด้วยสถานการณ์ไข้หวัดใหญ่ 2560-2561 ได้มีการจัดระเบียบควบคุมปริมาณการผลิตไข่ไก่ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดส่งผลให้ผู้เลี้ยงไก่ไข่เกรงว่าจะขาดแคลนไข่ไก่ เนื่องมาจากระบบการจัดการภายในฟาร์มและการควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแม่พันธุ์และพ่อพันธุ์ไก่ทั้ง เรื่องอาหารเรื่องการควบคุมอุณหภูมิภายในฟาร์ม ล้วนแต่มีผลกระทบต่อไข่โดยตรง และถ้าไม่มีระบบจัดการฟาร์มที่ดีพอ ก็จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของฟาร์มต่ำ ทำให้พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ไก่ไม่สมบูรณ์ ผลผลิตไข่ไก่ที่น้อยลงเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่ก็มีรายได้ลดลงตามไปด้วย ทำให้เกษตรกรได้รับความเดือดร้อน ดังนั้น เกษตรกรที่ทำธุรกิจฟาร์มไก่จะต้องมีการพัฒนาระบบการจัดการฟาร์มไก่ให้ดีขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่ขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมา ปัจจัยและผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้ สามารถนำเทคโนโลยีมาช่วยในการจัดการควบคุมกระบวนการทำงานภายในฟาร์มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [4,5] และช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม โดยมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ คือ บัมพ์น้ำ พัดลม และหลอดไฟฟ้า ซึ่งการสั่งการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะสามารถสั่งการผ่านแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ตโฟนได้ ซึ่งก็จะเป็นข้อแตกต่างกับ [1] อย่างชัดเจน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT)

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้ช่วยให้เราสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไปจนถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ากับการใช้งานอื่นๆ จนเกิดเป็นบรรดา Smart ต่างๆ ได้แก่ Smart Device, Smart

<http://jeet.siamtechu.net>

Grid, Smart Home, Smart Network, Smart Intelligent Transportation ทั้งหลายที่เราเคยได้ยินนั่นเอง ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเพียงสื่อกลางในการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้น

2.2 ระบบ Network ที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อที่จะสามารถส่งงานตามที่เราต้องการได้นั้น จำเป็นต้องมีนักพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์และระบบสั่งการหรือโค้ดโปรแกรม เพื่อใช้สั่งการอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจาก IoT มีพื้นฐานอยู่บนระบบฝังตัว หรือสมองกลฝังตัว (Embedded System) คือ ระบบประมวลผลที่ใช้ชิปหรือไมโครโปรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งต้องมีอินเทอร์เน็ตเป็นโครงสร้างพื้นฐาน แต่ส่วนประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญก็คือระบบฝังตัว ปัจจุบันมีอุปกรณ์มากมายถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้ นักพัฒนาสามารถนำไปใช้ต่อยอดสร้างชิ้นงานเชื่อมต่อเข้ากับ IoT โดยมีคุณสมบัติที่สามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LAN หรือ WiFi) ได้ แบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับ IoT

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กลุ่มนี้ ผู้ผลิตออกแบบและสร้างขึ้นมาให้เราสามารถพัฒนาโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด ควบคุมอินพุตและเอาต์พุตเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อตรวจจับหรือแสดงผลได้ตามต้องการ พร้อมใส่อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเครือข่ายแบบไร้สาย WiFi มาบนบอร์ดไม่จำเป็นต้องต่อเพิ่มเติมเอง ยกตัวอย่างเช่น Electric Imps, Spark Core, Arduino Yun, Intel Edison, Wireless Router ต่างๆ

กลุ่มที่ 2 โมดูลสื่อสารไร้สาย IoT

โมดูลบางตัวที่มีคุณสมบัติสามารถเป็นอุปกรณ์ IoT ได้ ยกตัวอย่างเช่น โมดูล ESP8266 ซึ่งราคาไม่สูงสามารถทำงานได้ในระดับหนึ่ง แม้ปัจจุบันยังมีอยู่ไม่มากและเข้าถึงยาก แต่ในอนาคตอันใกล้คาดว่าจะมีโมดูลแบบนี้ ออกมาอีกหลายตัวแน่นอน ซึ่ง ESP8266 สามารถทำงานแบบ Standalone เนื่องจากภายในมีไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ (แต่ไม่สามารถโปรแกรมแบบทั่วไปได้) ต้องพัฒนาเฟิร์มแวร์ให้ทำงานตามความต้องการ กลุ่มนักพัฒนาที่สนใจได้แบ่งปันข้อมูลดังกล่าวไว้ ผู้ใช้อาจดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์ที่มีการทำงานตามที่เราต้องการมาติดตั้งใช้งาน

กลุ่มที่ 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ + โมดูลสื่อสารไร้สาย ทำงานร่วมกันเป็น IoT

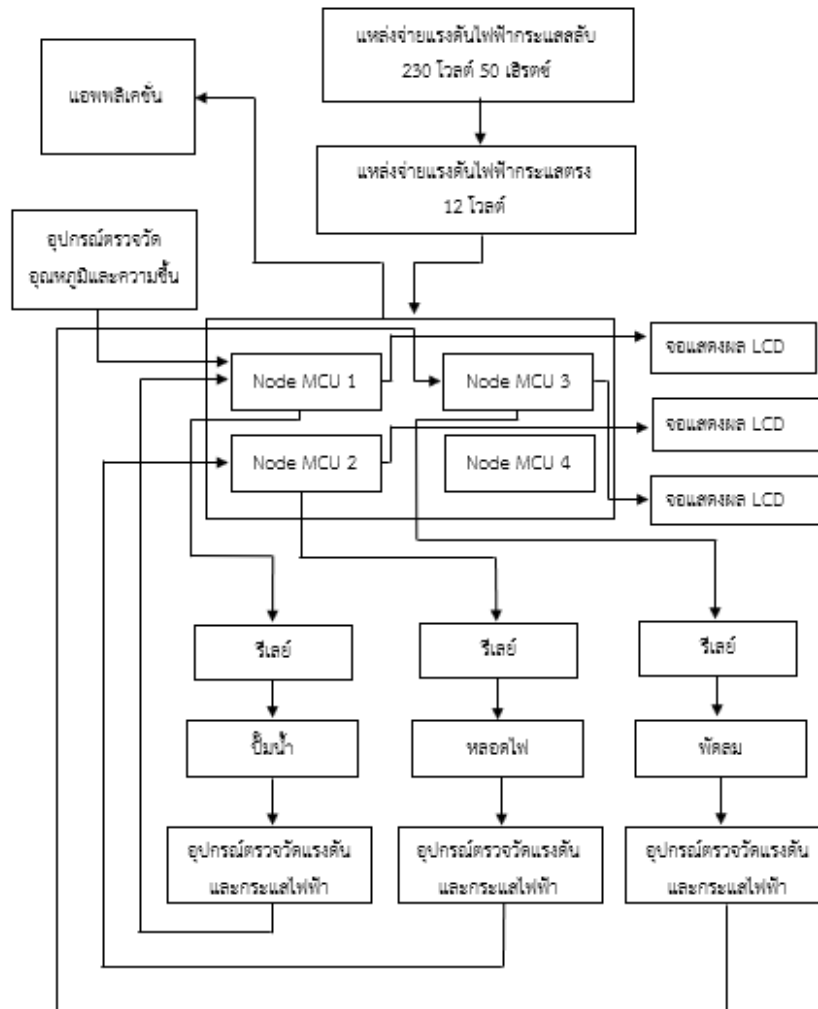
กลุ่มนี้เป็นการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆที่เราคุ้นเคย ร่วมกับโมดูลสื่อสารไร้สายที่มีให้เลือกหลากหลายตามความต้องการ เขียนแอปพลิเคชันให้ทำงานในลักษณะคล้ายกับกลุ่มที่ 1 เพียงแต่เราต้องจับคู่เชื่อมต่อบอร์ดกับโมดูลต่างๆ เอง ยกตัวอย่างเช่น การใช้ Arduino ร่วมกับ WiFi Shield หรือ UART WiFi การใช้ Raspberry Pi กับ USB WiFi Dongle เพียงเท่านี้ก็สามารเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายได้

2.3 โหนด เอ็มซียู (Node MCU)

Node MCU คือ บอร์ดที่มีลักษณะคล้ายกับ Arduino ที่สามารถทำการเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ โดยสามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เหมือนกับ Arduino แต่บอร์ดมีราคาถูกกว่ามาก จึงเหมาะแก่ผู้ที่เริ่มทดลองใช้งานเกี่ยวกับ IoT ซึ่ง Node MCU จะประกอบไปด้วย Development Kit เป็นตัวบอร์ด และ Firmware เป็นโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ทำให้การทำงานง่ายขึ้น มีโมดูล WiFi (ESP8266) [2] ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต Node MCU มีลักษณะคล้ายกันกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input และ Output มาให้ด้วยในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรล I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ Arduino IDE ยังสามารถใช้งานร่วมกับ Node MCU โดยใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรม ทำให้เราสามารถใช้งานได้หลากหลาย Node MCU สามารถใช้งานได้หลาย โดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ IoT ไม่ว่าจะเป็นการทำ Web Server ขนาดเล็ก การควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่าน WiFi และอื่นๆ อีกมากมาย

3. การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 แผนภาพการทำงาน



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงาน

แผนภาพการควบคุมปั้มน้ำ หลอดไฟและพัดลม ได้แสดงดังรูปที่ 1 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เริ่มจากวงจรเรียงกระแส (Rectifier) ที่ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับบอร์ด NodeMCU ESP8266 ที่รับสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบโมดูล คือ PZEM-004T โดยโมดูลนี้จะตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้สูงสุด 250 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ และตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 100 แอมป์ ส่วนที่เป็นด้านเอาต์พุต ประกอบด้วยจอแสดงผลแอลซีดี เป็นจอแบบ 4 แถว 20 คอลัมน์ ส่วนที่สองคือรีเลย์แบบ Solid State Relay (SSR Relay) ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ไฟ ตัด-ต่อวงจร ในการควบคุมปั้มน้ำ หลอดไฟและพัดลม วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ

1. สร้างระบบไอโอทีเพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าคือ ปั้มน้ำ หลอดไฟและพัดลม สามารถสั่งงานด้วยสมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชันได้

<http://jeet.siamtechu.net>

2. การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถสั่งงานได้ 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดแมนนวล โดยทั้ง 2 โหมดจะสั่งงานด้วยสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน

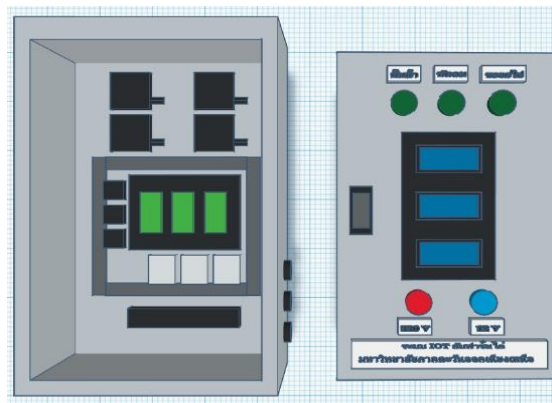
3. ต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในฟาร์มไก่ให้คงที่ ที่ค่า 27 องศาเซลเซียส หรือใกล้เคียงที่สุด

4. ต้องการควบคุมความชื้นให้อยู่ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ หรือใกล้เคียงที่สุด

5. สามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ตโฟนได้

3.2 โครงสร้างของแบบจำลองระบบไอโอสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.1 การออกแบบตู้คอนโทรล



รูปที่ 2 ตู้คอนโทรล

อุปกรณ์ของตู้คอนโทรลของแบบจำลองระบบไอโอสำหรับฟาร์มไก่ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย

1. หลอดไฟแสดงสถานะการทำงานที่ตู้คอนโทรล
2. ระบบป้องกันการไฟฟ้าลัดวงจรที่ตู้คอนโทรล
3. ระบบประมวลผลด้วยโนตเอ็มซียู
4. การรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
5. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น
6. อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า
7. อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า
8. สวิตช์ตัดต่อวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์
9. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองระบบไอโอสำหรับฟาร์มไก่ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2.1 โครงสร้างแบบจำลองฟาร์มไก่

1. ขนาดความกว้างประมาณ 100 เซนติเมตร
2. มีขนาดความยาวประมาณ 150 เซนติเมตร
3. มีขนาดความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร

<http://jeet.siamtechu.net>

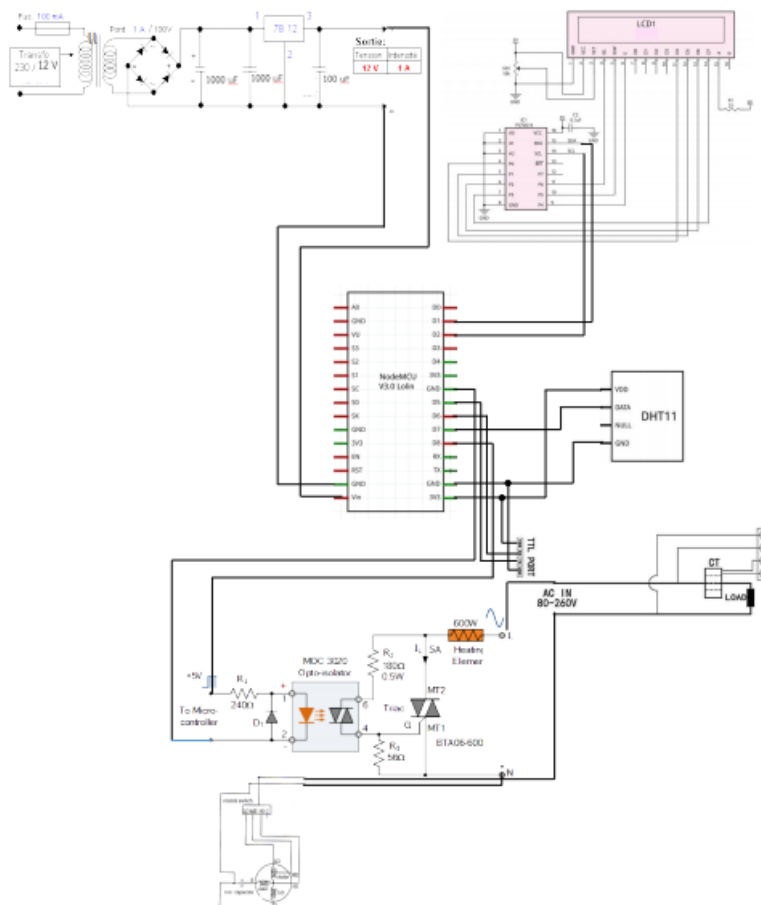
3.2.2 อุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในฟาร์มไก่จำลอง

1. มอเตอร์ปั้มน้ำ 220 โวลต์
2. พัดลมดูดอากาศ
3. แผ่นकु齡แพด
4. หลอดไฟฟ้า



รูปที่ 3 ตู้คอนโทรลและแบบจำลองฟาร์มไก่

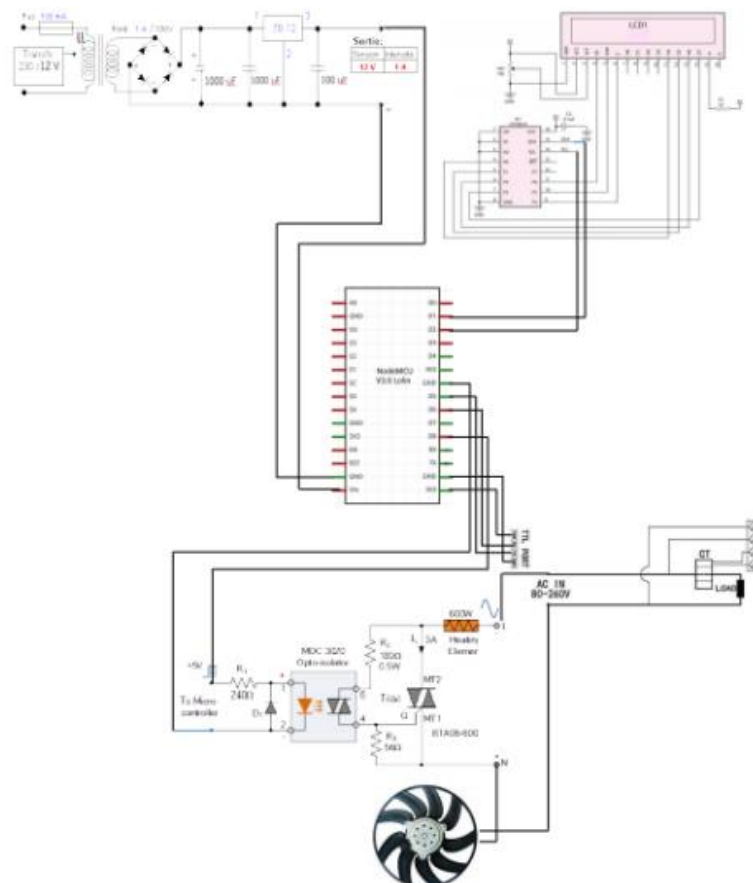
3.3 วงจรควบคุมการทำงาน



รูปที่ 4 วงจรควบคุมการทำงานปั้มน้ำ

<http://jeet.siamtechu.net>

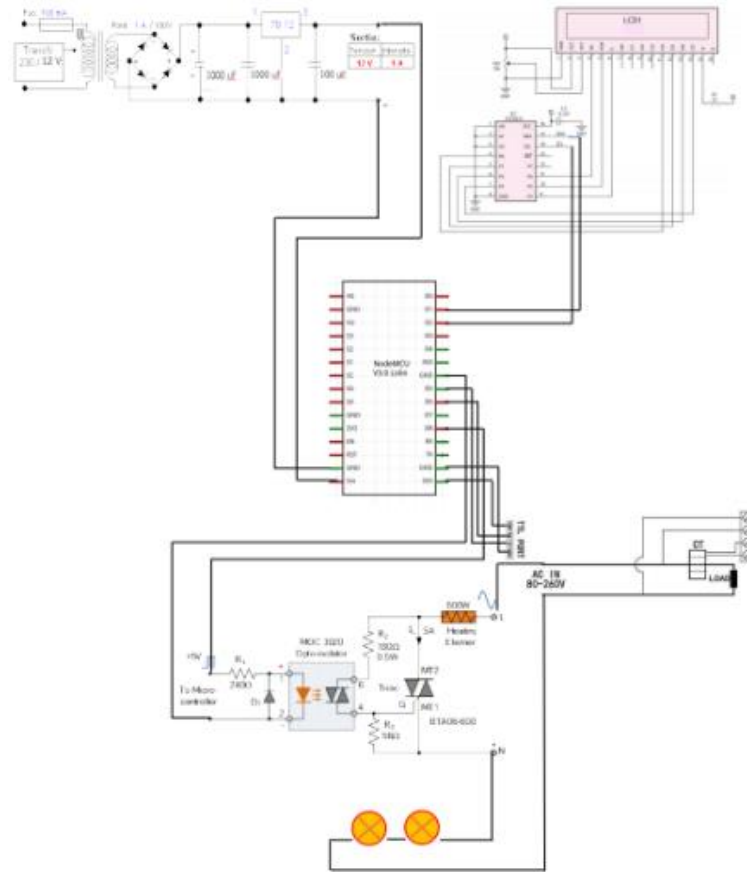
วงจรควบคุมการทำงานปั้มน้ำ ได้แสดงดังรูปที่ 4 โดยเริ่มจากส่วนแรก คือ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 230 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เหลือ 12 โวลต์ วงจรบริดจ์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และใช้คาปาซิเตอร์ 1,000 ไมโครฟารัด กรองสัญญาณให้เรียบยิ่งขึ้นแล้วส่งต่อสัญญาณไปยังไอซีเบอร์ 7812 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และใช้คาปาซิเตอร์อีกหนึ่งตัวทางด้านเอาต์พุต เพื่อกรองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ด NodeMCU ESP8266 อุปกรณ์ที่ต่อกับบอร์ด Node MCU ESP 8266 ด้านอินพุตประกอบด้วย ส่วนแรกคืออุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้โมดูล DHT11 ที่มีคุณสมบัติคือ สามารถตรวจวัดได้ทั้งค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น ส่วนที่สองคืออุปกรณ์ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าโมดูลที่ใช้คือ PZEM-004T ที่สามารถตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้สูงสุด 250 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ พร้อมกับมีอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 100 แอมป์ ด้วย และส่งค่าเป็นค่าอนาล็อกไปที่บอร์ด NodeMCU ESP8266 ส่วนด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ส่วนแรกคือจอแสดงผลแอลซีดีแบบ 4 แถว 20 คอลัมน์ เพื่อแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ส่วนที่สองคือรีเลย์ ชนิด Solid State Relay (SSR Relay) เป็นรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือไม่มีหน้าสัมผัสสามารถทนกระแสไฟฟ้าได้สูง และการใช้งานจะใช้สายไฟฟ้าเพียง 2 เส้น คือ สายดิจิทัลกับสายกราวด์ เพื่อใช้ควบคุมปั้มน้ำให้ทำงานหรือหยุดทำงานตามที่ต้องการ



รูปที่ 5 วงจรควบคุมการทำงานพัดลม

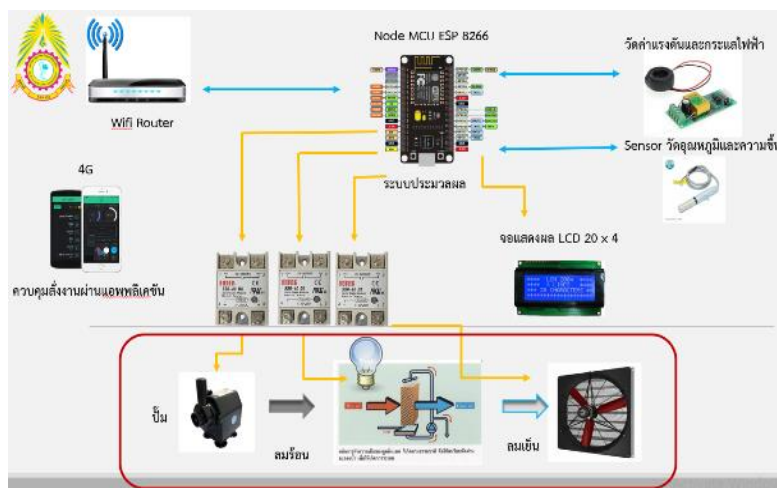
<http://jeet.siamtechu.net>

จากวงจรควบคุมพัดลมได้แสดงดังรูปที่ 5 จะมีส่วนประกอบและหลักการทำงานที่เหมือนกันกับวงจรควบคุมการทำงานปั้มน้ำ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4 จะต่างกันก็แค่อุปกรณ์ที่เราต้องการจะควบคุมเท่านั้น และในส่วนของวงจรควบคุมหลอดไฟฟ้า ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 6 ก็จะมีส่วนประกอบและหลักการทำงานที่เหมือนกัน



รูปที่ 6 วงจรควบคุมการทำงานหลอดไฟฟ้า

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ของแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 7 อุปกรณ์ที่ใช้จริงของแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

<http://jeet.siamtechu.net>

จากรูปที่ 7 เป็นการแสดงอุปกรณ์ที่ใช้จริง และเป็นส่วนประกอบทั้งหมดของแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยตัวประมวลผลหลัก คือ บอร์ด NodeMCU ESP8266 ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต พร้อมทั้งเป็นอุปกรณ์ที่รับค่าอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า และรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น เข้ามาประมวลผลที่บอร์ด ซึ่งบอร์ดนี้จะสามารถรับส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลสุดถึง 4 กิโลเมตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณ WiFi ส่วนด้านเอาต์พุตจะมีจอแสดงผลแอลซีดีเพื่อที่จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ มีชุดรีเลย์เพื่อใช้ในการตัดต่อ บั๊มน้ำ หลอดไฟฟ้า และพัดลม โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถตั้งการทำงานแบบอัตโนมัติ หรือสามารถสั่งงานผ่านแอปพลิเคชันได้

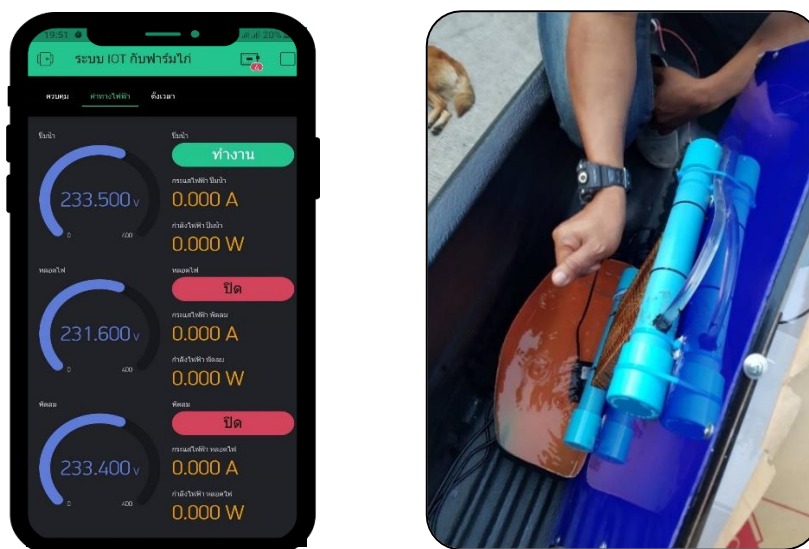
3.5 การออกแบบกระบวนการทำงาน

การสั่งงานเพื่อการควบคุมตู้คอนโทรล จะเป็นการสั่งงานด้วยสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน เมื่อมีการกดปุ่มสั่งงานบนหน้าจอสมาร์ตโฟน ก็จะเป็นการรับส่งข้อมูลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโนดเอ็มซียู เพื่อสั่งให้ปั๊มน้ำ พัดลม และหลอดไฟฟ้าทำงานได้ และยังสามารถตั้งโปรแกรมการทำงานแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย โดยในส่วนของการทำงานแบบอัตโนมัตินั้น ผู้ใช้สามารถจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ค่า 27 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 27 องศาเซลเซียส ปั๊มน้ำจะเริ่มทำงานเพื่อให้น้ำไหลผ่านแผงรังผึ้งระบายความร้อน พร้อมกับการทำงานพัดลมดูดอากาศเพื่อนำอากาศขึ้นและเย็นเข้าสู่โรงเรือน เพื่อค่าลดอุณหภูมิภายในฟาร์มและต้องการรักษาระดับอุณหภูมิให้มีค่าตามที่ได้ตั้งไว้ และเมื่ออุณหภูมิลบมาสู่ปกติที่ 27 องศาเซลเซียส ปั๊มน้ำและพัดลมก็จะหยุดการทำงานแบบอัตโนมัติ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส หลอดไฟก็จะทำงานเพื่อให้ความอบอุ่น มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบว่าปั๊มน้ำ พัดลม และหลอดไฟฟ้านั้น ทำงานจริงหรือไม่ โดยสามารถตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้เลย ทำให้เรารู้ถึงสถานะภาพการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในฟาร์มไก่ได้นอกจากนั้น ที่ตู้คอนโทรลยังมีหลอดไฟฟ้า เพื่อแสดงสถานะของการทำงานไว้ด้วย

4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบการสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงานผ่านแอปพลิเคชัน

ปั๊มน้ำจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้วิจัยวางตำแหน่งปุ่มการสั่งการทำงานไว้ที่ปุ่มบนสุด จะเห็นได้จากรูปภาพที่ 8 เมื่อมีการสั่งการให้ปั๊มน้ำทำงาน ปุ่มที่แสดงสถานะการทำงานจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งแสดงว่าปั๊มน้ำกำลังทำงานอยู่



รูปที่ 8 การทดสอบการสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงาน ผ่านแอปพลิเคชัน

<http://jeet.siamtechu.net>

4.2 การทดสอบการสั่งงานให้หลอดไฟฟ้าทำงานผ่านแอปพลิเคชัน

หลอดไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้วิจัยวางตำแหน่งปุ่มการสั่งการทำงานไว้ที่ปุ่มตรงกลาง จะเห็นได้จากรูปภาพที่ 9 เมื่อมีการสั่งการให้หลอดไฟฟ้าทำงาน ปุ่มที่แสดงสถานะการทำงานจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งแสดงว่าหลอดไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่



รูปที่ 9 การทดลองสั่งงานให้หลอดไฟฟ้าทำงานผ่านแอปพลิเคชัน

4.3 การทดสอบการสั่งงานให้พัดลมทำงานผ่านแอปพลิเคชัน

พัดลมจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้วิจัยวางตำแหน่งปุ่มการสั่งการทำงานไว้ที่ปุ่มล่างสุด จะเห็นได้จากรูปภาพที่ 10 เมื่อ มีการสั่งการให้พัดลมทำงาน ปุ่มที่แสดงสถานะการทำงานจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งแสดงว่าพัดลมกำลังทำงานอยู่



รูปที่ 10 การทดสอบการสั่งงานให้พัดลมทำงานผ่านแอปพลิเคชัน

<http://jeet.siamtechu.net>

4.4 การแสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นผ่านแอปพลิเคชัน

การแสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นบนแอปพลิเคชัน โดยการแสดงเป็นเกจค่าอุณหภูมิและความชื้น และมีการเก็บค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นเป็นข้อมูลกราฟ เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมของไก่ได้



รูปที่ 11 การแสดงเกจค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นบนแอปพลิเคชัน



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นบนแอปพลิเคชัน

จากการทดสอบการรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น สามารถนำค่าที่วัดได้มาแสดงบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชันได้เป็นอย่างดี และยังสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไก่ได้

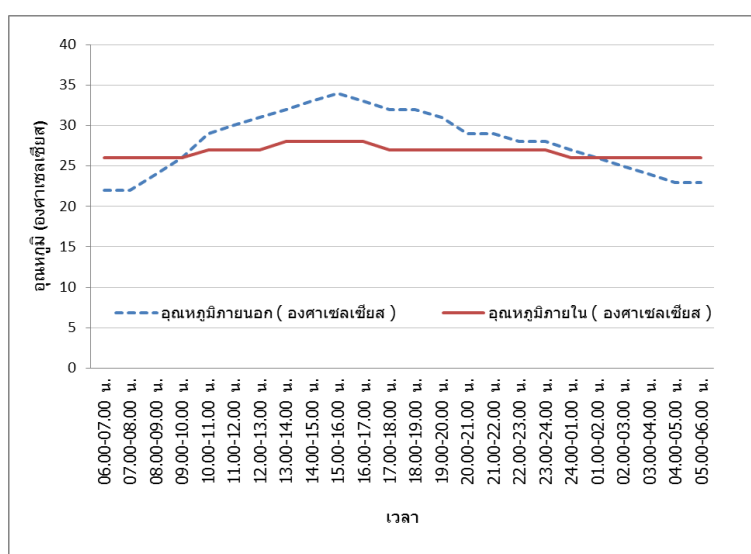
4.6 การทดสอบระบบการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ

ระบบไอโอทีจะช่วยให้การควบคุมการทำงานของพัดลม บัมพ์น้ำและหลอดไฟฟ้าทำงานแบบอัตโนมัติได้ โดยต้องการค่าอุณหภูมิคงที่ ที่ 27 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายในฟาร์มสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส พัดลมและบัมพ์น้ำก็จะเริ่มทำงาน และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส พัดลมและบัมพ์น้ำก็จะหยุดทำงาน แต่หลอดไฟฟ้าจะทำงานเพื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เวลา	อุณหภูมิ ภายนอก (°C)	อุณหภูมิ ภายใน (°C)	ความชื้น ภายนอก (%)	ความชื้น ภายใน (%)	หลอดไฟฟ้า		ปั้มน้ำ		พัดลม	
					ทำงาน	ไม่ ทำงาน	ทำงาน	ไม่ ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน
06.00-07.00 น.	22	26	88	65	/			/		/
07.00-08.00 น.	22	26	88	63	/			/		/
08.00-09.00 น.	24	26	83	60	/			/		/
09.00-10.00 น.	26	26	81	58	/			/		/
10.00-11.00 น.	29	27	73	57		/	/		/	
11.00-12.00 น.	30	27	70	55		/	/		/	
12.00-13.00 น.	31	27	70	55		/	/		/	
13.00-14.00 น.	32	28	68	54		/	/		/	
14.00-15.00 น.	33	28	63	54		/	/		/	
15.00-16.00 น.	34	28	47	53		/	/		/	
16.00-17.00 น.	33	28	55	52		/	/		/	
17.00-18.00 น.	32	27	58	51		/	/		/	
18.00-19.00 น.	32	27	60	59		/	/		/	
19.00-20.00 น.	31	27	62	60		/	/		/	
20.00-21.00 น.	29	27	79	62	/			/		/
21.00-22.00 น.	29	27	82	65	/			/		/
22.00-23.00 น.	28	27	85	65	/			/		/
23.00-24.00 น.	28	27	88	67	/			/		/
24.00-01.00 น.	27	26	90	67	/			/		/
01.00-02.00 น.	26	26	91	69	/			/		/
02.00-03.00 น.	25	26	94	69	/			/		/
03.00-04.00 น.	24	26	96	69	/			/		/
04.00-05.00 น.	23	26	96	71	/			/		/
05.00-06.00 น.	23	26	90	71	/			/		/



รูปที่ 13 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายใน

<http://jeet.siamtechu.net>

จากตารางที่ 1 และภาพที่ 13 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ปรากฏว่าระบบสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ โดยระบบไอโอทีจะช่วยในการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยการสั่งการทำงานของพัดลม ปั๊มน้ำและหลอดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จากผลการทดสอบในรอบ 1 วัน บันทึกค่าทุก 1 ชั่วโมง จะพบว่าค่าอุณหภูมิภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่า 22-34 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิที่ต่างกันในรอบวันถึง 12 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่า 26-28 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิที่ต่างกันในรอบวันแค่ 3 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความชื้นจะพบว่าค่าความชื้นภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่า 47-96 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความชื้นต่างกันในรอบวันถึง 49 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่า 51-71 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความชื้นต่างกันในรอบวันแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบเป็นเวลา 7 วัน ปรากฏว่าก็จะได้ผลการทดสอบในลักษณะเช่นเดียวกันกัน ตารางที่ 1

5. บทสรุป

จากผลการทดสอบการทำงานของแบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดสอบการทำงานของแบบอัตโนมัติปรากฏว่า ได้ผลการทดสอบตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สามารถสร้างระบบไอโอทีเพื่อการสั่งการทำงานของปั๊มน้ำ หลอดไฟฟ้าและพัดลม โดยจะสามารถสั่งการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ด้วยสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชันได้ มีการสั่งงานได้ 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติ และโหมดแมนนวล ในการทดสอบการสั่งการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนนั้น สามารถควบคุมการทำงานได้ผลเป็นอย่างดี จะเห็นได้จากผลการทดสอบซึ่งปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าค่าอุณหภูมิภายในเป็นอย่างมาก ส่วนค่าความชื้นจะพบว่าค่าความชื้นภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าค่าความชื้นภายในเป็นอย่างมากเช่นเดียวกัน การที่ค่าเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงต่ำก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไก่ และยังมีการเจ็บป่วยที่น้อย ผู้วิจัยต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในฟาร์มไก่ให้คงที่ ที่ค่า 27 องศาเซลเซียส หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด โดยที่ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส พัดลมและปั๊มน้ำก็จะทำงาน ส่วนหลอดไฟฟ้าจะหยุดทำงาน เพื่อช่วยทำให้อุณหภูมิลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส พัดลมและปั๊มน้ำก็จะหยุดทำงาน ส่วนหลอดไฟฟ้าจะทำงานเพื่อช่วยทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และยังสามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันได้ ดังนั้น จึงสามารถนำหลักการการทำงานของ แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับฟาร์มไก่ ซึ่งจะสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้ง ฟาร์มไก่ไข่ และฟาร์มไก่เนื้อ โดยการประยุกต์ใช้งานจริงก็ใช้หลักการเหมือนกับที่ได้กล่าวมาในข้างต้น แต่จะมีข้อแตกต่างกันตรงที่ เมื่อใช้งานจริงอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีขนาดกำลังวัตต์ที่สูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องนำรีเลย์ขนาดใหญ่มาช่วยเป็นสวิตช์ เพื่อตัดหรือต่อวงจรทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ และเครื่องส่งสัญญาณ WiFi ก็จะต้องปรับเปลี่ยนเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณ WiFi ได้ไกลมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐพล ธนแขวงสกุล, ชีระพงษ์ ฤทธิมาก และปรีชา โคตะพัฒน์, “การออกแบบตัวต้นแบบระบบฟาร์มเลี้ยงไก่โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง”, วารสารแม่โจ้เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2(1), 2559, หน้า 15-29.
- [2] นิตikom อริยพิมพ์, ชัยพร อัดโดดตร และวินัย คำทวิ, “การออกแบบและสร้างระบบ IoT สำหรับบ้านจำลองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์”, การประชุมวิชาการและเสนอผลงานระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 7 (CASNIC 2019), วันที่ 16 พฤศจิกายน 2562 ณ วิทยาลัยบัณฑิตเอเซีย ขอนแก่น, 2562. หน้า 1535-1545.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [3] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and EL-HADI M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: Towards Making the Fields Talk", IEEE Access, (7), 2019, pp. 129551-129583.
- [4] M.S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid, and M.A. Naeem "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming", IEEE Access, (7), 2019, pp. 156237-156271.
- [5] Amandeep, A. Bhattacharjee, P. Das, D. Basu, S. Roy, S. Ghosh, S. Saha, S. Pain, and S. Dey, "Smart Farming Using IOT", IEEE, 2017, pp. 278-280.
- [6] A.P. Antony, K. Leith, C. Jolley, J. Lu and D.J. Sweeney, "A Review of Practice and Implementation of the Internet of Things (IoT) for Smallholder Agriculture", Sustainability (12), 2020, pp. 1-19.

การใช้โอโซนระบบไซโคลนบำบัดน้ำเสียชุมชน

USE OF OZONE WITH THE CYCLONE SYSTEM FOR TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER

วนิดา สรทอง¹ มงคล จงสุพรรณพงศ์² และฐกฤต ปานขลิบ²

Wanida Sornthong¹ Mongkol Jongsuphanphong² and Thakrit Panklib²

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

*Corresponding author, E-mail : Dasornthong@gmail.com, Mongkol.phong@gmail.com

บทคัดย่อ

น้ำเสียชุมชนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรม และด้วยเหตุนี้จึงได้นำโอโซนระบบไซโคลนมาบำบัดน้ำเสียชุมชน การศึกษาครั้งนี้เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน เป็นการผสมผสานเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง กับ “ระบบไซโคลน” เพื่อให้โอโซนผสมคลุกเคล้ากับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว โดยศึกษาประสิทธิภาพเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมปริมาณโอโซนที่ 5 gO₃/hr กับปริมาณน้ำเสีย 20 ลิตร อัตราการไหล 3.0 แกลลอน/นาที (11.3 ลิตร/นาที เท่ากับ 678 ลิตร/ชั่วโมง) ทำให้ค่าคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจวัดได้แก่ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่าของปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) และค่าของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ของน้ำเสียดีขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว คือในเวลา 12 นาที ค่า DO จาก 0 เป็น 8 mg/L การวิเคราะห์ค่า $R^2 = 0.8281$ เข้าใกล้ 1 แสดงว่า DO ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ส่วนค่า COD ลดลงจาก 132.10 mg/L เหลือ 78.00 mg/L การวิเคราะห์ค่า $R^2 = 0.9349$ เข้าใกล้ 1 แสดงว่า COD ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก และค่า BOD ลดลงจาก 56 mg/L เหลือ 20 mg/L การวิเคราะห์ค่า $R^2 = 0.8848$ เข้าใกล้ 1 แสดงว่า BOD ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก เช่นกัน โดยค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง มีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 mg/L ค่า COD ไม่เกิน 120 mg/L และค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/L ทำให้การใช้เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน สามารถปรับสภาพน้ำเสียได้รวดเร็ว โดยใช้เวลาไม่เกิน 12 นาที

คำสำคัญ : โอโซน, ระบบไซโคลน, บำบัดน้ำเสียชุมชน

ABSTRACT

Domestic wastewater is one of the problems that deteriorate quality of water in water resource. For this reason, ozone and the cyclone system were employed to treat domestic wastewater. This study aims to determine property of the wastewater treatment machine using ozone-cyclone system by integrating high pressure ozone plasma generator and a cyclone system that allow ozone to be mixed thoroughly and quickly

<http://jeet.siamtechu.net>

with the wastewater. The efficiency of wastewater treatment machine was determined by water quality indexes such as Dissolved Oxygen (DO), Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD). It was found that the adding of ozone at 5 gO₃/h with 20 liters of wastewater at the flow rate of 3 gallon/minute (11.3 liters/minute or 678 liters/hour) can rapidly improve quality of water within 12 minutes with high Coefficient of Determination (R^2) close to 1. The DO increases from 0 to 8 mg/L with R^2 of 0.8281. The COD decrease from 132.10 mg/L to 78.00 mg/L with R^2 of 0.9349 and the BOD decrease from 56 mg/L to 20 mg/L with R^2 of 0.8848. According to the controlled standard for discharge water, the DO must not less than 5 mg/L, COD not exceed 120 mg/L and BOD not exceed 20 mg/L. This demonstrates that ozone-cyclone system wastewater treatment machine can adjust wastewater very quickly with the duration less than 12 minutes.

Keywords : Ozone, Cyclone System, Domestic Wastewater Treatment

1. บทนำ

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชากรภายในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคารบ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม โรงแรม ตลาดสด โรงพยาบาล ร้านค้า อาคารสำนักงาน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรก ในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) เป็นองค์ประกอบสำคัญ และเป็นสาเหตุสำคัญของการทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง

กรมควบคุมมลพิษ [1] ได้กล่าวไว้ในแนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียชุมชน ถึงปัญหามลพิษทางน้ำว่า เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและการดำรงชีวิตของประชาชน ซึ่งจากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่องของกรมควบคุมมลพิษ ยังคงพบปัญหามลพิษทางน้ำเสื่อมโทรมในแม่น้ำหลายสายโดยเฉพาะในแม่น้ำสายหลักของประเทศ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง โดยพารามิเตอร์สำคัญที่ตรวจพบเป็นปัญหามลพิษทางน้ำ คือค่าโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) และบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ว่าสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากน้ำเสียที่ระบายทิ้งมาจากแหล่งกำเนิดประเภทชุมชน ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดหรือจัดการน้ำเสียอย่างถูกต้องเหมาะสมก่อน นอกจากนี้การขยายตัวของกิจกรรมภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะส่งผลให้ปัญหามลพิษทางน้ำมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น

การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายวิธีหนึ่งที่หลาย ๆ ประเทศ ให้ความสนใจ คือการใช้โอโซน (O₃) ในบำบัดน้ำเสีย ซึ่งนอกจากโอโซนจะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน (O₂) 10 เท่า [2] แล้ว โอโซนยังเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงและมีสมบัติอย่างปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ มีการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลเป็นสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ ทำให้การกระจายอิเล็กตรอน โมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนซ์ไม่มีอิเล็กตรอนที่ขาดคู่ ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก จึงไม่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น และดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเล็ต เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีโลหะ และทำปฏิกิริยาไดโพลาร์ไซโคล-แอดดิชัน (Dipolar cyclo-addition) กับพวกสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compounds) ทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซี (OH) เป็นซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide Radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโอโซน โอโซนมีคุณสมบัติโดดเด่นในการฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นเชื้อไวรัส แบคทีเรีย รา ยีสต์ เชื้อโปรโตซัว หรือ สัตว์เซลล์เดียว สปอร์ซิสต์ และไซพยาธิ โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบที่ห่อหุ้มเซลล์ทำให้เซลล์แตก ถ้าเป็นไวรัสจะสลายกรดนิวคลีอิก ซึ่งไวรัสใช้ในการขยายพันธุ์ ถ้าเป็นพวกเซลล์หรือเชื้อโปรโตซัวจะทำลายเยื่อหุ้มชั้นในจนถึงส่วนประกอบภายในเซลล์ เหมาะในการบำบัดมลภาวะทางน้ำทั้ง น้ำเสีย เช่น การฆ่าเชื้อโรค จุลินทรีย์ และแบคทีเรียได้เกือบทุกชนิด การกำจัดสารเคมีและอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ตลอดจนช่วยลดปริมาณ BOD ได้ดี [3]

<http://jeet.siamtechu.net>

ระบบไซโคลน (Cyclone System) เป็นระบบที่ดัดแปลงจากการหมุนวนของอากาศมาเป็นระบบการหมุนวนของน้ำแบบปั่นป่วน [4] ที่ผู้วิจัยเห็นว่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ด้วยประสิทธิภาพเร่งการผสมผสานระหว่างออกซิเจน (O_2) กับ น้ำ (H_2O) และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบไซโคลนจะเป็นตัวการผสมผสานโอโซน (O_3) ให้เข้ากับน้ำ (H_2O) ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ด้วยกระบวนการทางเครื่องกลที่ทำให้น้ำเสียหมุนวนแบบปั่นป่วนเข้าผสมกับก๊าซโอโซน (O_3) ในท่อระบบปิด ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า คุณสมบัติของโอโซน (O_3) นั้น จะมีความไวในการทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์อย่างรุนแรง แต่โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวกลับเป็นออกซิเจนได้ในเวลาอันรวดเร็ว ภายในระยะเวลาไม่เกิน 6 วินาที จึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ดังกล่าวช่วยผสมผสานโอโซน (O_3) ให้เข้ากับน้ำ (H_2O) อย่างเร็วที่สุดด้วยปริมาณที่มากเพียงพอสำหรับการกำจัดน้ำเสีย โดยระบบไซโคลนนี้จะช่วยให้โอโซนเข้าปฏิกิริยากับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการบำบัดน้ำเสีย [5]

ดังนั้น จึงมีแนวคิดนำระบบไซโคลน (Cyclone System) ระบบการหมุนวนของน้ำแบบปั่นป่วน มาเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายตัวของโอโซน (O_3) ให้แพร่กระจายในน้ำเสียได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว โดยใช้หลักคุณสมบัติการเร่งประสิทธิภาพปริมาณการแพร่กระจายของโอโซน (O_3) ให้ผสมกับน้ำเสียได้ทั่วถึงและรวดเร็ว ซึ่งกระบวนการทำงานของระบบไซโคลน จะสามารถปรับสภาพค่า pH เพิ่มค่า DO ลดค่า BOD และ COD ของน้ำเสีย ได้มากกว่าเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องเติมอากาศแบบทั่วไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

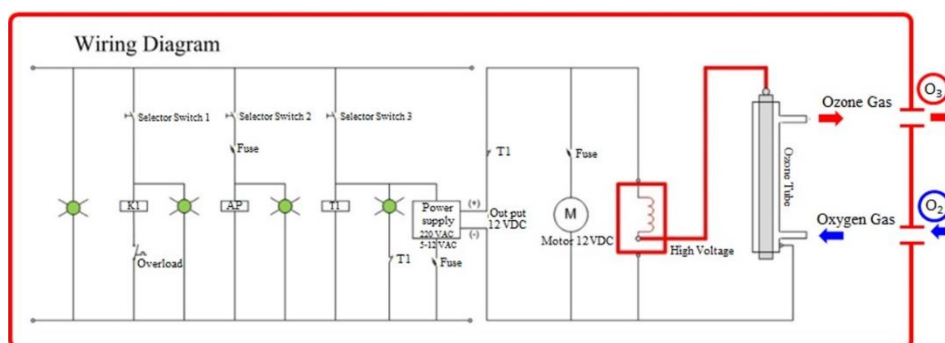
เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน โดยให้ปริมาณโอโซนเข้าปฏิกิริยากับน้ำเสีย ที่ $5 \text{ gO}_3/\text{h}$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัย การใช้โอโซนระบบไซโคลนบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 สร้างเครื่องผลิตโอโซนพาสมาความดันสูง ลักษณะเป็นเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 0.189 kW ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 V 50 Hz กำลังผลิตโอโซน $5 \text{ gO}_3/\text{hr}$ ประกอบด้วย [6]

- 3.1.1 เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Production) ขนาด $5 \text{ gO}_3/\text{hr}$
- 3.1.2 บั๊มลม (Air Pump Component) ขนาด 200 L/min
- 3.1.3 เครื่องวัดความดัน (pressure meter) $1.0 \times 10^5 - 1.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- 3.1.4 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage meter)
- 3.1.5 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Current Ampere Meter)



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้า เครื่องผลิตโอโซนพาสมาความดันสูง

<http://jeet.siamtechu.net>

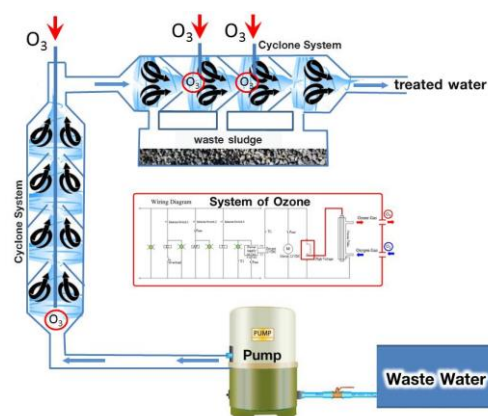
3.2 สร้างระบบทำน้ำวนคุณภาพสูง (Cyclone System) ประกอบด้วย

3.2.1 ปั๊มน้ำ (Water Pump) ขนาด อัตราการไหล 3.0 GPM ความสามารถของปั๊ม 11.3 L/min กระแสสูงสุด 0.9 Amp

3.2.2 ท่อระบบไซโคลนขนาด 4 นิ้ว ลักษณะเป็นท่อพีวีซี ท่อละ 1 เมตร จำนวน 2 ท่อ ต่อกันเป็นมุมฉาก

3.2.3 ด้านในของท่อ ติดตั้งวัสดุทรงกรวยคว่ำ ส่วนปลายแคบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทุกๆ ระยะ 25 เซนติเมตร

3.2.4 ใช้ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1/4 นิ้ว เพื่อปล่อยโอโซนลงในท่อระบบไซโคลน จำนวน 3 จุด เพื่อให้ น้ำเสียผสมกับโอโซนได้อย่างทั่วถึงโดยใช้กระแสน้ำหมุนวนแบบปั่นป่วนด้วยการอัดน้ำเข้าสู่ระบบไซโคลนในแนวสัมผัส หรือแนวแกน โดยเมื่อน้ำสัมผัสกับผนังกรวยทรงคว่ำน้ำจะหมุนวนกลับด้วยพลังงานจลน์ของน้ำและจะถูกดันออกไป ในลักษณะหมุนวนแบบปั่นป่วน สู่ห้องถัดไปเช่นนี้จนสิ้นสุดระบบไซโคลน



รูปที่ 2 การทำงานของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน

3.3 เก็บค่า pH, DO, COD และ BOD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง

ก่อนดำเนินการทดลองเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน ผู้วิจัยได้เก็บค่าน้ำเสียชุมชนเพื่อ ศึกษา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่อง คำนวณตัวอย่างก่อนการทดลอง โดย pH มีค่า 7.75 , DO มีค่าออกซิเจน ศูนย์ (0) mg/L, COD มีค่า 132.10 mg/L และ BOD มีค่า 56 mg/L

3.4 ทดลองเดินเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน

3.4.1 นำน้ำเสียชุมชนจำนวน 100 ลิตร มาทำการทดลอง

3.4.2 ปรับการ Flow ของน้ำที่ 11.3 L/min

3.4.3 ทดลองใช้ปริมาณโอโซนเข้าปฏิกิริยาต่อน้ำเสีย ที่ 5 gO₃/hr

3.4.4 เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 12 นาที (จำนวน 3 ชั่วโมง และหาค่าเฉลี่ย)

3.5 นำน้ำเสียที่ได้จากการทดลองไปหาค่า pH, DO, COD และ BOD

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เกี่ยวกับการพัฒนานวัตกรรมเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลน ในการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องมือได้ ดังนี้

4.1 วิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองของเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 0.189 kW ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 V 50 Hz กำลังผลิตโอโซน สามารถผลิตได้ 5 gO₃/hr ปั๊มลม (Air Pump Component) ขนาด 200 L/min

<http://jeet.siamtechu.net>

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการจ่ายโอโซน จากการศึกษาพบว่า อุปกรณ์ผลิตโอโซน 0.189 kW 220 V 50 Hz ประกอบกับ บั้มลม ขนาด 200 L/min ผลิตโอโซน 5 gO₃/hr ลงสู่ระบบไฮโคลน การทำงานของระบบสามารถจ่ายโอโซน ได้สม่ำเสมอไม่ติดขัด เมื่อประเมินความเปลี่ยนแปลงของเครื่องบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยโอโซนระบบไฮโคลน ทั้งระบบ พบว่า ในเวลา 1 ชั่วโมง มีค่ากระแสไฟฟ้า 1.55 บาท ต่อการบำบัดน้ำเสีย 678 ลิตร หรือ การบำบัดน้ำเสีย 1,000 ลิตร ต่อระยะเวลาการบำบัดน้ำเสีย 1 ชม. 30 นาที มีค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 2.33 บาท

หมายเหตุ: อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย อ้างอิงจากค่าพลังงานไฟฟ้าโรงงาน หน่วยละ 4 บาท ข้อมูลปี 2562

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบทำนํ้าวนคุณภาพสูง (Water Cyclone) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการผสมน้ำกับโอโซนด้วยแรงดันจากปั้มน้ำ (Water Pump) ขนาด 2,800 L/hr เข้าสู่ระบบไฮโคลนในแนวสัมผัสหรือแนวแกน โดยเมื่อน้ำสัมผัสกับวัสดุทรงกรวย (Cone Material) หรือผนังกรวยทรงคว่ำ น้ำจะหมุนวนแบบปั่นป่วนเพื่อคลุกเคล้าผสมผสานกับโอโซนและจะถูกดันออกสู่ห้องถัดไป โดยจะศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำจากค่า pH, DO, COD และ BOD

5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน

5.1 เปรียบเทียบน้ำเสียชุมชนก่อนการทดลอง กับมาตรฐานน้ำเสียชุมชน

จากการเปรียบเทียบดัชนีคุณภาพน้ำเสียก่อนการทดลองกับมาตรฐานน้ำเสียชุมชนจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่า ค่าความเป็นกรด และด่างของน้ำเสียชุมชน ยังอยู่ในสภาพเป็นกลาง ในขณะที่ค่าแสดงความเป็นกรด-เบส (pH) ยังมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนปริมาณค่าออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ (DO) พบว่าออกซิเจน (O₂) มีค่าเป็นศูนย์ (0) ซึ่งตามค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ ควรมีปริมาณค่าออกซิเจนละลายในน้ำไม่ต่ำกว่า 5 mg/L สำหรับปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) มีค่า 132.10 mg/L นั้นยังถือว่าเกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดให้ค่า COD ไม่ควรเกิน 120 mg/L ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) มีค่า 56 mg/L ถือว่าเกินค่ามาตรฐานไปถึง 36 mg/L (ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ของกรมควบคุมมลพิษ ไม่เกิน 20 mg/L) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งกับค่าน้ำเสียชุมชน [7], [8]

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	ค่าน้ำเสียชุมชน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	หน่วย pH	5 – 9	7.75
2. ดีโอ (Dissolved Oxygen: DO)	mg/L	ไม่ต่ำกว่า 5	0
3. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)	mg/L	ไม่เกิน 120	132.10
4. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	mg/L	ไม่เกิน 20	56

5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องบำบัดน้ำเสียโอโซนระบบไฮโคลน

ผู้วิจัยได้นำน้ำเสียชุมชน ไปทดลองกับเครื่องบำบัดน้ำเสียโอโซนระบบไฮโคลน โดยให้ผ่านโอโซน ที่ปริมาณ 5 gO₃/hr ระยะเวลาที่น้ำเสียผ่านโอโซนระบบไฮโคลน ด้วยเวลาที่ต่างกัน คือ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้เก็บค่า pH, DO, COD และ BOD ทุกๆ ระยะเวลาของเวลาที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า

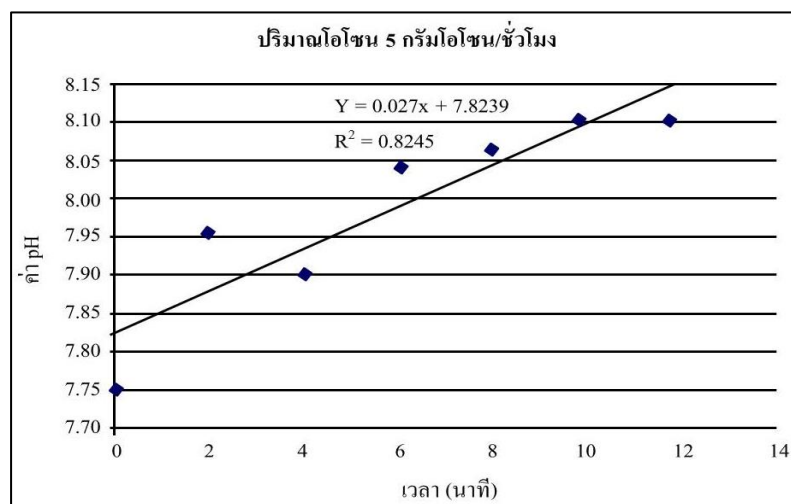
5.2.1 ค่าแสดงความเป็นกรด-เบส (pH) ดังตารางที่ 2 พบว่าค่า pH ถูกปรับสภาพเข้าหาความเป็นกลาง ประสิทธิภาพของเครื่องสามารถจัดการค่าความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย (pH) ได้ สัมประสิทธิ์การ

<http://jeet.siamtechu.net>

ตัดสินใจ (R^2) มีค่า เท่ากับ 0.8245 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า DO ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งจัดว่ามีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับ ดี ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อสัมผัสกับโอโซนระบบไฮโคลน 5 gO₃/hr ในเวลาที่แตกต่างกัน

รายการ	ค่ามาตรฐาน	ค่าก่อนการทดลอง	เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน (นาที)					
			2	4	6	8	10	12
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	5 - 9	7.75	7.95	7.90	8.04	8.06	8.10	8.10

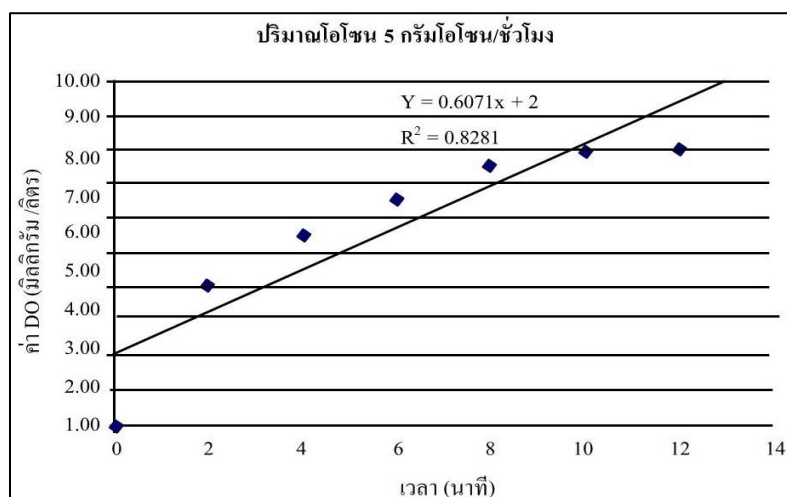


รูปที่ 3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย (pH)

5.2.2 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ดังตารางที่ 3 พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 นาทีแรก และสามารถเทียบค่าได้กับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งหลังจากที่บำบัดน้ำเสียผ่านโอโซนระบบไฮโคลนในนาที่ที่ 4 โดยระบบสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ได้อย่างต่อเนื่องสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า เท่ากับ 0.8281 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า DO ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งจัดว่ามีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับ ดี ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เมื่อสัมผัสกับโอโซนระบบไฮโคลน 5 gO₃/hr ในเวลาที่แตกต่างกัน

รายการ	ค่ามาตรฐาน	ค่าก่อนการทดลอง	เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน (นาที)					
			2	4	6	8	10	12
ค่าของปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) (mg/L)	ไม่ต่ำกว่า 5 (mg/L)	0.00	4.00	5.50	6.50	7.50	8.00	8.00

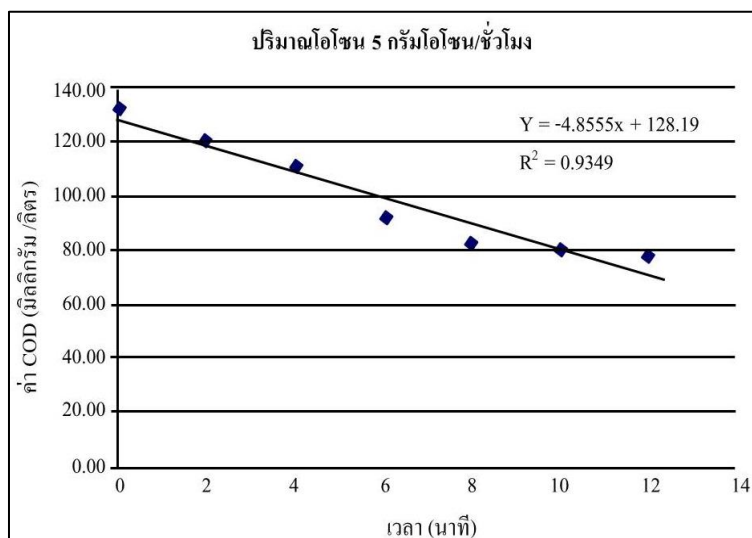


รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO)

5.2.3 ค่าของปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) ดังตารางที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลนสามารถลดปริมาณ COD ได้อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง จากการวิเคราะห์ ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียโอโซนระบบไฮโคลนมีความสามารถลดปริมาณ COD ได้อย่างต่อเนื่อง สมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า เท่ากับ 0.9349 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า COD ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งจัดว่ามีสมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับ ดีมาก ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) เมื่อสัมผัสกับโอโซนระบบไฮโคลน 5 gO₃/hr ในเวลาที่แตกต่างกัน

รายการ	ค่ามาตรฐาน	ค่าก่อนการทดลอง	เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน (นาที)					
			2	4	6	8	10	12
ค่าของปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)	ไม่เกิน 120 (mg/L)	132.10	120.00	110.05	91.68	82.68	78.88	78.00

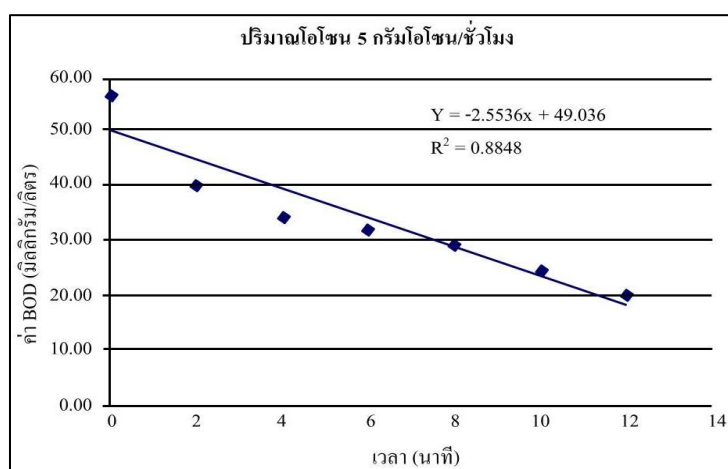


รูปที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)

5.2.4 ค่าของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ดังตารางที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไซโคลนสามารถลดปริมาณ BOD ได้อย่างต่อเนื่อง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า เท่ากับ 0.8848 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า BOD ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งจัดว่ามีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับ ดี ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) เมื่อสัมผัสกับโอโซนระบบไซโคลน 5 gO₃/hr ในเวลาที่แตกต่างกัน

รายการ	ค่ามาตรฐาน	ค่าก่อนการทดลอง	เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน (นาที)						
			2	4	6	8	10	12	
ค่าของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD)	ไม่เกิน 20 (mg/L)	56	40	34	32	29	25	20	



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD)

6. ศึกษาจากผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการจัดการน้ำเสียด้วยปริมาณโอโซนระบบไฮโคลน

เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของค่า pH, DO, COD และ BOD จากเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน ในภาพรวมของการบำบัด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากการดำเนินงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน โดยการจ่ายโอโซนที่ปริมาณ 5 gO₃/hr มีค่าเฉลี่ยที่ 0.8681 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างสูง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการจัดการน้ำเสียด้วยปริมาณโอโซน

รายการ	pH	DO	COD	BOD	เฉลี่ย
ปริมาณโอโซน 5 gO ₃ /hr	0.8245	0.8281	0.9349	0.8848	0.8681

7. การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย แบบ Eff: Efficiency

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของการทดลองการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียโอโซนระบบไฮโคลนในการลดค่า COD และ BOD ด้วยค่าร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย Eff: Efficiency โดยศึกษาจาก ((ค่าความเข้มข้นของน้ำไหลเข้า - ค่าความเข้มข้นของน้ำไหลออก) / ค่าความเข้มข้นของน้ำไหลเข้า) x 100 จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการปรับสภาพ COD ที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน 5 gO₃/hr คิดเป็นร้อยละ 40.95 และประสิทธิภาพการปรับสภาพ BOD ที่น้ำเสียสัมผัสกับโอโซน 5 gO₃/hr คิดเป็นร้อยละ 64.28

8. สรุปผล

น้ำเสียเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แนวความคิดในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นจากสมบัติที่โดดเด่นของโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนสลายตัวเร็วจึงคิดใช้ระบบไฮโคลนซึ่งเป็นตัวทำน้ำวนแบบปั่นป่วนที่จะเร่งให้โอโซนสัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง วัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน และเพื่อสร้างนวัตกรรมต้นแบบการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน ผลการวิจัยพบว่า อัตราความสิ้นเปลืองในการใช้กระแสไฟฟ้า ทั้งระบบ เวลา 1 ชั่วโมง มีค่ากระแสไฟฟ้า 1.55 บาท ต่อการบำบัดน้ำเสีย 678 ลิตร หรือการบำบัดน้ำเสีย 1,000 ลิตร ใช้เวลาบำบัด 1 ชั่วโมง 30 นาที เสียค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 2.33 บาท ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พบว่าการเติมปริมาณโอโซนที่ 5 gO₃/hr ส่งผลให้ค่าออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูง สามารถปรับค่า pH, DO, COD และ BOD ของน้ำเสียชุมชนให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ของกรมควบคุมมลพิษ ได้ภายในเวลา 12 นาที ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย แบบ Eff: Efficiency พบว่ามีประสิทธิภาพการปรับสภาพที่เหมาะสม สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน สามารถปรับสภาพน้ำเสียได้ตามค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ของกรมควบคุมมลพิษ สามารถตอบวัตถุประสงค์ เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลน โดยให้ปริมาณโอโซนเข้าปฏิบัติต่อน้ำเสีย ที่ 5 gO₃/hr สามารถจัดการน้ำเสียชุมชนได้ตามค่ามาตรฐาน ประหยัดทั้งค่ากระแสไฟฟ้า รวมถึงการบำรุงรักษา คำนวณสำหรับการลงทุน จัดว่าเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบไฮโคลนที่มีประสิทธิภาพ

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. “รายงานการดำเนินงานสำนักจัดการคุณภาพน้ำ ประจำปี 2555. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2555).
- [2] Francis, L. and Evans III. “*Ozone in Water and Wastewater Treatment*”. Michigan: Ann Arbor Science Pub, Inc. (1972).
- [3] Harono, A., Sadaka, M. and Sato M.,. “Soot Oxidation In A Silent Discharge”. *J. of chem. Eng.* (1991). Vol.165, 55.
- [4] วนิดา ศรทอง. “การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยโอโซนระบบไฮโคลน”. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม). (2562).
- [5] Lapple, C.E., *processes Use many collection types*, chem. Eng (1951). 58:145-51,
- [6] มงคล จงสุพรรณพงศ์. “การผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งและชุมชน”. (วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี). (2550).
- [7] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. *ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม*. หน้า 17 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง ราชกิจจานุเบกษา 6 มิถุนายน 2559
- [8] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. *ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน*. ลงวันที่ 7 เมษายน 2553 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 69ง วันที่ 2 มิถุนายน 2553.

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ ซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาจรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม Siam Technology College



เรียนรู้เพื่อสร้างความแตกต่าง



DIFFERENTLY...I-LEARN
WWW.SIAMTECHU.NET