



วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

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

ISSN 2392-5701

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2563 / Vol. 7, No. 1, January - June 2020

บทความ

หน้า

1. การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ
สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ ประพันธ์ พิกุลทอง และธนศ วิลาสมงคลชัย 1
2. การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออร์ฟิส
เก่งกล้า กุณรักษ์ 15
3. การศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
วิชาญ บุญคำ ภักศรัณย์ นวสรัณสิริ และกัญญารัตน์ แสงนิล 25
4. การประเมินการเกิดก๊าซเรือนกระจก : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากระบบการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์
พงศ์ธร แสงชูติ ศิริกัญญา ฤทธิ์แปลก และวิชาญ บุญคำ 37
5. การควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติ
ปัญญา สำราญหันธ์ ฅณพ ชัยสุวรรณ ธิติธิป หารชุมพล สมจินต์ อักษรธรรม และสุภัสสรณ์ พงษ์พานิช 43
6. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสกรดอะซิติก ในน้ำประปาชุมชน ตำบลบ้านยางจังหวัดบุรีรัมย์
พงศ์ธร แสงชูติ ศิริกัญญา ฤทธิ์แปลก และวิชาญ บุญคำ 54
7. การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง
ทัดดาว พาหาทรัพย์อนันต์ ชูชัยนี เจ๊ะสือแม ชูราญา สาแม ชัลวานา ยูโซ๊ะ และ อิลฮัม บินดาแม 62
8. ระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว โดยเทคนิค นาอ็พเบย์
ธีระพล ลิ้มศรัทธา ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์ และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ 69
9. การออกแบบและหาประสิทธิภาพเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง
พิทักษ์ คล้ายชม สิงห์เดช แดงจวง และพรทิพพา พิณญาพงษ์ 75

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



บทบรรณาธิการ



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ฉบับนี้เป็นปีที่ 7 ฉบับที่ 1 (เดือน มกราคม ถึง เดือนมิถุนายน 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 และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความที่ขอ เสนอส่งอย่างเคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐกฤต ปานชลธิ
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	หน้า
1. การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ	1
สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ ประพันธ์ พิกุลทอง และธเนศ วิชาสมงคลชัย	
2. การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออร์ฟิส	15
เก่งกล้า ฤกษ์รักษ์	
3. การศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์	25
วิชาญ บุญคำ ภักศรัณย์ นวสธรณีสิริ และกัญญารัตน์ แสงนิล	
4. การประเมินการเกิดก๊าซเรือนกระจก : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากระบบการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์	37
พงศ์ธร แสงชูติ ศิริกัญญา ฤทธิ์แปลก และวิชาญ บุญคำ	
5. การควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติ	43
ปัญญา สำราญพันธ์ ฌณพ ชัยสุวรรณ ธิดาธิป หารชุมพล สมจินต์ อักษรธรรม และสุภัศรณ พงษ์พานิช	
6. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสกรดฮาโลอะซิติก ในน้ำประปาชุมชน ตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์	54
พงศ์ธร แสงชูติ ศิริกัญญา ฤทธิ์แปลก และวิชาญ บุญคำ	
7. การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง	62
ทัดดาว พาหารทรัพย์อนันต์ ชูรัมย์ เจ๊ะสือแม ชูราญา สาแม ชัลวานา ยูโซ๊ะ และ อิลฮัม บินดาแม	
8. ระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว โดยเทคนิค นาอ็พเบย์	69
ธีระพล ลิ้มศรีทรา ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์ และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ	
9. การออกแบบและหาประสิทธิภาพเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง	75
พิทักษ์ คล้ายชม สิงหเดช แต่งจวง และพรทิพา พิญาพงษ์	

การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงาน
แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ

THE ENERGY STORAGE SYSTEM RESPONSE ON THE SOLAR-ROOF BUILDING CASE STUDY: FLUCTUATED SOLAR POWER

สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์¹ ประพันธ์ พิกุลทอง¹ ธเนศ วิลาสมงคลชัย^{2,*}
Somchai Jiajitsawat¹ Praphun Pikultong¹ Thanet Vilasmongkolchai^{2,*}

Received : 31 May 2020

Revised : 02 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

*Corresponding author E-mail : thanetv@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับผลกระทบจากความไม่สม่ำเสมอของแสงอาทิตย์และส่งผลกระทบต่อพลังงานที่ผลิตได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีเพื่อการพยากรณ์ตลอดจนระบบติดตามด้านพลังงานก็ไม่อาจแก้ไขปัญหาความผันผวนที่ส่งผลกระทบต่อสายส่งได้มากนัก ดังนั้นการแก้ไขปัญหาความผันผวนของพลังงานโดยใช้ระบบสะสมพลังงานจึงมีความจำเป็น แต่ต้องประกอบด้วยระบบการติดตามค่าพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ อย่างไรก็ตามความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์รวมถึงสภาพอากาศฤดูฝนได้ส่งผลกระทบต่อระดับพลังงานที่สะสมอยู่ในแบตเตอรี่ทำให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานเพื่อชดเชยการผันผวนของพลังงานดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบระบบควบคุมแบบจัดลำดับความสำคัญ ซึ่งได้แสดงผลการตอบสนองที่ดีต่อการบันทึกผลตามช่วงสถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ – สูง และมีความผันผวนนอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลในสถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง พบว่า ระบบสามารถตอบสนองได้ดี และในสถานการณ์สภาวะแบตเตอรี่ต่ำระบบจะมุ่งเน้นไปที่การประจุไฟฟ้าให้ระบบสะสมพลังงานเพื่อเตรียมการในช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงในช่วงค่ำ

คำสำคัญ: ระบบสะสมพลังงาน, พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ, เชื่อมต่อกริด

Abstract

Electrical energy generated from PV array affected by the solar fluctuation and make energy intermittent. The intermittent of environmental condition is the big problem of the using renewable energy, the forecast technology and monitoring system cannot manage for smoothing power as perfect. So, the use of energy storage system to solve the power fluctuation problem was necessary, but need to track the power changed instantaneously for the best in energy compensate. However, the highly fluctuated solar power and the rainy season has affected to the energy stored in batteries bank, then it cannot discharge to compensate perfectly. The priority based controlling scheme in this work shown the good results for high solar power and low solar power and also solar

power fluctuated. Besides, the high electricity demand scenario the system working well in peak shaving application. In case of low battery, the system would prior to charging energy storage first to prepare the energy prompt in the evening.

Keywords: Energy Storage System, Fluctuated Solar Power, Grid Connected

1. บทนำ

“พลังงาน” เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการผลักดันเศรษฐกิจ เนื่องจากว่าพลังงานเป็นต้นทุนหลักและส่งผลต่อการเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม รวมถึงพลังงานและการเข้าถึงพลังงานก็ถือว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชากร และด้วยความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นนั้น “ไฟฟ้า” ถือเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตประจำวันในปัจจุบัน แต่ด้วยการตื่นตัวในสภาวะวิกฤตทางพลังงาน รัฐบาลในหลายประเทศทั่วโลก จึงได้มีการรณรงค์และออกนโยบายเพื่อสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนนั้น ได้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อยู่อาศัย การสนับสนุนให้เกิดโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนให้มีการขยายตัวตามความต้องการใช้พลังงานจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงมีความจำเป็นในการดำเนินการในระดับเร่งด่วน

การบริหารโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ หรือ Smart Grid เป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาบริหารจัดการควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า สามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource : DER) ในระดับผู้ผลิตและผู้ใช้ (Prosumer) ที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ก่อนจะนำจ่ายพลังงานส่วนที่เหลือใช้กลับเข้าสู่กริด ซึ่งในปัจจุบันยังมีกำแพงอย่างปัญหาทั้งในด้านของเสถียรภาพของพลังงานไฟฟ้าในระบบ การที่มีพลังงานจ่ายกลับและเกินขีดของสายส่ง เป็นต้น ดังนั้นแล้วการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้งานของแต่ละหน่วยอาคารจึงมีความสำคัญเพื่อให้สามารถบริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และสามารถจัดการกับความผันผวนของพลังงานเนื่องจากสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เองก็ได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด

อย่างไรก็ดี การผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์มีการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีระบบพยากรณ์ที่อาศัยข้อมูลเวลาจริง (real time) ก็ไม่อาจตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทั่วทั้งที่เนื่องจากจะเกิดผลกระทบต่อพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณกว้าง ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานเพื่อให้ระบบตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในขณะนั้นได้ และสามารถจัดสรรเพื่อเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำระบบสะสมพลังงานมาใช้ในการลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมกันมากขึ้น [1] รวมทั้งมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้านความถี่ และแรงดัน ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า โดยการเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าน้อย (off-peak) ที่มีราคาไฟฟ้าต่ำเพื่อนำไปจ่ายในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง (on-peak) เป็นต้น หากแต่พื้นที่ตั้งของประเทศไทยมีการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง การลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้าให้ได้กำลังไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลานั้นต้องใช้ระบบเก็บพลังงานที่มีพิกัดกำลังและความจุพลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งทำให้การลงทุนต้องใช้งบประมาณที่สูงในปัจจุบัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวิธีการสำหรับประเมินขนาดพิกัดที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยเทคนิคการสร้างเส้นอ้างอิงกำลังไฟฟ้าขึ้นด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average, SMA) วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เลขชี้กำลัง (Exponential Moving Average, EMA) หรือ การใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) [2, 3] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงวิธีการควบคุมแบบตอบสนองต่อการแยกความถี่ ย่านความถี่

สามารถแยกโดยตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter, HPF) และความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) ทำให้สามารถรักษาคุณภาพไฟฟ้าตามความต้องการของลูกค้าได้ ด้วยการพิจารณาให้มีการเก็บพลังงานในช่วงบวกและ นำมาจ่ายกลับคืนในช่วงลบของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงทำให้เป็นการประหยัดพลังงาน จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถปรับเรียบกำลังไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีทำให้กำลังไฟฟ้าสุทธิก่อนส่งจ่ายสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีคุณภาพดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ได้อย่างมากและ คุณภาพไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงภายใต้ความต้องการของลูกค้า [4] ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้พัฒนาต่อยอดโดยสร้างค่าอ้างอิงเป็นการบูรณาการระหว่าง 2 วิธีการแบบดั้งเดิมที่ได้รับการนำไปใช้ในการยับยั้งความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์วิธีแรกคือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average method, MA) และวิธีการติดตามจุดกึ่งกลางของการผันผวนของกำลังไฟฟ้า (Fluctuation Centered Following Method, FCF) [5] ซึ่งการเก็บและคายประจุของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะตัดสินใจเพื่อที่จะชดเชยส่วนที่ขาดหรือเกินจากค่าเป้าหมายที่ใช้เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งวิธี MA เป็นการสร้างค่าอ้างอิงโดยการหาค่าเฉลี่ย โดยมีการกำหนดกลุ่มของจำนวนข้อมูลที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายกับการใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) ถ้าให้กลุ่มของข้อมูลในการหาค่าเฉลี่ยมากจะทำให้ได้ค่าอ้างอิงที่เรียบมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่จะทำให้ต้องใช้ขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับค่าอ้างอิงมีค่ามากขึ้นและ วิธี FCF วิธีนี้เป็นการประมาณค่าอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดและ ค่าต่ำสุดของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีต วิธี FCF สามารถลดขนาดฟักัดกำลังไฟฟ้าลงได้ เพราะค่าอ้างอิงได้จากจุดกึ่งกลางของความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขณะที่ฟักัดพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าอย่างฉับพลัน ดังนั้นวิธีการทำนำเสนอจึงได้มีการกำหนดให้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าฉับพลันน้อยให้ใช้วิธี MA ในการสร้างข้อมูลอ้างอิง และในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าฉับพลันด้วยความถี่สูงจะใช้วิธี FCF สร้างข้อมูลอ้างอิงกำลังไฟฟ้าแทน ดังนั้นจึงทำให้สามารถควบคุมทั้งขนาดฟักัดพลังงานไฟฟ้าและขนาดฟักัดกำลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการยับยั้งความผันผวนของกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงประสิทธิภาพที่ดีไว้ได้

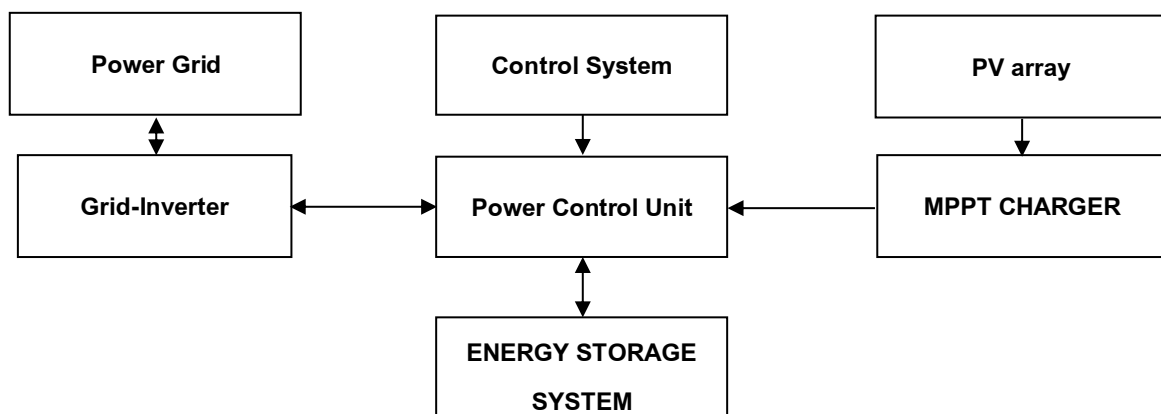
นอกจากการตอบสนองต่อการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ระบบสะสมพลังงานยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด พบว่าเมื่อระบบถูกจำลองด้วยสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ เซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 5 เครือข่ายไฟฟ้าในประเทศออสเตรเลียได้ถึง 0.05-1.51 % เมื่อนำระบบสะสมแบตเตอรี่ขนาด 12 kWh มาใช้ร่วม สามารถลดความต้องการสูงสุดเพิ่มได้อีก 1.31-2.02 % โดยที่กลยุทธ์การใช้แบตเตอรี่มีความสำคัญมากในการลดค่าความต้องการไฟฟ้า [6] อีกทั้งในส่วนของการพัฒนาระบบไมโครกริด การเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถือว่ามีค่าเป็นอย่างมาก [7] การวิเคราะห์การทำงานของระบบไมโครกริดในช่วงโหมดแยกตัวเป็นอิสระ (Islanding mode) กับการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานแบตเตอรี่และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติโดยใช้การจำลองแบบพลวัต สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบผลิตไฟฟ้าและมีการใช้งานเองภายในระบบได้

จากข้อมูลและงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นสามารถแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมมีความสำคัญอย่างมากกับการบริหารจัดการพลังงานร่วมกับระบบสะสมพลังงาน ทั้งในการตอบสนองต่อความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด การติดตั้งเครื่องมือวัดจึงมีความจำเป็นที่จะแสดงข้อมูลพลังงานที่ผลิตได้และการใช้ไฟฟ้าในขณะนั้น อย่างไรก็ตามการอาศัยเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถทำให้การบริหารจัดการพลังงานไม่สามารถทำได้ อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงได้มีผลงานวิจัยที่นำข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต (Yahoo Weather Forecast) และทำการประเมินข้อมูลและแนวโน้มทางสถิติตลอดจนข้อมูลจากสภาพอากาศจึงได้ถูกนำมาใช้งานเพื่อประมวลผลร่วมในระบบควบคุมหลักของระบบบริหารจัดการพลังงาน [8]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมแบบจัดลำดับความสำคัญ พร้อมทั้งทำการทดสอบระบบตามช่วงสถานการณ์ความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และเมื่อพลังงานในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำ เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการปรับปรุงระบบควบคุมต่อไป

2. พื้นหลังของการทดลองและระบบ

งานวิจัยนี้จะสามารถมองระบบในภาพรวมได้ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยระบบบริหารจัดการพลังงานที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง เพื่อสังเกตการใช้พลังงานของอาคารและพลังงานขาเข้า และบริหารจัดการตามสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์และความต้องการใช้ไฟฟ้า สำหรับการจำลองระบบขั้นต้น ระบบควบคุมจะถูกออกแบบให้ทำงานตามเงื่อนไขโดยจะให้ความสำคัญกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเป็นหลัก ซึ่งจะมีการทำงานของระบบสะสมพลังงานเพื่อตอบสนองต่อความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารอยู่ในระดับที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อภาพกว้างในการบริหารจัดการการผลิตและจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบจึงมองความสำคัญกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับต่ำที่สุด โดยมุ่งเน้นให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเพียงส่วนเติมเต็มระบบเพื่อลดการใช้พลังงานจากกริด โดยอาศัยระบบสะสมพลังงานในการเพิ่มเสถียรภาพด้านพลังงาน โดยระบบทดสอบนี้ได้ทำการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยที่มีการผู้พักอาศัยจริง ที่มีแผงพลังงานแสงอาทิตย์กำลังการผลิตติดตั้ง 8 kW บนหลังคา และระบบสะสมพลังงานประเภทลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LFP) ขนาด 10 kWh



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของระบบ

ระบบควบคุมการทำงานของระบบสะสมพลังงานจะมีการจัดลำดับความสำคัญตามตารางที่ 1 ซึ่งมีการเรียงความสำคัญแทนด้วยตัวเลขจากน้อยไปหามากแสดงลำดับการตัดสินใจที่เปิดให้ความสำคัญกับตัวเลขน้อยก่อน โดยค่าระดับความสำคัญ 0 ถือว่าความสำคัญยิ่งยวด ได้แก่ ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 5% และ อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 60°C โดยที่ระดับความสำคัญเท่ากันจะมีการดำเนินการตามสถานะที่มีการเกิดขึ้นล่าสุด ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าระดับความสำคัญของการตอบสนองต่อการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบสะสมพลังงานควรมีการตอบสนองต่อการใช้งานจากผู้ใช้งานในระดับความสำคัญที่สูงกว่า

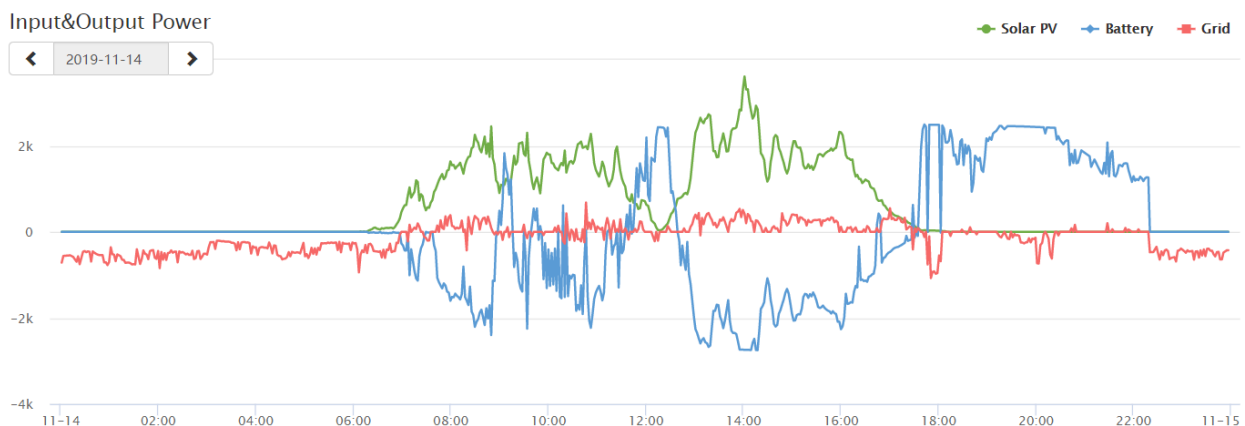
ตารางที่ 1 ตารางแผนการควบคุมการทำงานของระบบสะสมพลังงาน

เงื่อนไข	การทำงานของระบบสะสมพลังงาน	ระดับความสำคัญ
แสงอาทิตย์มีการผันผวน	คายประจุ	3
ช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง	คายประจุ	2
ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 10%	จำกัดการจ่ายกระแส	1
ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 5%	หยุดการจ่ายกระแส	0
อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 50°C	จำกัดการจ่ายกระแส	1
อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 60°C	หยุดการจ่ายกระแส	0

3. ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การดำเนินการวิจัยได้ทำการเก็บผลการทดสอบระบบเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีช่วงระยะเวลาในการบันทึกผลตั้งแต่วันที่ 10 พฤศจิกายน 2562 จนถึง 9 มีนาคม 2563 ดังนี้

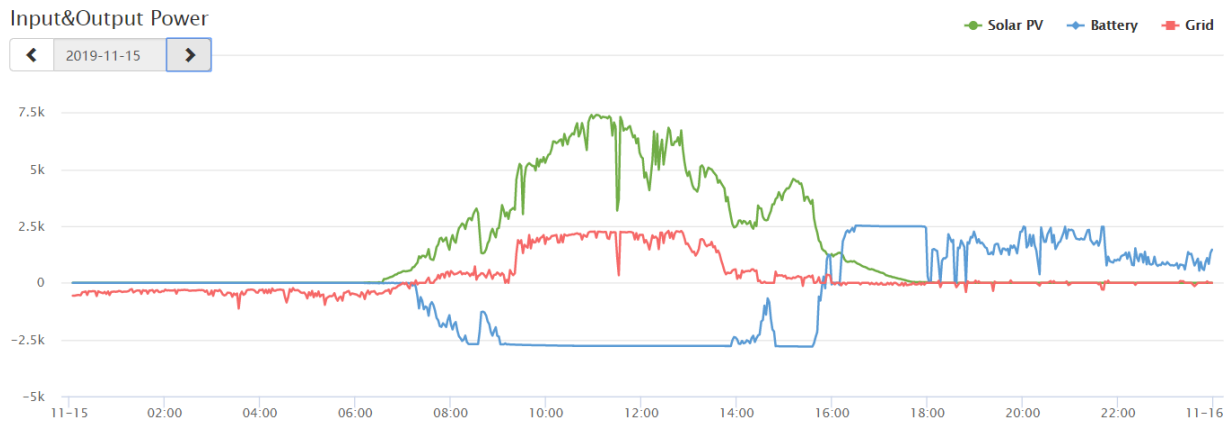
3.1 ผลการเปรียบเทียบสถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ-สูง และมีความผันผวน



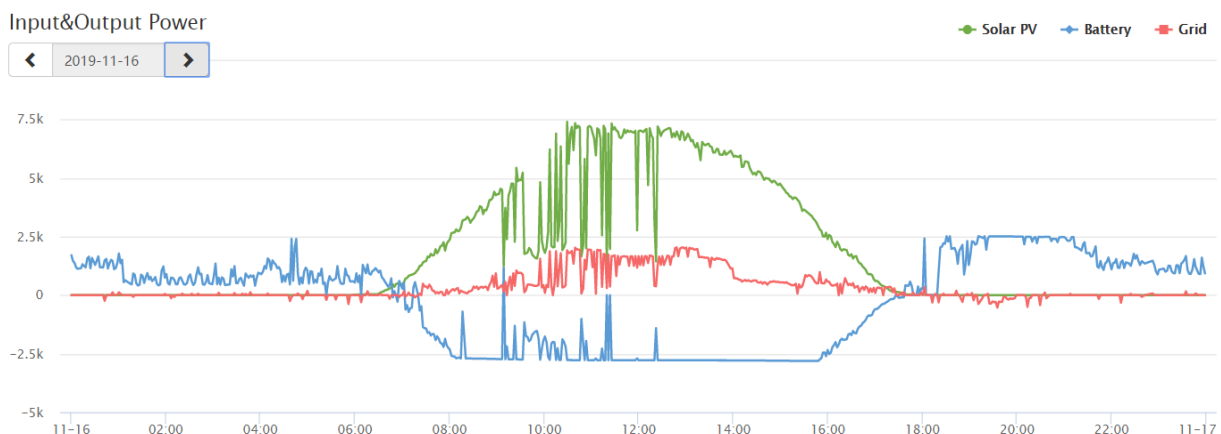
รูปที่ 2 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ

จากรูปที่ 2 ได้แสดงถึงพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำตลอดทั้งวัน โดยในช่วง 11:00 น. ถึง 13:00 น. อยู่ในสภาพอากาศมีครึ้มและมีฝนตก ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (กราฟสีเขียว) มีการลดระดับลงมาในระดับต่ำสุด โดยการทำงานของระบบจะมีความชัดเจนในช่วงของการตอบสนองของระบบสะสมพลังงาน (กราฟสีเขียว) มีการตอบสนองทันทีเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เพื่อลดการใช้พลังงานเพิ่มเติมจากกริด (กราฟสีแดง) รวมถึงมีการประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานเมื่อพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มีมากเกินไป (กราฟสีเขียวด้านลบ) โดยในช่วงเย็นหลังจากไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วระบบจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบสะสมพลังงาน โดยมีการดึงพลังงานจากกริดร่วมด้วย (กราฟสีแดงด้านลบ) หากมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูง หรือระดับพลังงานของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาการทำงานในวันที่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์สูง ระบบสะสมพลังงานยังคงมีการ

ทำงานเช่นเดียวกับช่วงพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ คือมีการจ่ายพลังงานจากระบบสะสมพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานเพิ่มเติมจากกริด (ช่วง 08:30 น.) โดยจะเห็นช่วง 09:00 น. – 13:30 น. มีกำลังไฟฟ้าที่มากเกินไปและสามารถจ่ายกลับเข้ากริดได้ (ทั้งนี้จากการทดสอบได้ทำการทดสอบในระบบจำลองซึ่งมีโครงข่ายไฟฟ้าของตนเอง ซึ่งในสถานการณ์จริงอาจมีการปรับตั้งให้กำลังไฟฟ้าขาออกเป็นศูนย์ได้)

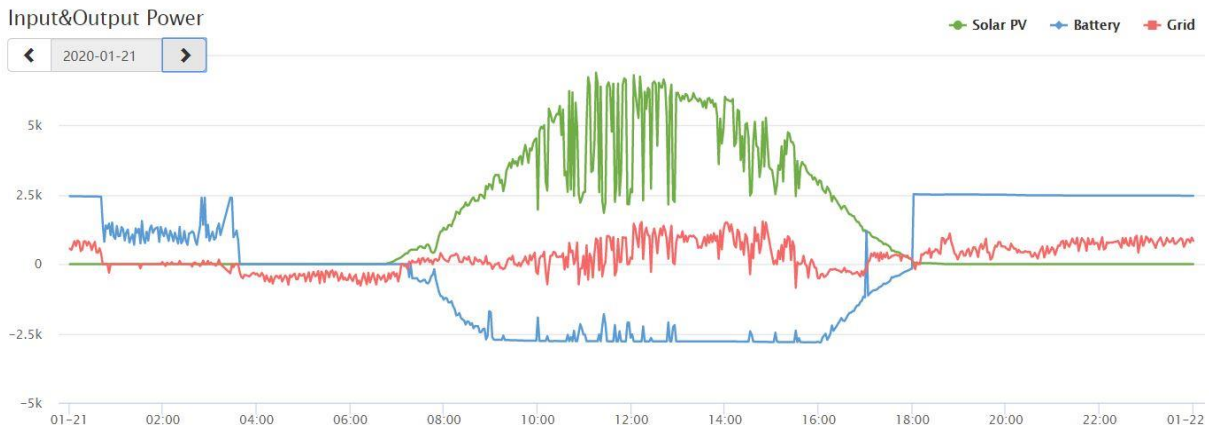


รูปที่ 3 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูง



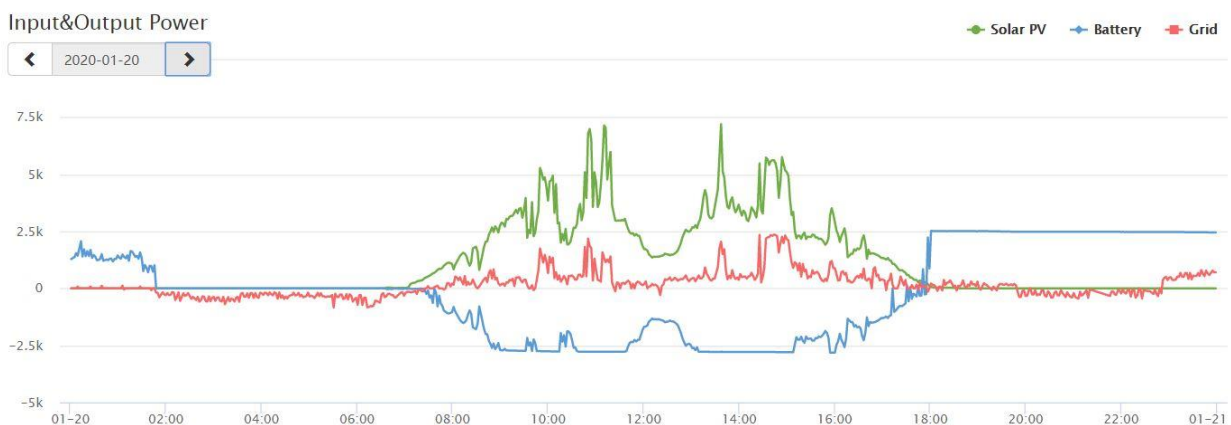
รูปที่ 4 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ สภาวะเบตเตอร์ปกติ

รูปที่ 4 แสดงข้อมูลต่อเนื่องจากรูปที่ 3 ซึ่งได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับสูงมาตลอดวันทำให้พลังงานที่สะสมในระบบสะสมพลังงานมีมากพอที่จะจ่ายให้กับอาคารตลอดทั้งคืน และเมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบสะสมพลังงานก็เริ่มทำงานเพื่อสะสมพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง ซึ่งในรูปที่ 3 นี้ จะเป็นตัวอย่างของความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่มีกำลังการผลิตที่สูงแล้ว และความผันผวนดังกล่าวทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงในระดับต่ำอย่างทันทีทันใด ทำให้ระบบจัดการจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินเข้ากริดเพื่อให้ระบบสามารถประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานในระดับที่คงที่ โดยเมื่อมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารสะสมพลังงานมีการตอบสนองให้คายประจุหรือลดกำลังไฟฟ้าในการประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงาน (ช่วง 09:00 น. – 11:30 น.) เช่นเดียวกับรูปที่ 5 ที่ได้แสดงถึงการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับที่สูง แต่ระดับเบตเตอร์อยู่ในระดับต่ำ โดยจะสังเกตได้ว่าการหยุดทำงานของระบบสะสมพลังงานเวลาประมาณ 04:00 น. และเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ เบตเตอร์จะเลือกทำการลดการจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินเข้ากริด เช่นเดียวกับรูปที่ 4 เพื่อให้ระบบสามารถประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานในระดับคงที่



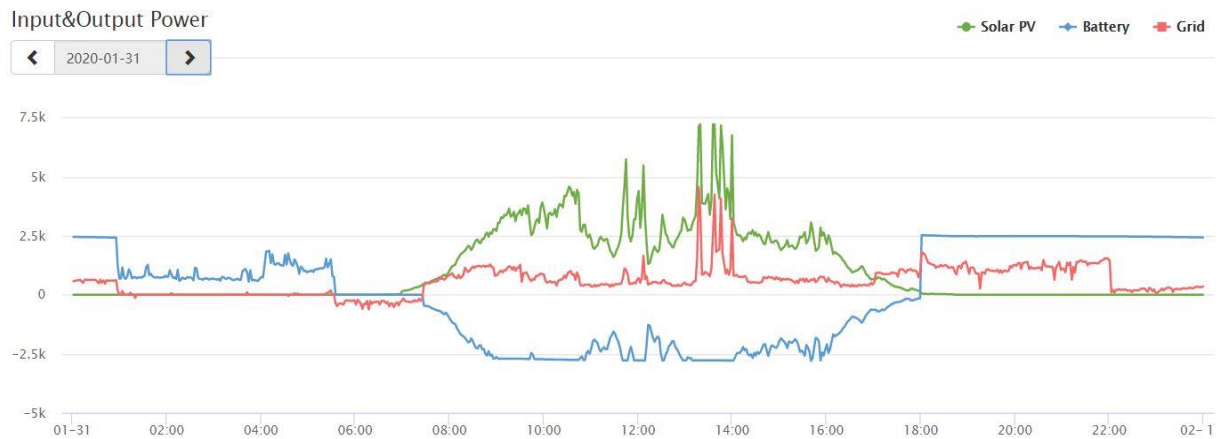
รูปที่ 5 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ สภาวะแบตเตอรี่ต่ำ

ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ ฝนตกเป็นเหตุการณ์ทั่วไปซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ โดยการที่ฝนตกจะลดทอนกำลังการผลิตของพลังงานแสงอาทิตย์ลง รูปที่ 6 ได้แสดงถึงพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงในช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. – 13:00 น. การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานจะแตกต่างจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำตลอดทั้งวัน (รูปที่ 2) ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้และความต้องการใช้พลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในระดับที่เพียงพอ การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานจึงเพียงแต่ลดระดับกระแสในการอัดประจุลงเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 7 และ 8 จะพบว่ารูปแบบการทำงานจะอยู่ในรูปแบบเดียวกัน คือ ไม่มีการจ่ายพลังงานจากระบบสะสมพลังงานเพื่อนำมาใช้ระหว่างวันในขณะที่ฝนตกหรือแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ เพียงแต่ในรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานซึ่งมีการคายประจุเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาประมาณ 15:30 น. ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารที่สูงกว่าระบบผลิตได้



รูปที่ 6 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 1

<http://jeet.siamtechu.net>

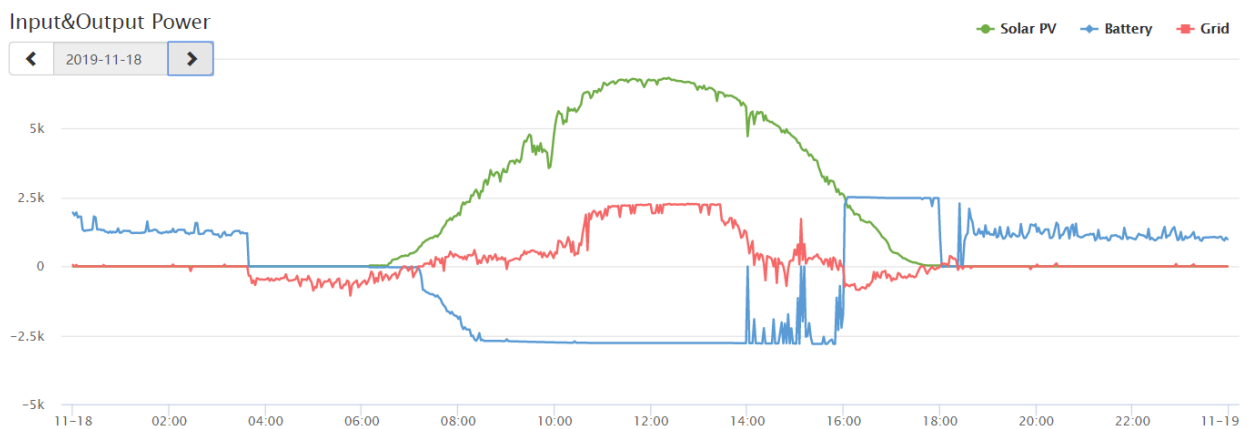


รูปที่ 7 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 2



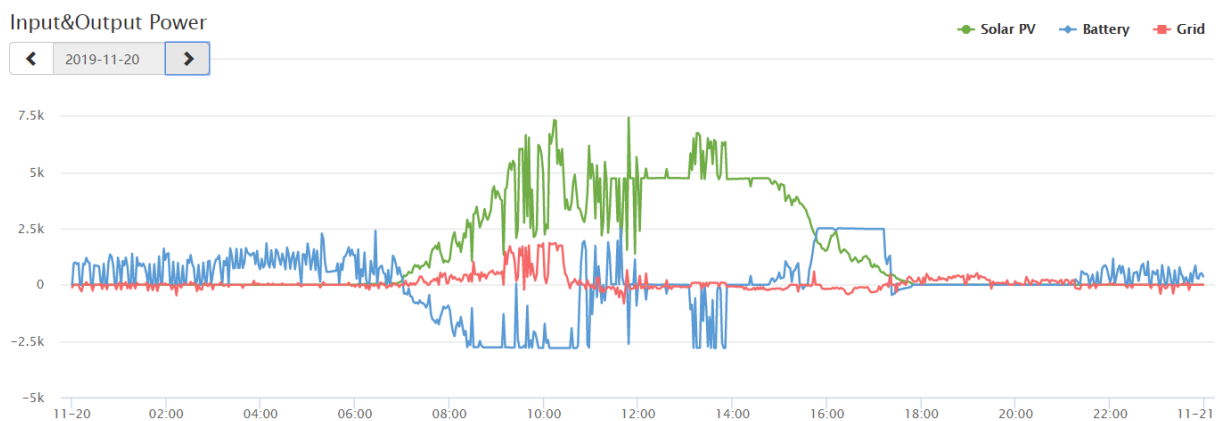
รูปที่ 8 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 3

3.2 ผลการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง



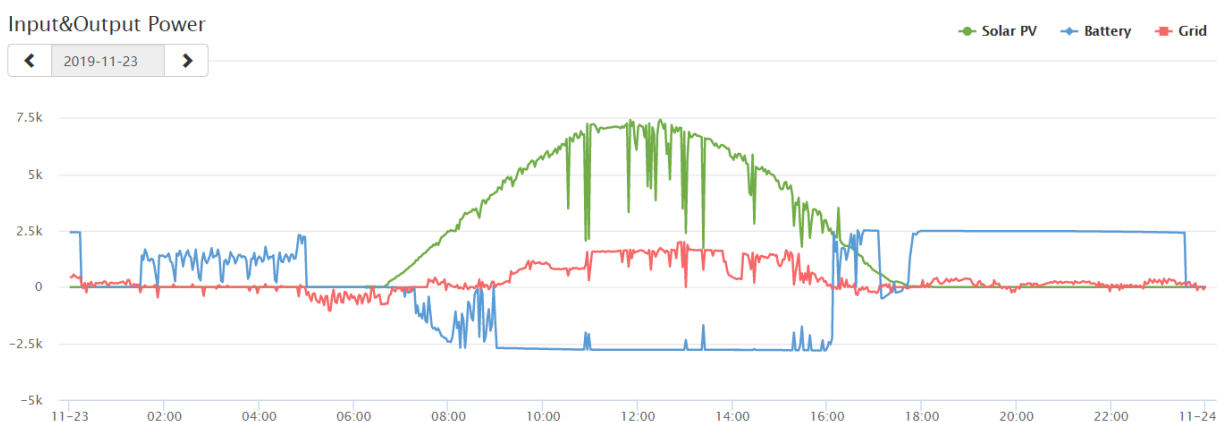
รูปที่ 9 การตอบสนองของระบบเมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง

การทำงานของระบบโดยปกติแล้วจะมีการตั้งเงื่อนไขการทำงานของระบบโดยพิจารณาจากพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์เป็นหลัก โดยมีการจำแนกการทำงานของระบบสะสมพลังงานแต่ละชนิด แต่เหนือสิ่งอื่นใด เมื่อมีความต้องการกำลังไฟระบบสะสมพลังงานมีความจำเป็นต้องพร้อมต่อการใช้งานอยู่เสมอ ในรูปที่ 9 ได้แสดงให้เห็นถึงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงตั้งแต่ช่วง 14:00 น. โดยเริ่มสังเกตเห็นการทำงานของระบบสะสมพลังงานที่ลดระดับกำลังไฟในการประจุไฟฟ้าลงเป็นช่วงๆ และจะเห็นการทำงานของระบบสะสมพลังงานอย่างเต็มกำลังในช่วงเวลา 16:00 น. ก่อนจะมีการลดระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าลงในช่วง 18:00 น. (ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า) ก่อนจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับปกติ



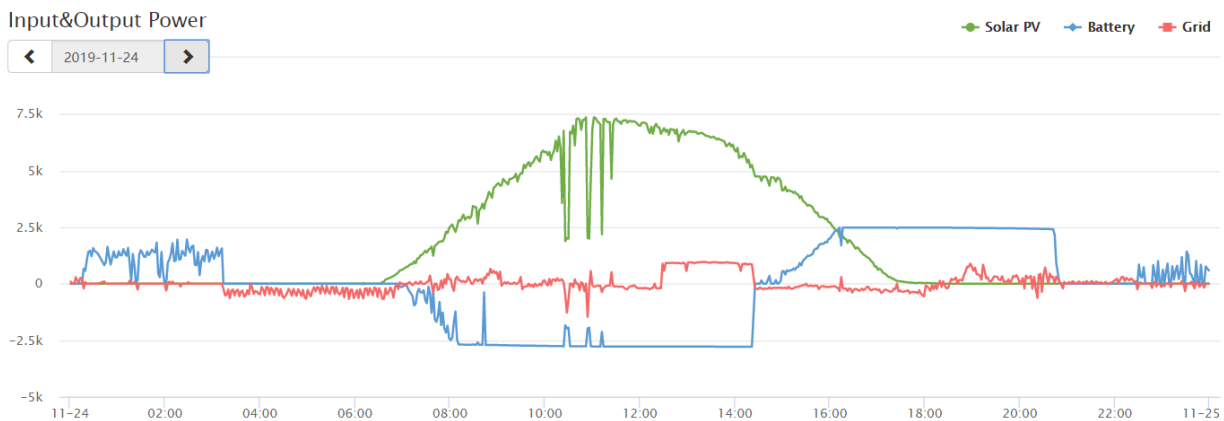
รูปที่ 10 การตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงและมีการจำกัดกำลังไฟจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 10 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบการจำกัดกำลังไฟจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับ 5kW ในช่วงบ่าย ตั้งแต่เวลา 12:00 น. ซึ่งระหว่างนี้ให้มีการเดินโหลดจำลองขนาด 5kW เพื่อสังเกตการณ์ตอบสนองของระบบ โดยมีการปลดการจำกัดกำลังไฟฟ้าเพื่อทดสอบการทำงานของระบบสะสมพลังงานในช่วง 13:00 น. – 14:00 น. จะเห็นได้ว่าระบบสะสมพลังงานมีการประจุไฟฟ้าเข้าหลังจากการปลดการจำกัดกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว ก่อนที่ระดับพลังงานแสงอาทิตย์จะลดต่ำลงและระบบสะสมพลังงานทำการจ่ายเพื่อชดเชยให้เพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาประมาณ 16:00 น. และปิดโหลดจำลองในช่วงเวลาประมาณ 17:30 น.

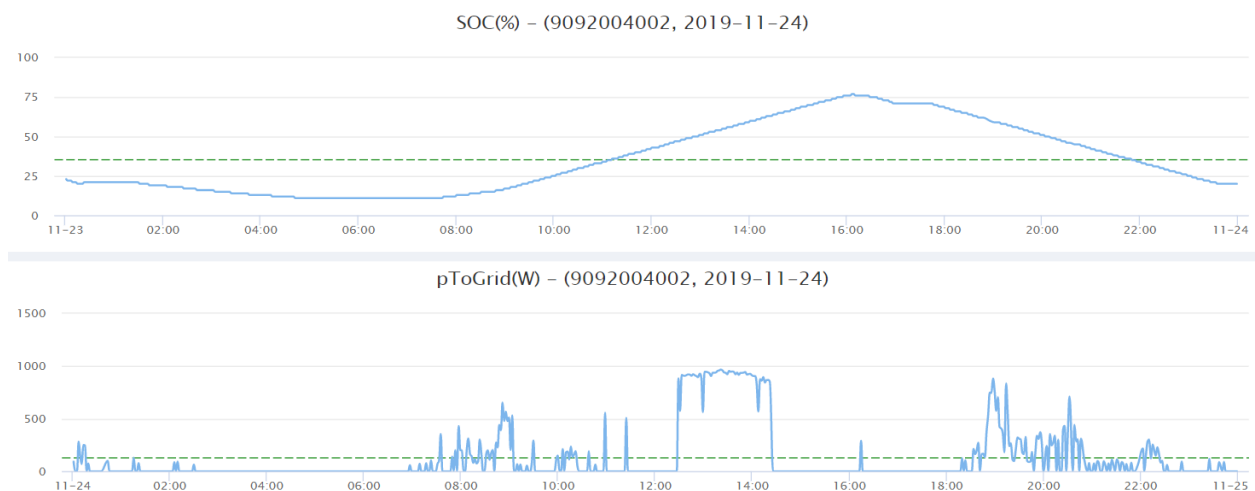


รูปที่ 11 การตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่อง

เมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่องระบบจะทำการตอบสนองให้ระบบสะสมพลังงานจ่ายพลังงานออกเพื่อลดการใช้พลังงานจากกริด โดยรูปที่ 11 ได้มีการทดสอบการเปิดโหลดจำลองที่ระดับ 2.5kW ต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 18:00 น. ไปจนถึงเวลา 24:00 น. และมีความต้องการกำลังไฟฟ้าต่อเนื่องในช่วงหลัง 00:00 น. ของวันถัดไป (ดังรูปที่ 12) ซึ่งจะสามารถแสดงค่าระดับความจุของระบบสะสมพลังงานได้ดังรูปที่ 13 โดยระบบสะสมพลังงานจะคายประจุจนสิ้นสุดที่ระดับความจุวิกฤติที่ 10% SOC



รูปที่ 12 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อเนื่องจากรูปที่ 11



รูปที่ 13 ระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานของค่ากำลังไฟฟ้าในรูปที่ 12

3.3 ผลการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์แบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำ

สืบเนื่องจากการทดสอบความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่อง พบว่าระบบควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ (BMS) จะคายประจุจนสิ้นสุดที่ระดับความจุวิกฤติที่ 10% SOC ตามที่ปรับตั้งไว้ แต่อย่างไรก็ตามความจุวิกฤติเป็นจุดที่ไม่ควรให้ระบบสะสมพลังงานทำงานถึงจุดดังกล่าว เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นในการปรับตั้งระบบควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่จึงได้จำแนกช่วงการทำงานตามระดับของแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ สภาวะการทำงานปกติ สภาวะการทำงานแบบจำกัดกระแส และสภาวะหยุดการทำงาน โดยสถานะดังกล่าวจะใช้ระดับของแบตเตอรี่เป็นจุดแบ่งแยกสภาวะการทำงานที่ ระดับแบตเตอรี่สูงกว่า 20% ระดับต่ำกว่า 20% แต่สูงกว่า 10% และระดับต่ำกว่า 10% ซึ่งถือเป็นจุดวิกฤติ ตามลำดับ

รูปที่ 14 เป็นชุดข้อมูลที่เห็นได้ชัดถึงการทำงานทั้ง 3 สถานะการทำงาน โดยนับจาก 00:01 น. – 00:30 น. จะมีการทำงานแบบปกติไม่มีการจำกัดกระแส โดยจะเริ่มจำกัดกระแสตั้งแต่ 00:31 น. – 02:45 น. และเข้าสู่การหยุดการทำงานไปจนถึงเวลา 9:00 น. เมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์มากเพียงพอ ทั้งนี้สามารถแสดงระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 สถานการณ์การทำงานของระบบสะสมพลังงานตามระดับความจุ



รูปที่ 15 ระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานของค่ากำลังไฟฟ้าในรูปที่ 14

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจะพิจารณาผลการตอบสนองเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็น 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ-สูง และมีความผันผวน สถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และสถานการณ์แบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งทั้งสามสถานการณ์นี้จะครอบคลุมสำหรับการใช้งานระบบสะสมพลังงานเพื่อ

ตอบสนองต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้งานจริง เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นมีภูมิอากาศแบบมรสุมความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานการณ์พิจารณาที่หนึ่งจึงเป็นส่วนสำคัญและสามารถปรับใช้ได้กับการใช้ระบบสะสมพลังงานในการเพิ่มเสถียรภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และในสถานการณ์พิจารณาที่สองซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในฤดูฝน พลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณที่ลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ที่ขาดไม่ได้คือการตอบสนองเมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งระบบจะต้องมีการตอบสนองให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงและลดภาระของสายส่งในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงได้ ทั้งนี้สามารถนำผลการทดสอบไปขยายผลเพื่อปรับปรุงทั้งในส่วนระบบควบคุม รวมถึงการลดความจุของแบตเตอรี่ลง และ/หรือมีการใช้งานร่วมกับระบบสะสมพลังงานชนิดอื่น เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำลงและสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยวัฒน์ งามสมโส, “วิธีการลดขนาดพิกัดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต-วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์”, 2557.
- [2] Akatsuka, M., R. Hara, H. Kita, T. Ito, Y. Ueda, S. Miwa, N. Matsuno, K. Takitani and M. Saito., “Suppression of Large-scaled PV Power Station Output Fluctuation using Sodium-Sulfur Battery”. *IEEE Transaction on PE* 130(2), 2010, pp. 223-231.
- [3] Sheikh, M.R.I., M.A. Motin, M.A. Hossain and M. Shahed., “Reference Power Selection for Smoothing Wind Power Fluctuations with Reduced Energy Capacity. *IEEE ICECE*, 2012, pp. 746-749.
- [4] Sadegh Shajari and Reza Key Pour., “Reduction of Energy Storage System for Smoothing Hybrid wind-PV Power Fluctuation”. *IEEE EEEIC*, 2012, pp. 115-117.
- [5] Watanabe, R., Y. Ito, Y. Hida, R. Yokoyama, K. Iba and T. Tsukada., “Optimal Capacity Selection of Hybrid Energy Storage Systems for Suppressing PV Output Fluctuation”. *IEEE PES ISGT ASIA*, 2012, pp. 1-5.
- [6] Alex Park and Petros Lappas., “Evaluating demand charge reduction for commercial-scale solar PV coupled with battery storage. *Renewable Energy* 108, 2017, pp. 523-532.
- [7] W. Srithiam, S. Asadamongkol, T. Sumranwanich., “Application of Battery Energy Storage System in Coordination with MicroEMS for Mae Hong Son Microgrid during Islanding Mode”. *International Council on Large Electric Systems : AORC Technical meeting*, 2014.
- [8] F.A.T. Al-Saedi., “Peak Shaving Energy Management System for Smart House”, *International Journal of Computer Science Engineering and Technology (IJCSET)*, 3(10), 2013, pp. 359-366.

การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออริฟิส

COOLING OF A HOT SURFACE BY ORIFICE NOZZLE

เก่งกล้า กุณารักษ์

Kengkla Kunarak

Received : 02 Jun 2020

Revised : 05 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Corresponding author, E-mail : kengkla_stc@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออริฟิสที่มีลักษณะต่างกัน 3 แบบ หัวฉีดออริฟิส, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ และหัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหัวฉีด $D = 20$ มม. และปลายหัวฉีดออริฟิสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 18$ มม. ใช้อากาศเป็นของไหลทดลองที่อัตราการไหลในเทอมเลขเรย์โนลด์ส (Re) คงที่ 10,000 และระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. ผลการทดลองพบว่าหัวฉีดออริฟิสช่วยให้ระบายความร้อนบนพื้นผิวได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดา หัวฉีดออริฟิสทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 120$ มม. ให้ค่าการระบายความร้อนในเทอมของเลขนัสเซิลต์มากที่สุด อาจเกิดจากปลายออริฟิสจะทำลายชั้นการไหลบริเวณทางออกให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนช่วยให้เกิดการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การระบายความร้อน, หัวฉีดออริฟิส, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง

Abstract

This paper studied cooling of a hot surface by orifice nozzle with 3 different styles, orifice nozzle, orifice nozzle with narrow chamfer and orifice nozzle with wide chamfer. The results obtained are compared with conventional nozzle. Orifice nozzle diameter $D = 20$ mm and the tip of the orifice nozzle has a diameter $d = 18$ mm. Using air as working fluid at flow rate in term of the Reynolds number (Re), constant at 10,000. nozzle-to-plate spacings $z = 40, 80, 120$ and 160 mm. The results showed that orifice nozzle helps cooling on surface higher than conventional nozzle. Orifice nozzle experiment at nozzle-to-plate spacing $z = 120$ mm gave highest cooling in term of the Nusselt number. It may be caused by the tip of the orifice breaking down the flow layer the exit area causes turbulent flow helps to create better cooling.

Keywords: Cooling, orifice nozzle, orifice nozzle with narrow chamfer, orifice nozzle with wide chamfer

1. บทนำ

การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนมีความจำเป็นมากในกระบวนการผลิต เช่น การระบายความร้อนชิ้นส่วนต่างๆ ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การผลิตโลหะ อื่นๆ ได้มีการวิจัยและพัฒนาการระบายความร้อนด้วยหัวฉีดลักษณะต่างๆ เพื่อลดระยะเวลาในการผลิต มีนักวิจัยออกแบบหัวฉีดหลากหลายรูปแบบเพื่อสร้างการไหลแบบปั่นป่วนกระทบพื้นผิวเพื่อช่วยให้เพิ่มความสามารถในการระบายความร้อน มีงานวิจัยที่ผ่านมา ดังนี้

Colucci และ Vikanta. [1] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้หัวฉีดที่มีลักษณะไฮเปอร์โบลิกและออร์ฟิสแบบขอบคม เพื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ทดลองที่อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 10,000 ถึง 50,000 สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (z/D) 0.25 ถึง 6.0 จากผลการทดลองพบว่าหัวฉีดทั้งไฮเปอร์โบลิกและออร์ฟิสแบบขอบคมมีการถ่ายเทความร้อนหรือการระบายความร้อนดีกว่าแบบธรรมดา และมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหล กล่าวได้ว่าลักษณะของหัวฉีดมีผลต่อการระบายความร้อน Brignoni และ Garimella [2] ทดลองผลกระทบของทางเข้าหัวฉีดที่มีลักษณะมุมตัด หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.18 มิลลิเมตร มีระยะมุมตัด 2.31 และ 0.64 มิลลิเมตร และมีมุมตัด 41° และ 60° ทดลองที่สัดส่วนระยะห่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (z/D) 1 และ 4 และอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 5000 ถึง 20,000 พบว่าหัวฉีดมุมตัดช่วยเพิ่มการระบายความร้อนบนพื้นผิว ที่ระยะห่างน้อยและอัตราการไหลมากให้ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือระบายความร้อนได้ดีที่สุด J. Lee และ S.J. Lee. [3] ได้ทดลองผลกระทบของลักษณะหัวฉีด มี 3 ลักษณะ แบบธรรมดา ขอบตัด ขอบคม หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สัดส่วนระยะห่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (z/D) 2 ถึง 10 เลขเรย์โนลด์ส์ 5000-30,000 ผลการทดลองพบว่าหัวฉีดขอบคมช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีที่สุด การระบายความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ส์ และระยะห่างหัวฉีดน้อย Gulati และคณะ [4] ทดลองการกระจายการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีด 3 ลักษณะ หัวฉีดกลม หัวฉีดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หัวฉีดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเทียบเท่า 20 มิลลิเมตร อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 5000 ถึง 15,000 สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (z/D) 0.5 ถึง 12.0 พบว่าหัวฉีดสี่เหลี่ยมผืนผ้าช่วยให้การถ่ายเทความร้อนหรือระบายความร้อนได้ดีที่สุด และอัตราการไหลมีผลต่อการระบายความร้อน Vinze และคณะ [5] ศึกษาผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อน หัวฉีดมี 3 ลักษณะ หัวฉีดคอนทัวร์ หัวฉีดออร์ฟิส และท่อนหัวฉีด ทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส์ 48,000, 82,000 และ 120,000 สัดส่วนระยะห่างหัวฉีด 1, 2, 6 และ 10 ผลการทดลองพบว่าท่อนหัวฉีดช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีที่สุด และที่สัดส่วนระยะห่างหัวฉีด 6 ช่วยให้การระบายความร้อนได้ดีที่สุด

จากผลการทดลองงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด และลักษณะหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อนบนพื้นผิว สำหรับการทดลองครั้งนี้ทดลองผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิส และสัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา

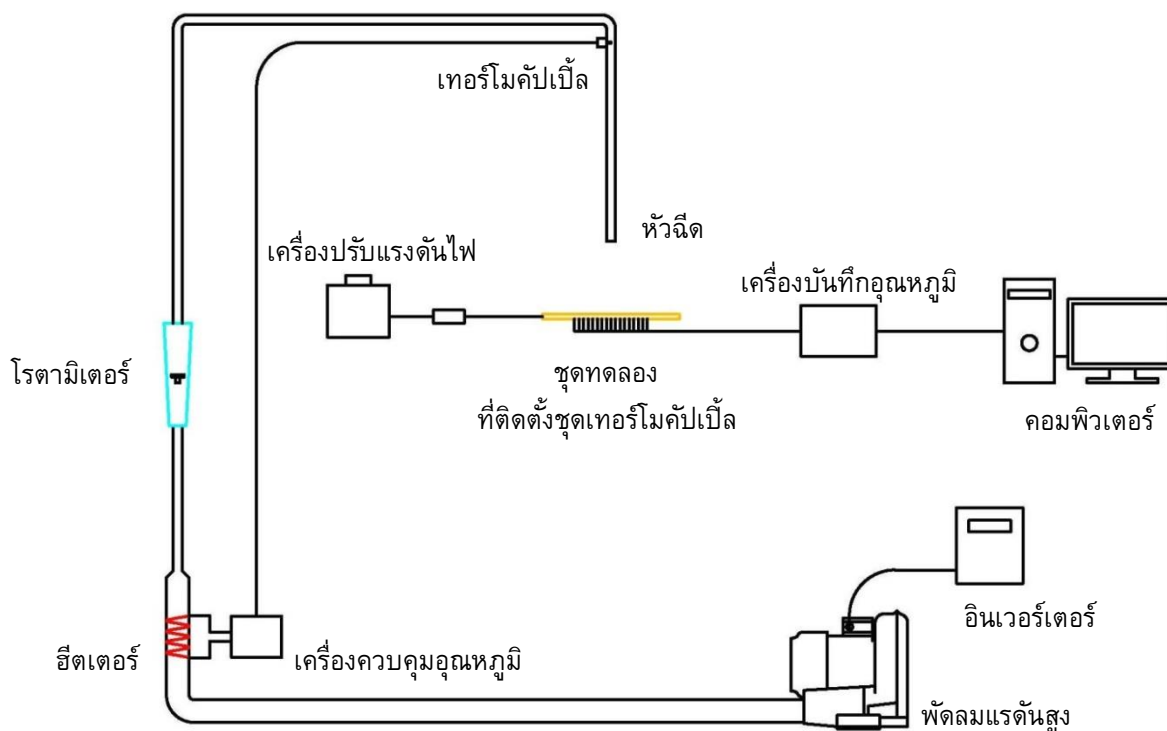
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิสลักษณะแตกต่างกันและผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวส่งผลต่อการระบายความร้อนบนพื้นผิวร้อน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

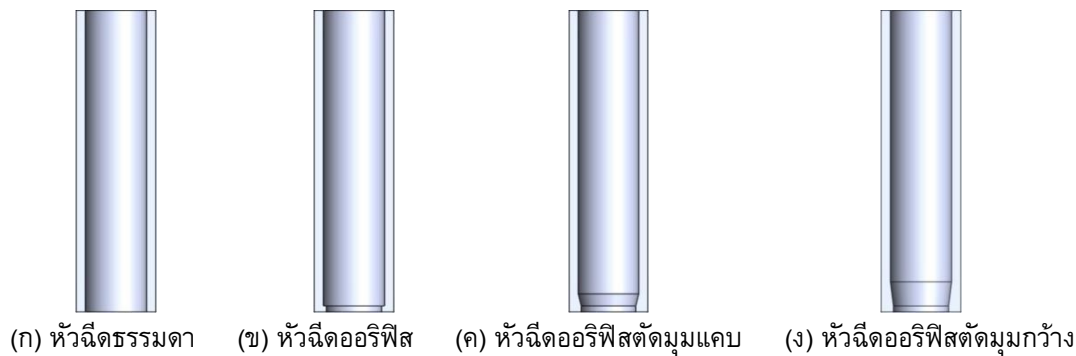
3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

ชุดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย (1) พัดลมแรงดันสูงใช้สำหรับส่งอากาศไปยังชุดทดลอง (2) อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม (3) ฮีตเตอร์และชุดควบคุมอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิ้ลซึ่งติดตั้งที่ทางเข้าของท่อทดลองสำหรับควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้คงที่ (4) โรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหลอากาศ (5) หัวฉีดมีทั้งหมด 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) หัวฉีดธรรมดา (ข) หัวฉีดออร์ฟิส (ค) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ (ง) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง (6) ชุดทดลองที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล ชุดทดลองทำจากสแตนเลสสตีล ขนาด 300 x 300 มม. ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์แบบแผ่นบาง และติดตั้งชุดเทอร์โมคัปเปิ้ลสำหรับวัดอุณหภูมิพื้นผิว (7) เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังฮีตเตอร์ที่ติดกับชุดทดลอง (8) เครื่องบันทึกอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับชุดเทอร์โมคัปเปิ้ล (9) คอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 ไลอะแกรมของชุดทดลอง

ท่อหัวฉีดทุกท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 20$ มม. มีทั้งหมด 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) หัวฉีดธรรมดา หรือแบบทั่วไป (ข) หัวฉีดออร์ฟิส มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสที่ปลายของหัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 18$ มม. ความหนา 2 มม. (ค) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสและมีการตัดมุม chamfer 4 มม. (ง) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสและมีการตัดมุม chamfer 8 มม.



รูปที่ 2 หัวฉีดสำหรับทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

ติดตั้งหัวฉีดธรรมดาเข้ากับชุดทดลอง เปิดการทำงานของอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด อากาศถูกส่งผ่านฮีตเตอร์ที่ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิซึ่งวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าท่อหัวฉีดสำหรับทดลอง ปรับตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิคงที่ 27 °C ตลอดการทดลอง อากาศไหลผ่านโรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหล และควบคุมอัตราการไหลอากาศด้วยการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบพัดลม อากาศผ่านไปยังชุดทดลองด้วยอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ $Re = 10,000$ ปรับเครื่องควบคุมไฟฟงที่ 29 วัตต์ ตลอดการทดลอง ชุดทดลองถูกให้ความร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์แบบแผ่นบาง ในการทดลองครั้งนี้จะเรียกชุดทดลองว่า “พื้นผิวร้อน” วัดอุณหภูมิพื้นผิวร้อนด้วยชุดเทอร์โมคัปเปิ้ลที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ แสดงผลและเก็บผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดลองหัวฉีดแต่ละแบบมีการปรับระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. ทำการทดลองการระบายความร้อนด้วยหัวฉีดลักษณะต่างๆ ด้วยวิธีการเดียวกันทุกขั้นตอน

3.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการทดลองการระบายความร้อนบนพื้นผิวได้จ่ายไฟให้กับชุดทดลอง (q) ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$q = IV \quad (1)$$

$$\dot{q} = q/A \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{q}$ คือฟลักซ์ความร้อน (W), V คือแรงดันไฟฟ้า (V), I คือกระแสไฟฟ้า (Amp) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของชุดทดลอง (m^2)

$$h = \dot{q} / (T_w - T_f) \quad (3)$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 K$), T_w คืออุณหภูมิพื้นผิวชุดทดลองที่วัดค่าด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล (°C) และ T_f คืออุณหภูมิอากาศที่หัวฉีดออร์ฟิส (°C)

$$Nu = hD/k \quad (4)$$

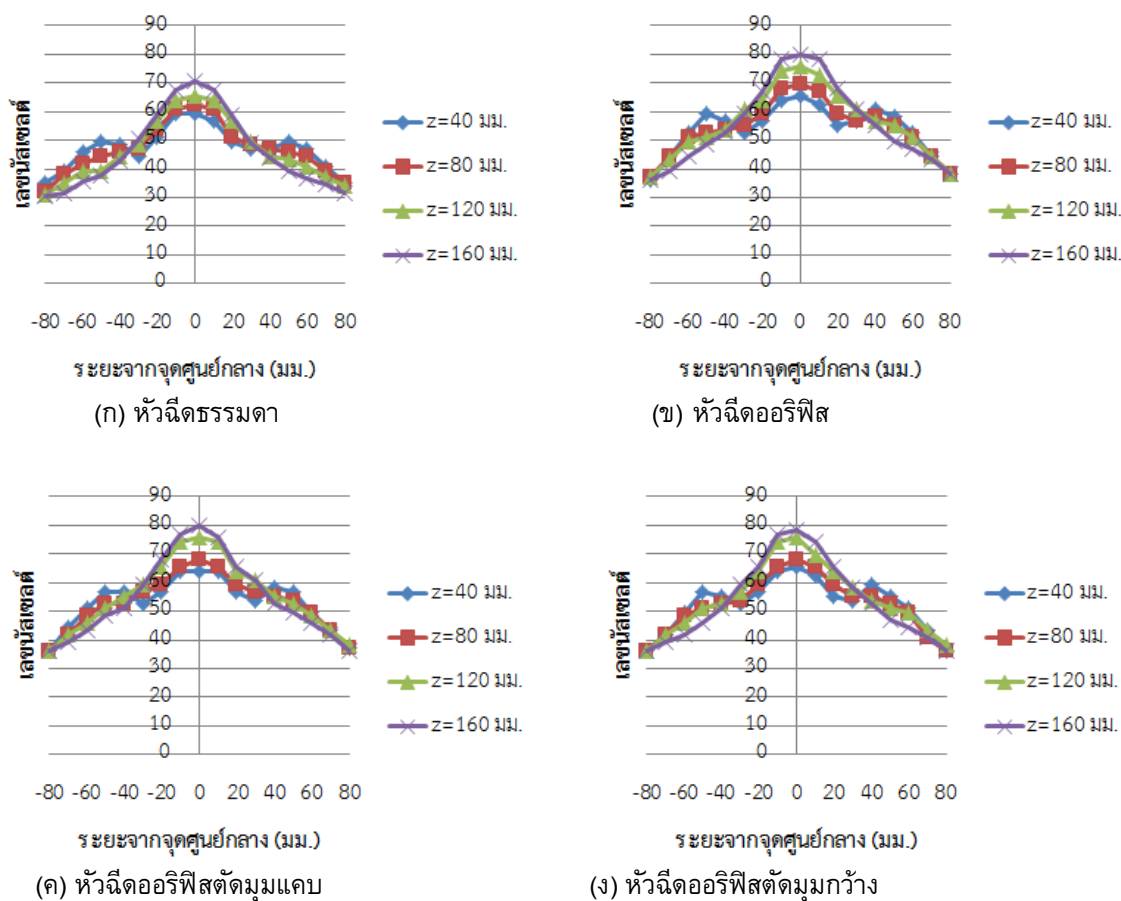
เมื่อ Nu เลขนัสเซลต์ ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ (งานวิจัยนี้นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือการระบายความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลต์), D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (m) และ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ ($W/m K$)

$$Re = \rho U D / \mu \quad (5)$$

เมื่อ Re คือเลขเรย์โนลด์ส ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ (งานวิจัยนี้เสนออัตราการไหลอากาศในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส), ρ คือความหนาแน่นของไหล (kg/m^3) และ μ คือความหนืดสัมบูรณ์ของไหล ($kg/m.s$)

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การทดลองการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีด 4 แบบ ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. และการวิเคราะห์ผลการทดลองวัดระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมีไปทางด้านซ้ายและขวา $r = -80$ ถึง 80 มม. และที่จุดศูนย์กลาง $r = 0$ มม.

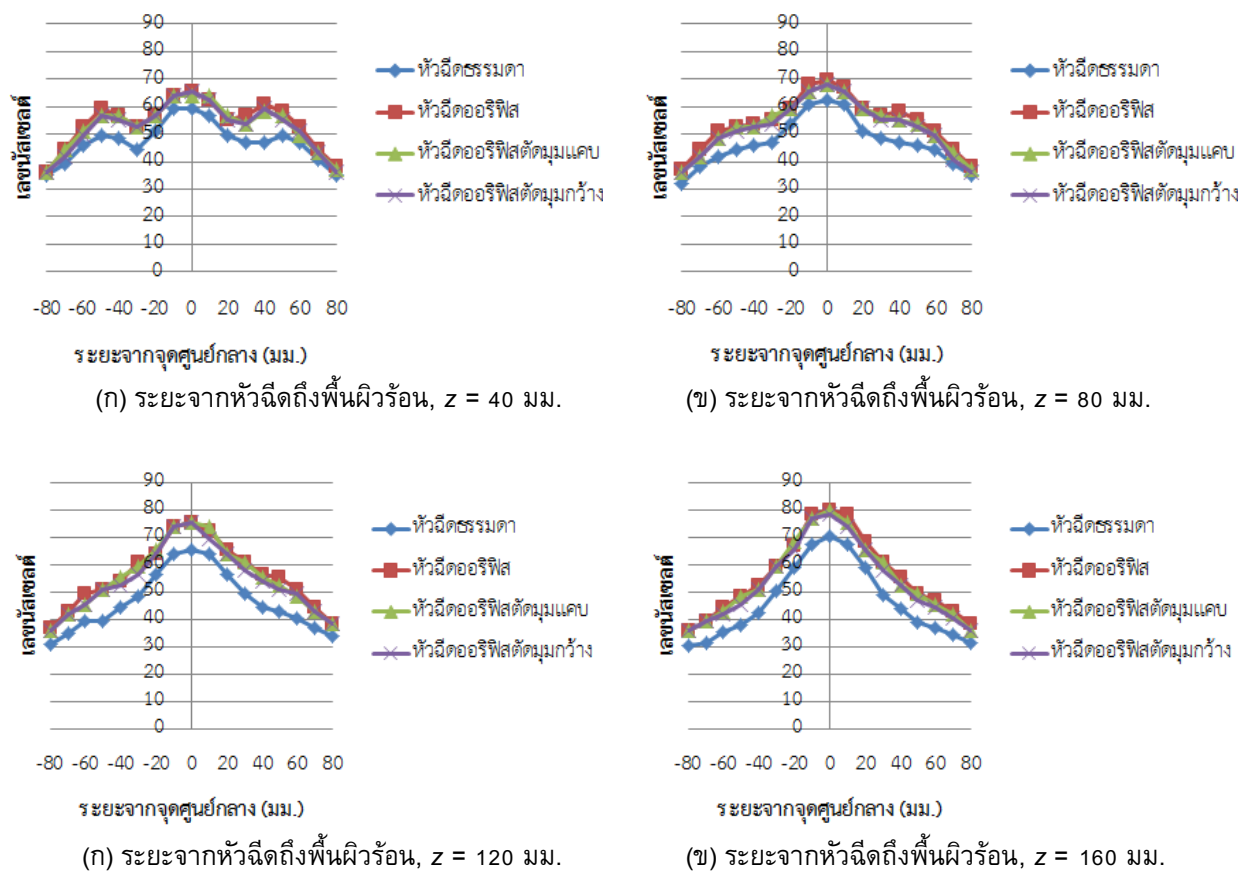


รูปที่ 3 ผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน

จากรูปที่ 3 แสดงผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน พบว่าระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวมีผลกระทบต่อการระบายความร้อน ผลการทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวใกล้ $z = 40$ และ 80 มม. มีการระบายความร้อนบริเวณจุดศูนย์กลางต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวไกล $z = 120$ และ 160 มม. แต่จะมีผลการระบายความร้อน

ช่วงที่สองเกิดขึ้นบริเวณระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี $r = 40$ ถึง 50 มม. หลังจากระยะ $r = 50$ มม. ผลการระบายความร้อนจะค่อยๆ ลดลง และผลการทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวใกล้ $z = 120$ และ 160 มม. มีการระบายความร้อนบริเวณจุดศูนย์กลางสูงกว่าที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวใกล้ การระบายความร้อนสูงสุดที่จุดศูนย์กลางและค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ

ผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อนเปรียบเทียบที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าหัวฉีดออร์ฟิสทั้งสามแบบช่วยเพิ่มการระบายความร้อนพื้นผิวได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดาที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากัน หัวฉีดออร์ฟิสทำให้มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาหัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง และหัวฉีดธรรมดา ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิส

5. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีดออร์ฟิสสามแบบเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวส่งผลต่อการระบายความร้อน ที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40$ มม. มีการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกับ $z = 80$ มม. คือมีบริเวณการระบายความร้อนเกิดขึ้นสองที่ บริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นผิว $r = 0$ มม. และบริเวณตามแนวรัศมี $r = 40$ ถึง 50 มม. และที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 120$ มม. มีการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกับ $z = 160$ มม. การระบายความร้อนสูงสุดที่บริเวณศูนย์กลางค่อยๆ ลดลงตาม

ระยะตามแนวรัศมี และยังพบว่าหัวฉีดออริฟิสที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 120$ และ 160 มม. ทำให้ระบายความร้อนได้ดีกว่าที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40$ และ 80 มม.

ผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อน พบว่าที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากัน หัวฉีดออริฟิสทั้งสามแบบช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดา และมีลักษณะการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกัน

จากผลการทดลองพบว่าหัวฉีดออริฟิสช่วยเพิ่มความสามารถการระบายความร้อนพื้นผิวได้ดียิ่งขึ้น หัวฉีดออริฟิสช่วยให้ระบายความร้อนมากที่สุด มากกว่าหัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ หัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง และหัวฉีดธรรมดาตามลำดับ สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.W. Colucci and R. Viskanta, "Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 13(1), 1996, pp. 71-80.
- [2] L.A. Brignoni and S.V. Garimella, "Effects of nozzle-inlet chamfering on pressure drop and heat transfer in confined air jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(7), 2000, pp. 1133-1139.
- [3] J. Lee and S.J. Lee, "The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(18), 2000, pp. 3497-3509.
- [4] P. Gulati, V. Katti, S.V. Prabhu, "Influence of the shape of the nozzle on local heat transfer distribution between smooth flat surface and impinging air jet", *International Journal of Thermal Sciences*, 48(3), 2009, pp. 602-617.
- [5] R. Vinze, S. Chandel, M.D. Limaye and S.V. Prabhu, "Effect of compressibility and nozzle configuration on heat transfer by impinging air jet over a smooth plate", *Applied Thermal Engineering*, 101, 2016 pp. 293-307.

การศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

THE STUDY OF DUST PARTICLES SMALLER THAN 10 MICRONS IN A FUEL SERVICE STATION, MUEANG DISTRICT, BURI RAM PROVINCE

วิชาญ บุญคำ^{1*} ภักศรัณย์ นวสนธิ์² กัญญารัตน์ แสงนิล³

Wichan Boonkham^{1*} Paksaran Nawasonsiri² Kanyarat Sangnil³

Received : 20 April 2020

Revised : 02 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

^{1*} อาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

² นักศึกษาคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

³ นักศึกษาคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

*Corresponding author, E-mail : vichan_buncum@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความเข้มข้น และจำแนกขนาดของฝุ่นที่เล็กกว่า 10 ไมครอน รวมถึงประเมินความเสี่ยงการสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ของพนักงานทำการเก็บตัวอย่างแบบติดตัวบุคคล (Personal Air Sampling) จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุด ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ที่มีหัวจ่ายน้ำมันตั้งแต่ 24 หัวจ่ายขึ้นไป และมีร้านสะดวกซื้อ ร้านกาแฟ ผลการวิจัยพบว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่มีค่าความเข้มข้นมากที่สุดเท่ากับ 0.00125 mg/m³ และน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.00025 mg/m³ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาการกระจายขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบการเทียบขนาด พบว่าเป็นฝุ่นขนาด 2 – 3.5 ไมครอนมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งฝุ่นใหญ่ที่สุดมีขนาด 10 ไมครอนและเล็กที่สุดมีขนาด 1.53 ไมครอน จากนั้นนำมาประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสของพนักงานพบว่าผลการประเมินระดับความเสี่ยงจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับระดับความถี่การได้รับสัมผัสทั้งหมดจำนวน 7 จุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 5 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสถานะสุขภาพ ไม่เพิ่มอัตราป่วยหรือตาย ไม่มีผลต่อการผลิต ทั้งนี้ถึงแม้ว่าจะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่ก็อาจจะมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเนื่องจากการจราจรของรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นจึงควรจัดให้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่อง จัดสรรสิ่งแวดลอมที่เอื้อต่อการมีสุขภาพที่ดี มีการจัดการพัฒนาทักษะส่วนบุคคลของพนักงานในการให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพรวมถึงการป้องกันอันตรายจากฝุ่นละออง จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่มีคุณภาพ และเพียงพอต่อการใช้งานของพนักงาน

คำสำคัญ: ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

Abstract

The study of dust particles smaller than 10 microns in a fuel service station, Mueang District, Buri Ram Province The objective of this study was to find the concentration and classifying dust sizes smaller than 10 microns,

including assessing the risk of exposure to particles smaller than 10 microns of employees, collecting personal air samples from all 7 collection points in gas stations fuel with the fuel nozzles from 18 or more and have a convenience store, coffee shop. The results showed that the dust particles smaller than 10 microns with the highest concentration equal to $0.00125 \text{ mg} / \text{m}^3$ and the smallest was $0.00025 \text{ mg} / \text{m}^3$ when analyzed for size distribution by using a microscopic found that 2-3.5 micron of dust contains the highest amount. The largest dust size is 10 microns and the smallest size is 1.53 microns. Then, to assess the exposure risk of the employees, it is found that the risk assessment results from the relationship between the concentration of dust smaller than 10 microns with the total exposure frequency of 7 points with a score of 5 points, which is considered an acceptable risk level is a level that does not cause damage to health status, do not increase morbidity or mortality, do not affect production. However, although the value does not exceed the standard but there may be a rising trend due to the increase in car traffic, so air quality should be continuously monitored. Allocate an environment that is conducive to good health. There is a management to develop personal skills of employees to educate about dust that affects health, including prevention of dust hazards, provide more quality protection equipment and sufficient for the use of staff.

Keywords: dust particles smaller than 10 microns

1. บทนำ

ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพและองค์ประกอบ อาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรามีขนาดตั้งแต่ 0.02 ไมครอน ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศ และกระแสนลมได้นานมากขึ้น เป็นต้น ซึ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี ฝุ่นละอองในบรรยากาศอาจแยกได้เป็นฝุ่นละอองซึ่งเกิดขึ้นภายหลังโดยปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเหล่านี้ จะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวของฝุ่นละออง เช่น ควีน (Smoke) ฟูม (Fume) หมอกน้ำค้าง (mist) เป็นต้น ฝุ่นละออง อาจเกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดินทราย หรือเกิดจากควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ การจราจร และการอุตสาหกรรม ซึ่งฝุ่นที่ถูกสูดเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ รบกวนการมองเห็น และทำให้สิ่งต่าง ๆ สกปรกเสียหายได้ ในบริเวณที่เป็นที่พักอาศัยมีปริมาณฝุ่นละออง 30% เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้เคียงถนน มีฝุ่นละออง 70-90% เกิดจากการกระทำของมนุษย์ และพบว่า ฝุ่นละอองมีสารตะกั่วเมื่อแยกตามขนาดพบว่า 60% โดยปริมาณจะเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน [1] ฝุ่นประเภทนี้เกิดจากรถประจำทางและรถบรรทุกที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล บางส่วนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากจะพบอยู่ทั่วไปในเขตเมือง เขตอุตสาหกรรม และเขตกึ่งชนบท หากพบในปริมาณสูง จะมีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเนื่องจากฝุ่นมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และถูกลมปอดของมนุษย์ได้ เป็นผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคปอดต่าง ๆ เกิดการระคายเคือง และทำลายเยื่อหุ้มปอด หากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมทำให้เกิดพังผืดและเป็นแผลได้ ทำให้การทำงานของปอดลดลง และยัง พบว่า กลุ่มความเสี่ยงจากมลพิษอากาศเป็นปัจจัย ที่มีความเสี่ยงในการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในลำดับที่ 4 และจากข้อมูลสถานการณ์โรคมะเร็งขององค์การอนามัยโลก 2561 พบว่า ผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ทั้งหมดมากที่สุดคือมะเร็งปอด และมีการประเมินว่าในอีก 22 ปี ข้างหน้าจะมีผู้ป่วยโรคมะเร็งรายใหม่เพิ่มขึ้นจาก 18 ล้านคน มากถึง 29.3 ล้านคน

จังหวัดบุรีรัมย์จัดได้ว่าเป็นเมืองที่เติบโตขึ้นมากจากอดีตเนื่องจากถูกจัดให้เป็นเมืองกีฬา เมื่อปี 2554 ได้มีการจัดตั้งสนามฟุตบอลสนามไอโมบาย ในปัจจุบันมีการต่อเติมทำให้สนามมีความยิ่งใหญ่มากขึ้นจนปัจจุบันถือว่าเป็นสนามที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย และในปัจจุบันยังมีสนามแข่งรถที่มีมาตรฐานระดับโลกเพิ่มขึ้นมาอีก คือสนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จึงทำให้จังหวัดบุรีรัมย์ถูกยกให้เป็นเมืองกีฬาและได้มีนักท่องเที่ยวได้เดินทางมาที่จังหวัดบุรีรัมย์เพิ่มมากถึง 177.62 ล้านคน และมีการเติบโตเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยถึง 8.27% [5] ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้จังหวัดบุรีรัมย์จึงมีการคมนาคมเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ ทั้งรถยนต์ส่วนบุคคลและรถยนต์สาธารณะ ดังที่กล่าวมาข้างต้นรถคือสาเหตุหนึ่งของการทำให้เกิดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์นี้ส่งผลเสียมากมายต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของผู้สัมผัสกับฝุ่น สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงก็เป็นอีกแห่งหนึ่งซึ่งมีผู้ที่สัมผัสกับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ไม่ว่าจะเป็นพนักงานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ร้านกาแฟ ร้านสะดวกซื้อ ร้านค้าแผงลอยต่าง ๆ รวมไปถึงผู้ที่เข้ามาใช้บริการ และส่วนใหญ่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งอยู่บริเวณริมถนนจึงทำให้มีรถยนต์เข้าไปใช้บริการตลอดเวลาจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นการใช้บริการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง ห้องน้ำสาธารณะ รวมถึงเข้าใช้บริการร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ ในการใช้บริการจะต้องทำการดับเครื่องยนต์และมีการสตาร์ทเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่มีคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความตระหนักและสนใจในการศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพของผู้พนักงานรวมถึงผู้ที่เข้าใช้บริการต่าง ๆ ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับหน่วยงานเพื่อใช้ในการวางแผนบริหารจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
- 2.2 เพื่อจำแนกขนาดของฝุ่นที่เล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
- 2.3 ประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 กลุ่มประชากร

ในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อให้ครอบคลุม และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงพิจารณาพื้นที่เป้าหมายครอบคลุมในพื้นที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 29 แห่ง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

ขนาดสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (จำนวนหัวจ่าย)	จำนวน	ร้อยละ
น้อยกว่า 24	23	80
24	1	3
36	3	10
48	2	7
รวม	6	100

3.1.2 การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง โดยมีการกำหนดคุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่างดังนี้ เป็นสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีหัวจ่ายน้ำมันตั้งแต่ 24 หัวจ่ายขึ้นไป และมีร้านสะดวกซื้อ ร้านกาแฟ จำนวน 6 แห่ง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศและปั๊มดูดอากาศ (Air flow meter & Pump) ประกอบด้วย มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter) ส่วนควบคุมการไหลของอากาศ (Flow control value) และปั๊มดูดอากาศ (Personal pump)

2) ส่วนเชื่อมต่อ (Connector) ได้แก่ข้อต่อ และสายยาง/พลาสติกเชื่อมต่อระหว่างด้านหลังของตลับใส่ตัวกรอง (Air outlet) กับปั๊มดูดอากาศ สายพลาสติกจะต้องไม่มีรูรั่ว และไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอนุภาคที่ต้องการเก็บ

3) ตลับใส่ตัวกรอง (Cassette filter holder) จะมีช่องเปิดให้อากาศเข้า (Air inlet) จะต่อท่อนำอากาศเข้า ลักษณะจะเป็นช่องปิด แบบรูกกลมเพื่อให้ฝุ่นสามารถกระจายตัวไปตามพื้นที่หน้าตัดของตัวกรองได้อย่างสมมาตร

4) อุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector) ประกอบด้วยตัวกรองอนุภาค (Filter) หรือกระดาษกรองและตลับใส่ตัวกรอง (Cassette filter holder) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสะสมอนุภาคสำหรับนำมาวิเคราะห์ต่อไป

5) Aluminum Cyclone เป็นอุปกรณ์สำหรับคัดแยกขนาดฝุ่น สำหรับคัดแยกขนาดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 2.5-2.8 ลิตรต่อนาที

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ขั้นตอนการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือ

1) นำเครื่อง Personal Pump ไปทำการ Calibration โดยใช้เครื่อง soap bubble flow meter ทำการดูดฟองสบู่ให้ไหลไปตามแท่งแก้วเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการดูดอากาศของเครื่องปั๊ม เพื่อความมั่นใจว่าเครื่องวัดยังมีคุณภาพ และมาตรฐาน

2) นำกระดาษกรองไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำกระดาษกรองก่อนนำไปตรวจวัดที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนัก

3.3.2 การเตรียมอุปกรณ์

1) นำ cyclone ต่อเข้ากับด้านหน้าของอุปกรณ์กระดาษกรองนำกระดาษกรองพร้อมอุปกรณ์ต่อเข้าสายยาง นำกระดาษกรองพร้อมสายยางต่อเข้ากับ Personal Pump

2) ติดตั้งเครื่อง Personal Pump ที่ตัวบุคคล โดยให้อยู่ในระดับการหายใจ (Breathing Zone)

3.3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้ นำกระดาศกรองหลังนำไปตรวจวัดแล้วไปอบในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ช.ม. จากนั้นนำกระดาศกรองหลังนำไปตรวจวัดที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง และทำการหาค่าความแตกต่างของน้ำหนัก แล้วมาคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ สูตรที่ 1 [3]

$$\text{การคำนวณ } C = \frac{(W2-W1) - (B2-B1)10^3}{V} \text{ mg/m}^3 \quad (1)$$

C = ความเข้มข้นฝุ่นละออง ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน V = อัตราการไหลของอากาศ

*ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง

W2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังนำไปทำการตรวจวัด W1 = น้ำหนักของตัวอย่างกระดาศกรองก่อนการตรวจวัด

B2 = น้ำหนักของตัวอย่างกระดาศกรองเปรียบเทียบหลังนำไปทำการตรวจวัด (Blank)

B1 = น้ำหนักของตัวอย่างกระดาศกรองเปรียบเทียบก่อนนำไปทำการตรวจวัด (Blank)

ส่วนที่ 2 การส่งวิเคราะห์การแยกองค์ประกอบฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาการกระจายขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบการเทียบขนาด และวิเคราะห์องค์ประกอบ ณ ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการ และพิษวิทยา

ส่วนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์โดยใช้ตารางเมทริกซ์

1. เกณฑ์การวิเคราะห์ความรุนแรง โดยประเมินจากการรับสัมผัสเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังแสดงตามตารางที่ 2

2. เกณฑ์การวิเคราะห์โอกาสของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากการนำประเด็นผลกระทบต่อสุขภาพที่ได้มากำหนดในรูปโอกาสที่จะเกิดขึ้นในแต่ละประเด็นผลกระทบ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากข้อมูลในอดีตหรือจากการคำนวณความน่าจะเป็นโดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงตามตารางที่ 3

3. เกณฑ์การจัดระดับความเสี่ยงโดยใช้ตาราง Risk Matrix [3] เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดลำดับนัยสำคัญของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยแบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็นทั้งหมด 5 ระดับ ดังแสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ระดับความเข้มข้นสารเคมีเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน

ระดับความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติสัมผัสเข้มข้น
1	ต่ำกว่า 10% ของ OEL-TWA
2	ต่ำกว่า 50% ของ OEL-TWA
3	ต่ำกว่า 75% ของ OEL-TWA
4	เท่ากับ 75% ถึง 100% ของ OEL-TWA
5	สูงกว่า 100% ของ OEL-TWA

OEL : Occupational Exposure Limit

ตารางที่ 3 ระดับความถี่การได้รับสัมผัส

ระดับ	ความถี่	ความถี่การได้รับสัมผัส
1	นาน ๆ ครั้ง	สัมผัส 1 ครั้งต่อปี
2	ไม่บ่อย	สัมผัส 2 ครั้ง ถึง 3 ครั้งต่อปี
3	บ่อย	สัมผัส 2 ครั้ง ถึง 3 ครั้งต่อเดือน
4	บ่อย ๆ	สัมผัสต่อเนื่อง 2 ชม. ถึง 4 ชม. ต่อกะ
5	ประจำ	สัมผัสต่อเนื่องตลอดทั้งกะ

ตารางที่ 4 การจัดระดับความเสี่ยงในการสัมผัสอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ของพนักงาน ในสถานประกอบการน้ำมันเชื้อเพลิง

ระดับความถี่	ระดับความเข้มข้น					การสัมผัส		
	1	2	3	4	5	คะแนน	ผล	ระดับ
1	1	2	3	4	5	1 ถึง 5	ยอมรับได้	(1)
2	2	4	6	8	10	6 ถึง 10	น้อย	(2)
3	3	6	9	12	15	11 ถึง 15	ปานกลาง	(3)
4	4	8	12	16	20	16 ถึง 20	สูง	(4)
5	5	10	15	20	25	21 ถึง 25	สูงมาก	(5)

4. ผลการวิจัย

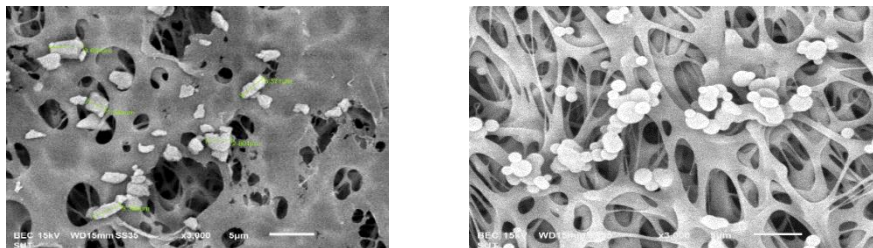
4.1 ความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

ผลของการตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานประกอบการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือวัดฝุ่น PM10 แบบติดตัวบุคคล (Personal Air Sampling) จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุด ในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อให้ครอบคลุม และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงพิจารณาพื้นที่เป้าหมายครอบคลุมในพื้นที่สถานประกอบการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีหัวจ่ายน้ำมันตั้งแต่ 18 หัวจ่ายขึ้นไป และมีร้านสะดวกซื้อ ร้านกาแฟ ในการเก็บตัวอย่างเป็นเวลาจุดละ 2 ชั่วโมง พบปริมาณอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่มีปริมาณมากที่สุด คือจุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.000125 mg/m^3 รองลงมา คือ จุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.001 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดเมื่อเทียบกับกฎหมายตามประกาศประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในหมวดอนุภาคนาโนขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ respirable dust กำหนดไว้ว่าไม่เกิน 5 mg/m^3 ตลอดระยะเวลาการทำงาน ดังแสดงตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

สถานีบริการ น้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าเฉลี่ยก่อน (g)	ค่าเฉลี่ยหลัง (g)	ปริมาณฝุ่น mg /m ³	เวลาเก็บ (ชั่วโมง)	เทียบกฎหมาย 5 mg/m ³
1	0.0114	0.0119	0.00125	2	ไม่เกิน
2	0.0138	0.0142	0.001	2	ไม่เกิน
3	0.0141	0.0143	0.0005	2	ไม่เกิน
4	0.0140	0.0141	0.00025	2	ไม่เกิน
5	0.0144	0.0145	0.00025	2	ไม่เกิน
6	0.0140	0.0142	0.0005	2	ไม่เกิน
7	0.0142	0.0144	0.0005	2	ไม่เกิน

4.2 การจำแนกขนาดของฝุ่นที่เล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ จากการนำเก็บตัวอย่างวิเคราะห์หาการกระจายขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบการเทียบขนาดและแยกองค์ประกอบ พบว่า โดยส่วนใหญ่มีขนาดตั้งแต่ 2 - 3.50 ไมครอน ซึ่งฝุ่นใหญ่ที่สุดมีขนาด 10 ไมครอนและเล็กที่สุดมีขนาด 1.53 ไมครอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงผลการแยกองค์ประกอบและเทียบขนาดของฝุ่น

4.3 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

การจัดระดับความเสี่ยงโดยใช้ตาราง Risk Matrix เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดลำดับนัยสำคัญของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยแบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็นทั้งหมด 5 ระดับ โดยผลการประเมินระดับความเสี่ยงจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และระดับความถี่การได้รับสัมผัสทั้งหมดจำนวน 7 จุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 5 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสถานะสุขภาพ ไม่เพิ่มอัตราป่วยหรือตาย ไม่มีผลต่อการผลิต ไม่ต้องมีมาตรการป้องกันแก้ไข และลดผลกระทบ ดังแสดงตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการจัดระดับความเสี่ยงของการสัมผัสฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

จุด	ปริมาณฝุ่น mg / m ³	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารเคมี ที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเข้มข้น	ระดับของOEL- TWA	ความถี่การ ได้รับสัมผัส	ระดับความเสี่ยง
1	0.00125	0.025	1	5	ยอมรับได้
2	0.001	0.02	1	5	ยอมรับได้
3	0.0005	0.01	1	5	ยอมรับได้
4	0.00025	0.005	1	5	ยอมรับได้
5	0.00025	0.005	1	5	ยอมรับได้
6	0.0005	0.01	1	5	ยอมรับได้
7	0.0005	0.01	1	5	ยอมรับได้

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลของการตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือวัดฝุ่น PM 10 แบบติดตัวบุคคล พบปริมาณซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดเมื่อเทียบกับกฎหมายตามประกาศประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในหมวดอนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้ respirable dust กำหนดไว้ว่าไม่ให้เกิน 5 mg/m³ ตลอดระยะเวลาการทำงาน และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาการกระจายขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบการเทียบขนาด ซึ่งพบว่า ขนาดฝุ่นที่เก็บในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยส่วนใหญ่พบว่า มีขนาด 2 – 3.5 ไมครอน ซึ่งฝุ่นใหญ่ที่สุดมีขนาด 10 ไมครอนและเล็กที่สุดมีขนาด 1.53 ไมครอน และผลการจัดระดับความเสี่ยงโดยใช้ตาราง Risk Matrix ซึ่งจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสถานะสุขภาพ ไม่เพิ่มอัตราป่วยหรือตาย ไม่มีผลต่อการผลิต ไม่ต้องมีมาตรการป้องกันแก้ไข และลดผลกระทบ

6. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ถึงแม้ว่าจะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่ก็อาจจะมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเนื่องจากการจราจรของรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นจึงควรจัดให้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่อง จัดสรรสิ่งแวดลอมที่เอื้อต่อการมีสุขภาพที่ดี มีการจัดการพัฒนาทักษะส่วนบุคคลของพนักงานในการให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพรวมถึงการป้องกันอันตรายจากฝุ่นละออง จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่มีคุณภาพ และเพียงพอต่อการใช้งานของพนักงาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษางานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย และขอบคุณสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น ได้สนับสนุนงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ”. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2550.
- [2] ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. “ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย 2560” ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 104 ง. วันที่ 22 กันยายน 2547., 2560.
- [3] เบญจวรรณ ชงริ้ว. “การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของประชากรในจังหวัดราชบุรี จากการสัมผัสโลหะในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)”. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558.
- [4] สมานชัย เลิศกมลวิทย์. “การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5 PM2.5-10 PM10) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับ”. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), 2543.
- [5] “สำนักงานสถิติจังหวัดบุรีรัมย์”. (ออนไลน์) ได้จาก <http://www.buriram.co.th>, 2561.

การประเมินการเกิดก๊าซเรือนกระจก : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากระบบการจัดการ
ขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์

GREENHOUSE GASSES (CARBON DIOXIDE GAS) ASSESSMENT FROM MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN BAN-YANG, BURIRAM PROVINCE

พงศ์ธร แสงชูติ^{1*} ศิริกัญญา ฤทธิ์แปลก¹ วิชาญ บุญคำ¹

Phongthon Saengchut^{1*} Sirikanya Ridthplake¹ Wichan Boonkham¹

Received : 20 April 2020

Revised : 02 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

¹ อาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาเขตบุรีรัมย์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น 31000

Corresponding author, E-mail: Saengchuti@hotmail.com

บทคัดย่อ

การประเมินปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหามาตรการลดปลดปล่อยจากกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์ ทั้ง 19 หมู่บ้าน ในปี 2562 มีการเกิดขยะมูลฝอยจำนวนรวม 3,725.73 Kg/day พบปริมาณขยะย่อยสลายได้มากที่สุด รองลงมาคือ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิล ตามลำดับ ซึ่งขยะมูลฝอยชุมชนทั้ง 4 ประเภท มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณรวม 6,093.11 KgCO₂e/day โดยปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (< Sig. 0.05) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมการรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนด้วยเครื่องยนต์ซึ่งการเผาไหม้ของน้ำเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซลพบการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 439.11 KgCO₂e/week โดยใช้ปริมาณน้ำมันดีเซล 160 lite/week ซึ่งปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้เผาไหม้ในเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. = 0.017) ทำให้ในรอบการทำงานของระบบการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง มี การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งสิ้น 6,532.22 KgCO₂e /day

คำสำคัญ: ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ขยะมูลฝอยชุมชน, ระบบการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน

Abstract

The amount of carbon dioxide gas assessment for use as basic information in reduction measures emission from solid waste management activities in Ban-Yang community, Buriram province, all 19 villages in the year 2019. The amount of solid waste had 3,725.73 Kg/day, found that most of biodegradable waste followed by general waste hazardous waste and recycle waste respectively. Which the 4 types of solid waste had total of carbon dioxide gas emission equal to 6,093.11 KgCO₂e /day, amount of solid waste correlation with amount of carbon dioxide gas emission at statistical significance (< Sig. 0.05). The amount of carbon dioxide gas emission from solid waste collected activity, used with the engine combustion of diesel fuel showed that total of carbon

dioxide gas emission equal to 439.11 KgCO₂e /week while used to diesel fuel 160 lite/week. Amount of diesel fuel correlation with amount of carbon dioxide gas emission at statistical significance (sig. = 0.017), effect to work round of municipal solid waste management system had total amount of carbon dioxide gas emission equal 6,532.22 KgCO₂e /day

Keywords: Carbon Dioxide Gas, Municipal Solid Waste, Waste Management System

1. บทนำ

โลกของเรามีก๊าซต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศห่อหุ้มอยู่โดยรอบทำหน้าที่คล้ายเรือนกระจก หรือกรีนเฮาส์เป็นเกราะกักเก็บความร้อนที่จะผ่านลงมายังพื้นผิวโลกและเก็บกักความร้อนบางส่วนเอาไว้ทำให้โลกมีอุณหภูมิพอเหมาะสำหรับการดำรงชีวิต แต่ในปัจจุบันมนุษย์กำลังเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกอย่างร้ายแรงโดยการก่อและใช้สารเคมีบางชนิดในกิจกรรมต่าง ๆ ที่สามารถทำลายเกราะป้องกันของโลก และก๊าซบางชนิดยังก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจนหนาแน่นขึ้นทำให้เก็บกักความร้อนได้มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิอากาศของโลกสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่าง ๆ และมหาสมุทรจะขยายตัวจนเกิดน้ำท่วมได้ในอนาคต

สาเหตุการปล่อยการเรือนกระจกจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง โดยมีตัวแปรที่สำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งและจะส่งผลกระทบการละลายของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก ความแปรปรวนของสภาพอากาศ การเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ซึ่งปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนอกจากจะส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั่วโลก สภาพภูมิอากาศโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกและในมหาสมุทรเพิ่มมากขึ้นเกิดจากสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่สูงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เก็บกักความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อภาวะสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การสูญเสียน้ำในร่างกาย ภาวะเครียด และ Heat stroke นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นในสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิทำให้การกระจายหรือการระบาดโรคมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของสัตว์น้ำโรค รวมทั้งคุณค่าทางสารอาหารในพืช ซึ่งต้องใช้แสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์อาหาร [1] โดยในส่วนของประเทศไทยซึ่งเป็นในส่วนของประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มากนักหากเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้วกิจกรรมต่าง ๆ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิปี 2557-2558 อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นสูงประมาณ 0.85 องศาเซลเซียส มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก 401 พีพีเอ็ม (ppm) และจากการรายงานปี 2554 ประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณจากกิจกรรมภาคของเสียเพียงร้อยละ 3.74 แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมในภาคของเสียต้องอาศัยพลังงานสนับสนุนจึงจะสำเร็จซึ่งพลังงานที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุดมาจากการผลิตไฟฟ้ารองลงมาการขนส่ง [2, 3] จากการประเมินภาวะเรือนกระจกประเภทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงพยาบาลโชคชัย พบว่า กิจกรรมการขนส่งขยะมูลฝอยที่สามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28.32 KgCO₂e /year (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี) ซึ่งน้อยกว่ากิจกรรมการฝังกลบขยะมูลฝอยทั่วไปที่สามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 24,252.48 KgCO₂e/year [4] ด้วยสภาพการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวการบรรเทาปัญหาโลกร้อนอย่างยั่งยืนได้จึงต้องกำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร เริ่มจากสร้างขยะมูลฝอยให้น้อยที่สุด เช่น ไม่ใช้กล่องโฟม (การผลิตโฟมก่อสารซีเอฟซี) เลือกใช้สินค้าที่ใช้บรรจุภัณฑ์น้อย เช่น ซื้อมะม่วงแบบเต็มเลือกใช้ของที่ไม่บรรจุในกล่องหรือขวดพลาสติก เลือกซ่อมแซมเครื่องใช้แทนที่จะทิ้งแล้วซื้อใหม่ และใช้ถุงผ้าแทนถุงพลาสติก เป็นต้น

ตัวระบบการจัดการขยะมูลฝอยเป็นส่วนหนึ่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นระบบที่สร้างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีกระบบหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการจัดการขยะมูลฝอยพื้นที่ตำบลบ้านยาง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ตั้งแต่ต้นทางการรวบรวมไปยังปลายทางการจัดขยะมูลฝอยเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปในอนาคต

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขอบเขตประชากรตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 1) ขยะมูลฝอยบริเวณจุดรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชน และ 2) เส้นทางการเดินทางเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนของพื้นที่ตำบลบ้านยาง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ประกอบด้วย 19 หมู่บ้าน

2.2 ขอบเขตการวิจัย

1) การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกประเภทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตำบลบ้านยาง ตั้งแต่แหล่งรวบรวมขยะมูลฝอยจุดแรกของแต่ละหมู่บ้าน จนถึงขยะชุมชน ไปจนถึงระบบรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนด้วยรถบรรทุก

2) การศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจุดรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชน โดยวิธี Quartering [5] ซึ่งแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะย่อยสลายได้ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย และขยะทั่วไป ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหลุมละ 1 แห่ง รวม 19 แห่ง จำนวน 3 วัน ใช้น้ำหนักขยะมูลฝอยในแต่ละจุดรวม 80 กิโลกรัม และเลือก 2 ใน 4 ส่วน สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบประเภทขยะมูลฝอย

3) การศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเส้นทางการเดินทางเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนของพื้นที่ตำบลบ้านยาง ทั้ง 19 หมู่บ้าน โดยแยกการวิเคราะห์เป็นวันทำการ (วันจันทร์-วันเสาร์) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เส้นทางเดินทางเก็บขยะมูลฝอยรอบสัปดาห์

วัน	หมู่บ้าน	รวมทั้งสิ้น
วันจันทร์	2, 4, 5	3
วันอังคาร	16, 17, 18, 19	4
วันพุธ	3, 8, 1	3
วันพฤหัสบดี	6, 9, 10, 11	4
วันศุกร์	13, 14, 15	3
วันเสาร์	7, 12	2

2.3 ขอบเขตการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากขยะมูลฝอยบริเวณจุดรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชน และจุดรวบรวมสุดท้ายของการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน รวมทั้งเส้นทางการเดินทางเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนของพื้นที่ตำบลบ้านยาง โดยใช้สูตร ดังนี้ [6]

$$1) \text{ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละผลิตภัณฑ์} = \text{Activity data} \times \text{Emission factor}$$

เมื่อ Activity data = ข้อมูลกิจกรรม ได้แก่ น้ำหนักขยะมูลฝอย (กิโลกรัม/วัน, Kg/day) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/วัน, lite/day)

Emission factor = ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า, KgCO_2e) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [7]

รายการ	ประเภท	ชนิด	Emission factor
ประเภทขยะมูลฝอย	ขยะย่อยสลาย	เศษอาหาร	2.53 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
		วัสดุสำหรับหมัก	0.26 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
	ขยะรีไซเคิล	ขวดพลาสติก	0.07 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
		กระดาษ	2.93 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
	ขยะอันตราย	ผ้าอ้อม	4.00 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
		เศษเซรามิก/เศษแก้ว	0.48 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
	ขยะทั่วไป	ถุงพลาสติก	0.57 $\text{KgCO}_2\text{e/Kg}$
รกรวบรวมขยะมูลฝอย	เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	2.7446 $\text{KgCO}_2\text{e/lite}$

2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะมูลฝอยและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนทั้ง 19 หมู่บ้าน ต่อการเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สถิติ Chi-square ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

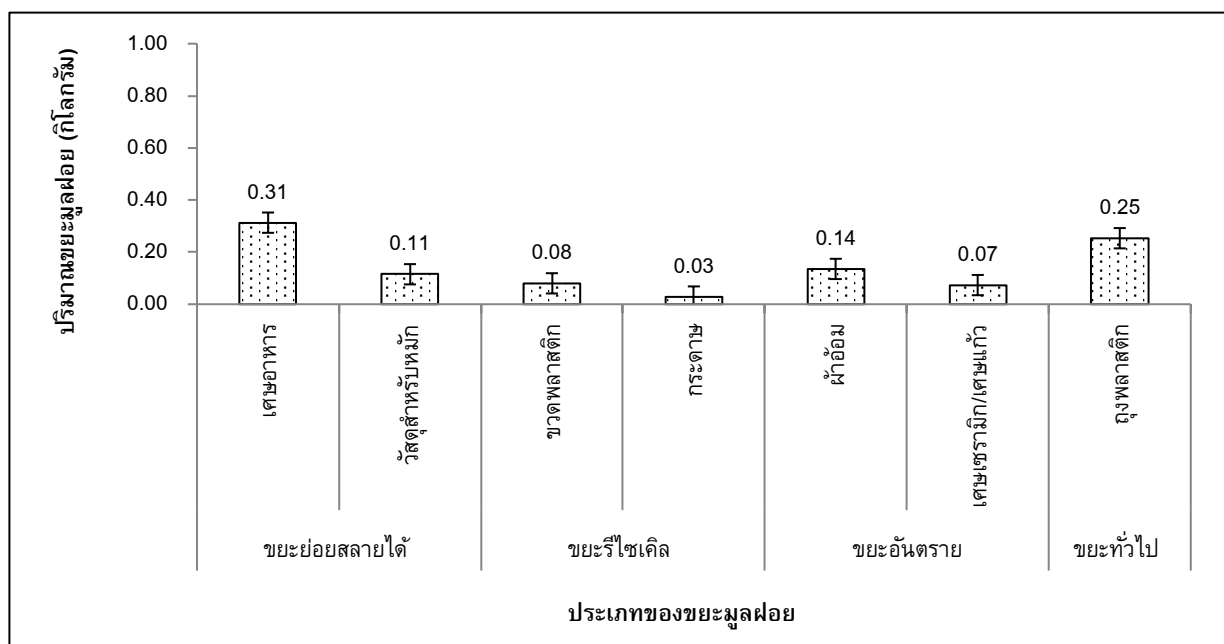
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจตุรบรรณขยะมูลฝอยชุมชน

ผลการศึกษาปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจตุรบรรณขยะมูลฝอยชุมชน โดยวิธี Quartering น้ำหนักขยะมูลฝอยในแต่ละจตุรบรรณ 80 กิโลกรัม ซึ่งแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะย่อยสลายได้ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย และขยะทั่วไป โดยวิเคราะห์อัตราส่วนใน 1 กิโลกรัม ขององค์ประกอบขยะมูลฝอย พบอัตราส่วนขยะย่อยสลายได้: ขยะทั่วไป: ขยะอันตราย: ขยะรีไซเคิล เท่ากับ 0.43: 0.25: 0.21: 0.11 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

โดยอัตราส่วนใน 1 กิโลกรัม ขององค์ประกอบขยะมูลฝอยสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จากขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ในปี 2562 ด้วยจำนวนประชากรของตำบลบ้านยางทั้ง 19 หมู่บ้าน รวมทั้งสิ้น 13,799 คน [8] และอัตราการเกิดขยะมูลฝอยของตำบลบ้านยางเท่ากับ 0.27 กิโลกรัม/คน/วัน (Kg/person/day) [9] ดังตัวอย่างแสดงการคำนวณและปริมาณขยะมูลฝอยในปี 2562 แต่ละประเภทในตารางที่ 3

$$\begin{aligned}
 \text{ขยะมูลฝอยในปีที่ 2562} &= \text{จำนวนประชากรปี 2562} \times \text{อัตราการเกิดขยะมูลฝอย (Kg/person/day)} \\
 &= 13,799 \text{ person} \times 0.27 \text{ Kg/person/day} \\
 &= 3,725.73 \text{ Kg/day}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 1 ปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยในชุมชน

ตารางที่ 3 ปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยในชุมชน

ประเภท	ชนิด	ปริมาณขยะมูลฝอย (อัตราส่วนใน 1 กิโลกรัม, Kg)	ปริมาณขยะมูลฝอยปี 2562 (Kg/day)
ขยะย่อยสลายได้	เศษอาหาร	0.31	$3,725.73 \times 0.31 = 1,166.32$
	วัสดุสำหรับหมัก	0.11	$3,725.73 \times 0.11 = 428.38$
ขยะรีไซเคิล	ขวดพลาสติก	0.08	$3,725.73 \times 0.08 = 298.84$
	กระดาษ	0.03	$3,725.73 \times 0.03 = 109.77$
ขยะอันตราย	ผ้าอ้อม	0.14	$3,725.73 \times 0.14 = 504.74$
	เศษเซรามิก/เศษแก้ว	0.07	$3,725.73 \times 0.07 = 273.71$
ขยะทั่วไป	ถุงพลาสติก	0.25	$3,725.73 \times 0.25 = 943.96$

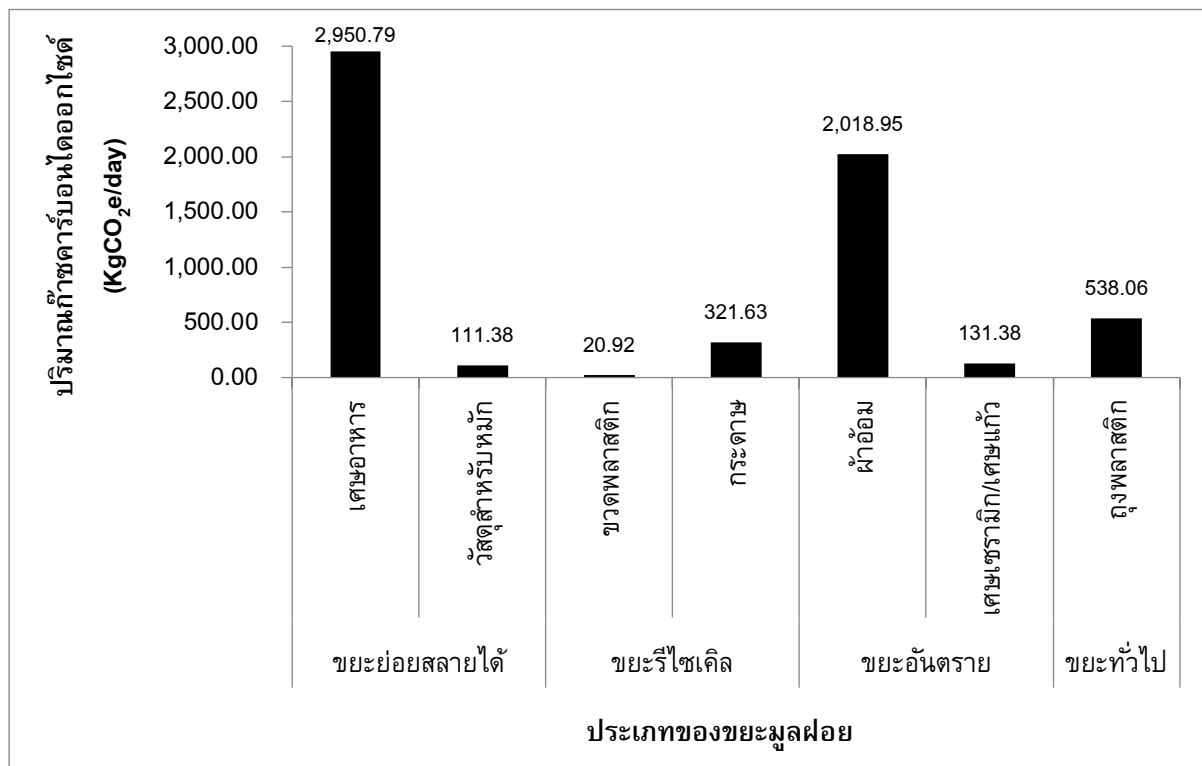
3.2 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของจตุรบรรณขยะมูลฝอยชุมชน

ผลการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจตุรบรรณขยะมูลฝอยชุมชน พบว่า ขยะมูลฝอยชุมชนทั้ง 19 หมู่บ้าน ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 6,093.11 KgCO₂/day หรือ 6.10 tonCO₂/day โดยพบขยะย่อยสลายได้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 3,062.17 KgCO₂/day รองลงมา คือ ขยะอันตราย ขยะทั่วไป และขยะรีไซเคิล ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2,150.33 538.06 และ 342.55 KgCO₂/day ตามลำดับ ดังตัวอย่างแสดงการคำนวณของขยะย่อยสลายได้ (เศษอาหาร) และแสดงค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตารางที่ 4 และรูปที่ 2

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเศษอาหาร} &= \text{Activity data} \times \text{Emission factor} \\ &= 1,166.32 \text{ Kg/day} \times 2.53 \text{ KgCO}_2\text{e/Kg} \\ &= 2,950.79 \text{ KgCO}_2\text{e/day} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเภทขยะมูลฝอยในชุมชน

ประเภท	ชนิด	ปริมาณขยะมูลฝอย ปี 2562 (Kg/day)	Emission factor (KgCO ₂ e/Kg)	ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (KgCO ₂ e/day)
ขยะย่อยสลายได้	เศษอาหาร	1,166.32	2.53	2,950.79
	วัสดุสำหรับหมัก	428.38	0.26	111.38
ขยะรีไซเคิล	ขวดพลาสติก	298.84	0.07	20.92
	กระดาษ	109.77	2.93	321.63
ขยะอันตราย	ผ้าอ้อม	504.74	4	2,018.95
	เศษเซรามิก/ เศษแก้ว	273.71	0.48	131.38
ขยะทั่วไป	ถุงพลาสติก	943.96	0.57	538.06
รวมทั้งสิ้น				6,093.11



รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเภทขยะมูลฝอยในชุมชน

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจตุรบรรณขยะมูลฝอยชุมชนกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของทั้ง 19 หมู่บ้าน โดยใช้สถิติ Chi-square ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) พบว่า ปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยชุมชนมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ทางสถิติของประเภทขยะมูลฝอยชุมชนกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ประเภทขยะมูลฝอย	ค่าระดับนัยสำคัญ (Sig.)	ผลการทดสอบ
ขยะย่อยสลาย	0.017	มีความสัมพันธ์กัน
ขยะรีไซเคิล	0.014	มีความสัมพันธ์กัน
ขยะอันตราย	0.017	มีความสัมพันธ์กัน
ขยะทั่วไป	0.014	มีความสัมพันธ์กัน

3.3 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเส้นทางการเดินทางเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชน

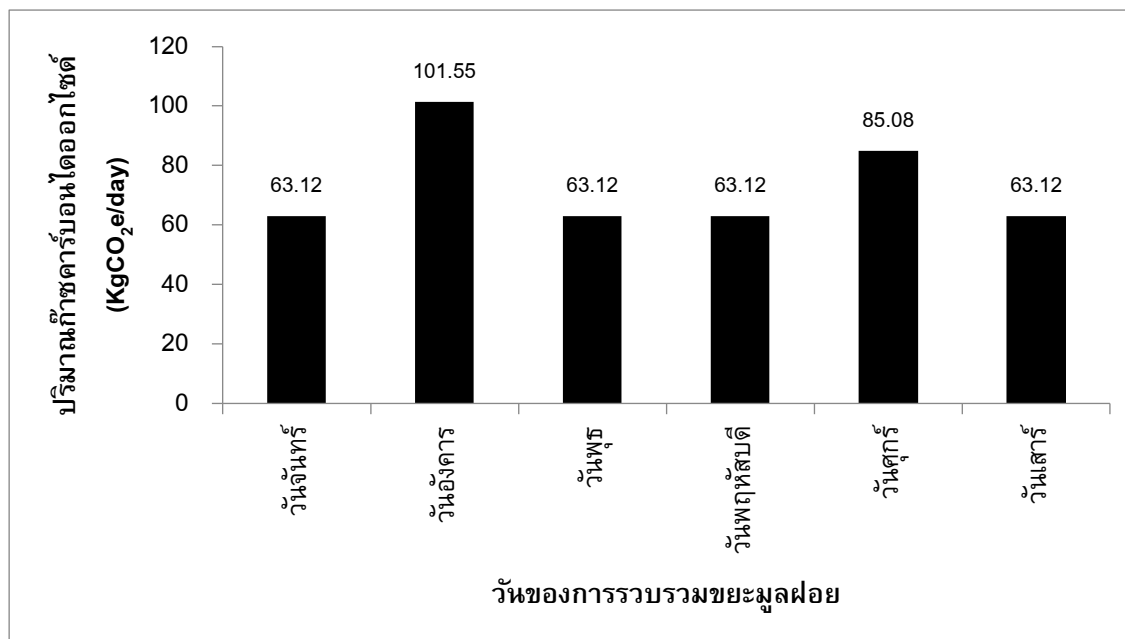
ผลการศึกษาเส้นทางการเดินทางทั้ง 19 หมู่บ้าน พบว่า จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ด้วยเครื่องยนต์ของรถรวบรวมขยะมูลฝอย 1 คัน ปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 439.11 KgCO₂e /week ทั้งนี้ วันรวบรวมขยะมูลฝอยที่มีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ วันอังคารมีการปลดปล่อยเท่ากับ 101.55 KgCO₂e /day ด้วยระยะทางเดินทาง 90 กิโลเมตร (Km) รองลงมา คือ วันศุกร์มีการปลดปล่อยเท่ากับ 85.08 KgCO₂e/day ด้วยระยะทางเดินทาง 80 Km โดยการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยของข้อมูลการทำกิจกรรมนั้นคือ ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเดินทางรวบรวมขยะมูลฝอย ดังตัวอย่างแสดงการคำนวณของวันจันทร์ และค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตารางที่ 6 และรูปที่ 3

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวันจันทร์} &= \text{Activity data} \times \text{Emission factor} \\
 &= 23 \text{ lite/day} \times 2.7446 \text{ KgCO}_2\text{e /lite} \\
 &= 63.12 \text{ KgCO}_2\text{e /day}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเส้นทางการเดินทางเก็บขยะมูลฝอยรอบสัปดาห์

วัน	หมู่บ้าน	Emission factor (KgCO ₂ e/lite)	ระยะทาง* (Km)	ปริมาณน้ำมัน* (lite/day)	ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (KgCO ₂ e/day)
วันจันทร์	2, 4, 5	2.7446	60	23	63.12
วันอังคาร	16, 17, 18, 19	2.7446	90	37	101.55
วันพุธ	3, 8, 1	2.7446	61	23	63.12
วันพฤหัสบดี	6, 9, 10, 11	2.7446	60	23	63.12
วันศุกร์	13, 14, 15	2.7446	80	31	85.08
วันเสาร์	7, 12	2.7446	60	23	63.12
รวมทั้งสิ้น					439.11

หมายเหตุ * ระยะทางที่มาจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลภายในหมู่บ้านตำบลบ้านยาง



รูปที่ 3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเส้นทางการเดินทางเก็บขยะมูลฝอยรอบสัปดาห์

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากรถรวบรวมขยะมูลฝอยของแต่ละวันทั้ง 19 หมู่บ้าน โดยใช้สถิติ Chi-square ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) พบว่า ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้เผาไหม้ในเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 (sig. = 0.017)

4. สรุปและอภิปรายผล

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยบริเวณจุดรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนตำบลบ้านยางทั้ง 19 หมู่บ้าน ในปี 2562 จำนวนรวม 3,725.73 Kg/day โดยการแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ประเภท พบปริมาณขยะย่อยสลายได้มากที่สุด รองลงมาคือ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิล ตามลำดับ เนื่องด้วยประชากรในชุมชนประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้เกิดเศษวัสดุทางการเกษตรที่ย่อยสลายได้มากกว่าขยะเป็นประเภทอื่น ๆ ซึ่งขยะมูลฝอยชุมชนตำบลบ้านยางทั้ง 4 ประเภท มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณรวม 6,093.11 KgCO₂e/day หรือ 6.10 tonCO₂e/day โดยขยะย่อยสลายได้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ ขยะอันตราย ขยะทั่วไป และขยะรีไซเคิล ตามลำดับ ทั้งนี้การปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นกับค่าคงที่การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Emission factor) ด้วย ซึ่งพบว่าปริมาณของประเภทขยะมูลฝอยชุมชนมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($< \text{Sig. } 0.05$) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยของเส้นทางการเดินทางรวบรวมขยะมูลฝอยชุมชนตำบลบ้านยางด้วยการเผาไหม้ของน้ำเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซลจากเครื่องยนต์ของรถรวบรวมขยะมูลฝอย 1 คัน ปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 439.11 KgCO₂e/week ด้วยระยะทางเดินทางรวม 411 Km/week โดยใช้ปริมาณน้ำมันดีเซล 160 lite/week ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้เผาไหม้ในเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. = 0.017) ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนตำบลบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์ ถูกปลดปล่อยรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 6,532.22 KgCO₂e/day โดยค่าการปลดปล่อยสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหามาตรการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซที่มีศักยภาพ

ของการเกิดภาวะเรือนกระจกต่อไปในอนาคต ทั้งนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดการขยะมูลฝอยส่วนท้องถิ่นตำบลบ้านยางควรจัดอบรมให้ความรู้ แก่ประชาชนในท้องถิ่นและควรจัดให้มีกิจกรรมส่งเสริมการมีรายได้จากขยะมูลฝอยเพื่อช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเวสเทิร์น และได้รับความอนุเคราะห์จากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านยางสำหรับอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในพื้นที่ รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากประชาชนทั้ง 19 หมู่บ้านของตำบลบ้านยางเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] BBC. (2561, มีนาคม. 10). ก๊าซเรือนกระจกอาจทำให้สารอาหารในข้าวลดลง, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.bbc.com/thai/>
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561, มีนาคม. 11). บทบาทของประเทศไทยกับการลดก๊าซเรือนกระจก, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.egat.co.th/>
- [3] Thailand Biennial Update Report, *Sunder the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Bangkok: Thailand, 2015.
- [4] พรทิพา บริบูรณ์, การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดการปล่อยของโรงพยาบาลโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา, การค้นคว้าอิสระ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558.
- [5] อลงกรณ์ พึ่งจันดุม, การศึกษาปริมาณองค์ประกอบและมูลฝอยชุมชน, สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11, นครราชสีมา, ม.ป.ป.
- [6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2561, มีนาคม. 11). สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจก/ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.tgo.or.th/>
- [7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2563, กุมภาพันธ์. 10). Emission Factor, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th>
- [8] ศูนย์ข้อมูลประเทศไทย. (2563, กุมภาพันธ์. 10). ตำบลบ้านยาง, [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://burirum.kapook.com>
- [9] พงศ์ธร แสงชูติ, ศิริกัญญาฤทธิ์ แปลก และ วิชาญ บุญคำ. การประเมินรายได้จากการคาดการณ์องค์ประกอบขยะมูลฝอยของชุมชนบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์, *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*, 6(2) (2019): 1-9.

การควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติ

THE TEMPERATURE CONTROL FOR SOLAR DRYING ROOMS BY AUTOMATIC SYSTEM

ปัญญา สำราญพันธ์^{1*} ณภพ ชัยสุวรรณ² ธิดาธิป หารชุมพล³ สมจินต์ อักษรธรรม⁴
สุภัสสรณ์ พงษ์พานิช⁵

Panya Samranhan^{1*} Napop Saisuwan² Thidathip Hanchumphon³ Somjin Aksorntham⁴
Supassorn Pongpanich⁵

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

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

⁴ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

⁴ Faculty of Engineering, Thonburi University

⁵ วิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์

⁵ Somchan Community Enterprise

Received : 14 May 2020

Revised : 19 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ อำเภอดู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี มีขั้นตอนการดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นรวบรวมข้อมูลความต้องการและศึกษาเงื่อนไขการอบกล้วยม้วน ขั้นตอนที่สองเป็นการออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในห้องอบ จำนวน 4 ตำแหน่งตามตำแหน่งการอบกล้วยจริง แบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง

ผลของงานวิจัย พบว่า อุณหภูมิก่อนการปรับปรุงมีอุณหภูมิระหว่าง 42.66 - 73.24 องศาเซลเซียส และหลังจากติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบควบคุมการไหลของอากาศแล้ว ช่วยให้อุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิระหว่าง 54.44 - 57.66 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิในตำแหน่งการอบกล้วยม้วนทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

Abstract

The objective of this research has been increasing the efficiency of solar power baking room of Somchan Community Enterprise, Uthong District, Suphan Buri Province. It had 3 steps to the operation, the first step was to collect information on requirements and studied the conditions for baking banana roll, the second steps were to designed and install the temperature control system in the solar baking room and the finally step

was to comparison the operating results before and after the improvement, by the collecting temperature data in solar power baking room for 4 positions according to the position of real banana baking continuously for during 7 hours.

This research was found that the temperature before the adjustment was has between 42.66 - 73.24 degrees Celsius and after installation temperature measurement systems and adding the air flow control system could be help to control the temperature inside the solar power baking room had the temperatures between 54.44 - 57.66 degrees Celsius., by the temperature in all 4 banana baking positions will had not significant difference temperature.

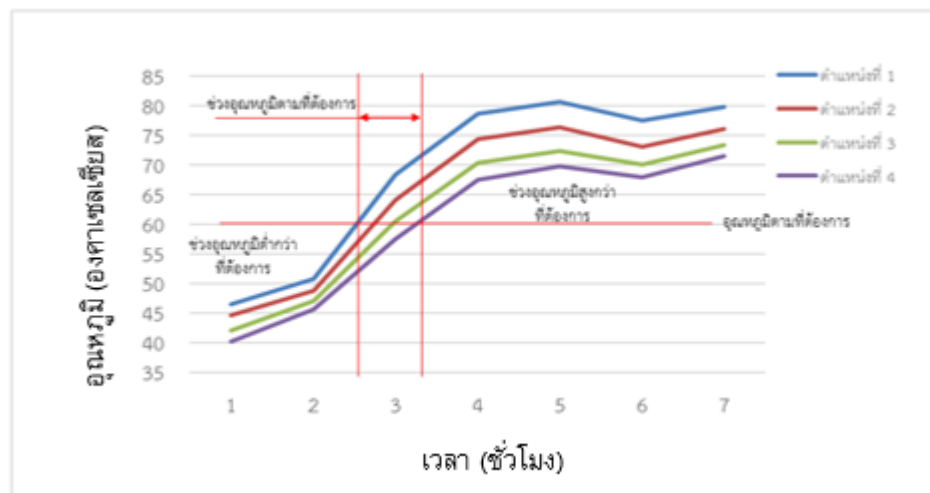
Keywords: Solar Drying Rooms, Automatic Temperature Control System.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีความโชคดีที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่มีความหลากหลายตามท้องถิ่นตามสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการสร้างรายได้ และการพึ่งตนเองของชุมชน โดยการนำทุนที่มีอยู่ในชุมชน อันได้แก่ ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น วิถีชีวิต วัฒนธรรมประเพณี ทรัพยากรท้องถิ่นอื่นๆ ฯลฯ ผสมกับการบริหารจัดการจัดการสมัยใหม่ เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และการเรียนรู้ของชุมชนมาสร้างประโยชน์ สร้างโอกาสและรายได้ของชุมชนฐานรากให้สามารถพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืน หลักการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนหลักการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน คือ การทำให้สินทรัพย์ของชุมชนกลายเป็นสินทรัพย์ที่มีค่า และทำให้เป็นสินทรัพย์ที่มีมูลค่าเพิ่มเพื่อนำไปสู่สินค้าของชุมชนทำให้เกิดรายได้ และกลายเป็นสินทรัพย์ของชุมชน เพื่อให้รากฐานเศรษฐกิจมั่นคง ดังเช่น การรวมกลุ่มของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ ของชุมชนสระยายโสม หมู่ที่ 3 ตำบลสระยายโสม อำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้ดำเนินการในรูปแบบคณะกรรมการอย่างเป็นระบบ ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรทำให้มีเวลาว่าง จึงเกิดการรวมกลุ่มประกอบอาชีพเสริมเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัว อีกทั้งยังสร้างความสามัคคีและความเข้มแข็งในชุมชน

การดำเนินการของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่น คือ กล้วยนำว่าสายพันธ์กบขาวสุพรรณ เป็นสายพันธ์ผสมระหว่างสายพันธ์มะลิอ่องและสายพันธ์เพชรบุรี มีจุดเด่นที่สีเหลืองสวย เนื้อหนา หอม หวาน นุ่ม เหมาะกับการอบแห้ง (ไม่เหมาะกับการเชื่อม) เกษตรกรในพื้นที่จึงนำมาทำการแปรรูปเป็นกล้วยอบมันโสมจันทร์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร จากแนวคิดในการถนอมอาหารแบบไทยๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่ด้วยจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ทั้งรูปแบบและรสชาติที่ดีจึงทำให้สินค้าเป็นที่นิยม ทางกลุ่มฯ จึงได้นำเทคโนโลยีเครื่องมือ อุปกรณ์มาช่วยในการผลิต เช่นเครื่องทับกล้วย เตอบพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น และในปี พ.ศ. 2554 ได้รับการสนับสนุนห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ จากโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานแบบยั่งยืนในชุมชน วัด และโรงเรียน เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าพลังงานในการอบกล้วยอบมัน แต่เนื่องจากกรรมวิธีการอบด้วยห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์เดิมใช้หลักการอบด้วยการพาความร้อนจากแสงอาทิตย์ ยังต้องอาศัยช่วงเวลาและความร้อนจากแสงแดด ซึ่งไม่สามารถควบคุมแสงแดดที่มาจากรธรรมชาติได้ ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยจากการศึกษาอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ พบว่าอุณหภูมิจำนวน 4 ตำแหน่ง ตามระดับความสูงของการอบกล้วย ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 62.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 73.24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 46.61 องศาเซลเซียส (ผันแปรตามความร้อนที่สะสมจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป) ,ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 59.29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 69.61 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 45.09 องศาเซลเซียส ,ตำแหน่งที่ 3 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 57.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 66.63 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 43.70 องศาเซลเซียส ,ตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 55.31

องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 64.49 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 42.66 องศาเซลเซียส สามารถสรุปข้อมูลเบื้องต้นได้ว่าตำแหน่งการอบที่สูงมีความสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการที่ว่าอากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว จะมีความชื้นสัมพัทธ์และมีความหนาแน่นลดลงและลอยตัวขึ้น อากาศร้อนนี้จะพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์แล้วไหลออกจากห้องอบแห้งไปสู่อากาศแวดล้อม [1] โดยในช่วงเริ่มต้นการอบของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาจากค่าต่ำสุด และที่สูงที่สุด คือตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 46.61 องศาเซลเซียส และค่าที่ต่ำสุดคือตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 42.66 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแตกต่างกันเพียง 3.95 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาจากค่าที่สูงที่สุดคือตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 73.42 องศาเซลเซียส และค่าที่ต่ำสุดคือตำแหน่งที่ 4 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 64.49 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันถึง 8.75 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อมีการสะสมความร้อน อุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมมา มีการแจกแจงแบบปกติ ($P\text{-value} = 0.834 > 0.05$) จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ พบว่าค่า $P\text{-value} = 0.001$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง ภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ก่อนการปรับปรุง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากรูปที่ 1 อุณหภูมิของแต่ละตำแหน่งที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยจะลดลงหากระดับของตำแหน่งการอบกล้วยต่ำลง ถึงแม้ว่าเมื่อเริ่มต้นการอบกล้วยมีอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่งใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปอุณหภูมิในตำแหน่งที่ 4, 3, 2 และ 1 จะสูงขึ้นแตกต่างกันตามลำดับ



รูปที่ 1 ความแตกต่างของอุณหภูมิสะสมแต่ละตำแหน่งก่อนปรับปรุง

จากการศึกษาปัญหาพบว่าห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ ใช้เวลาในการสะสมอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ 60 องศาเซลเซียส ตามที่ต้องการ ซึ่งหลังจากนั้นอุณหภูมิจะเกิดการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงระยะเวลาชั่วโมงที่ 7 ตำแหน่งการอบกล้วยทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิสูงถึง 80, 76, 73 และ 71 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินกว่าที่ต้องการคือ 60 องศาเซลเซียส และหากสามารถรักษาระดับอุณหภูมิไม่เกินที่ต้องการได้จะทำให้คุณภาพของกล้วยอบมีคุณภาพตามที่ต้องการเป็นจุดที่สำคัญที่จะนำมาควบคุมในครั้งนี้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ วิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ตามตำแหน่งการอบจริง ทั้งก่อน และหลังติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการถนอมอาหารที่มีมานานแล้ว [2] และปัจจุบันก็ยังนิยมใช้กันอยู่โดยกระบวนการถนอมอาหารส่วนใหญ่จะถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดด ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับความชื้นของผลิตภัณฑ์ สภาพอากาศ และเวลาในการตาก โดยการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ตามลักษณะการไหลเป็น 2 แบบ คือ การไหลของอากาศแบบธรรมชาติ (Natural convection) และการไหลของอากาศแบบบังคับ (Force convection) การประยุกต์รูปแบบการอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง โดยใช้กล้วยน้ำว้าปลูกเปลือกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของงานวิจัยพบว่าคุณภาพกล้วยหลังการอบไม่แตกต่างจากการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ [3] การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทำการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Natural จากการทดลองอบกล้วยน้ำว้าที่จะนำมาอบต้องสุกงอม เนื้อเป็นสีเหลือง เปลือกกรอบ ออกง่าย พบว่าจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 230 มาตรฐานแห้ง สามารถลดความชื้นลงให้เหลือประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานแห้ง โดยใช้เวลา 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ตากโดยวิธีธรรมชาติจะพบว่ากล้วยภายในเครื่องอบ จะใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยกว่า 1 วัน และสีของกล้วยจะเข้มกว่ากล้วยที่ตากโดยวิธีธรรมชาติ [4] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้พัดลมช่วยในการเคลื่อนที่ของอากาศจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในพื้นที่อบเฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส นั่นคือเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยทั่วไป [5] การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสำหรับอบแห้งดีปลี โดยการทดลองด้วยตัวแปรคือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการไหลของอากาศ และปริมาณความชื้นสมดุลจากแบบจำลองกระบวนการอบแห้งแบบชั้นวาง [6] การอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อน พบว่าอัตราไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง โดยที่อัตราไหลของอากาศสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อัตราไหลของอากาศต่ำ [7] การพัฒนาตู้อบหย้าหวานโดยใช้แหล่งความร้อนจากก๊าซหุงต้มร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดความชื้นสุดท้ายในการอบอยู่ที่ร้อยละ 305 (w.b.) โดยใช้อุณหภูมิในการทดลองที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศ 1,120, 1,400 และ 1,866 rpm. พบว่าการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในห้องอบเฉลี่ยอยู่ที่ 49.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4.30 (w.b.) ใช้เวลาในการอบแห้ง 450 นาที เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด [8] เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ซึ่งเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมคือ ค่าความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดและมีเงื่อนไขบังคับคือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง อัตราการไหลอากาศ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ และเวลาที่ใช้ในการอบ [9] การศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในห้องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยศึกษาขนาดของพื้นที่เข้าออก และฟลักซ์ความร้อน ผลงานวิจัยยังพบอีกว่าอัตราส่วนผสม และ ฟลักซ์ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน [10] การใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้ ส่วนการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าจากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 65 เหลือร้อยละ 22 โดยมีวิธีการคือใช้ตู้อบลมร้อนแบบชั้นวาง อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง แล้วเก็บแบบหมักไว้ 10 ชั่วโมง และนำไปตากด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ อีก 2 วัน ซึ่งการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการทำแห้งถือว่าเป็นพลังงานสะอาดและประหยัดเวียง [11] เงื่อนไขการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของการอบแห้งขนุน ทำการอบแห้งโดยเลือกใช้อุณหภูมิอบแห้ง ในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส

ที่กำลังรังสีอินฟราเรดคงที่ 1,000 W เทียบกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และทดสอบการซึม ผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลงเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้นกับเวลา และพบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส จะให้สีของขนุนมีความสว่างต่ำกว่าขนุนที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า และการทดสอบการซึมพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อรสชาติของเนื้อขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) [12] สมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งผลจากการทดสอบ การอบแห้งพริกพบว่าความเร็วลม 7.27 m/s เป็นความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการรักษาอุณหภูมิที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ได้เฉลี่ยมากกว่า 50°C นานถึง 6 ชั่วโมง และการอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.63 m/s เหมาะสมต่อการทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50°C ภายใน 2 ชั่วโมง [13] หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ อากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว จะมีความชื้นสัมพัทธ์และมีความหนาแน่นลดลงและลอยตัวขึ้นสูงผ่านชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง อากาศร้อนนี้จะพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์แล้วไหลออกจากเครื่องอบแห้งไปสู่อากาศแวดล้อม [1] ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m^2 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 32.3 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องแห้ง $30-40$ องศาเซลเซียส ส่วนชนิดพาความร้อนแบบบังคับเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พัดลมช่วยในการพาความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งชนิดนี้มักมีแผงรับรังสีแยกออกจากตัวเครื่องและมีการหมุนวนที่ตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m^2 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 32.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องแห้งจะอยู่ในช่วง $45-65$ องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วลม $0.56-0.94 \text{ m/s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการมีระบบการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบสูงขึ้นกว่าห้องอบแบบปกติ จากการศึกษาโครงการพาราโบลาโดมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่ารูปแบบโครงสร้างมีการออกแบบเช่นเดียวกับของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ โครงสร้างของห้องอบมีลักษณะรูปทรงแบบพาราโบลา แผ่นรับแสงโดยตรงทำด้วยโพลีคาร์บอเนตแบบใส แสงสว่างส่องผ่านได้ดี แต่รังสีความร้อนที่แผ่จากภายในห้องอบแห้งจะผ่านออกมาได้น้อย จึงทำให้เกิดผลเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ความร้อนส่วนใหญ่จึงถูกกักเก็บอยู่ภายในห้องอบแห้งมีประตูทางเข้า 1 ทาง พื้นคอนกรีต มีช่องอากาศเข้า ในกรณีที่อุณหภูมิการอบสะสมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องมากกว่าที่ต้องการจะส่งผลต่อคุณภาพกล้วยอบ เนื่องจากความร้อนมาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และเมื่ออากาศร้อนภายในตู้อบแห้งจะเกิดการขยายตัว และหมุนเวียนเพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ คือค่าความร้อน ความชื้นและเวลาในการอบ และอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมอยู่ที่ ประมาณ $50-60$ องศาเซลเซียส และหลักการพาความร้อนแบบบังคับ จะช่วยให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบอยู่ที่ $45-65$ องศา [1] [7] เช่น การใช้พัดลมในการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบ เป็นต้น

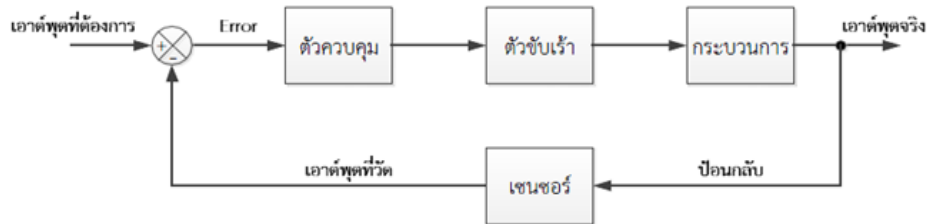
สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้ระบบควบคุมแบบปิด เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง $60-65$ องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้อบกล้วยด้วยตู้อบแบบเดิม (แบบใช้แก๊สหุงต้ม) โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระจายตามจุดต่าง ๆ ในห้องอบดังกล่าว เพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิ และส่งค่าที่ได้ไปประมวลผลด้วยระบบควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หากอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดพัลลภระบายอากาศภายในห้องจะทำงานเพื่อรักษาสภาพอุณหภูมิภายในห้องให้มีสภาพใกล้เคียงกับตู้อบแบบเดิม ซึ่งการอบกล้วยด้วยช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ได้คุณภาพของสินค้าที่ดี (กล้วยอบมัน)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยตามกรอบของวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนอย่างเป็นระบบคือ 1) การศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ 2) การปรับปรุงระบบการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) การประเมินผลหลังการปรับปรุงระบบการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ อำเภอ

อุทก จัหวัดสุพรรณบุรีเป็นตัวอย่างในการทดลอง ด้วยการนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบในช่วงที่เหมาะสม และทำการปรับสมดุลของอุณหภูมิภายในห้องอบให้ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

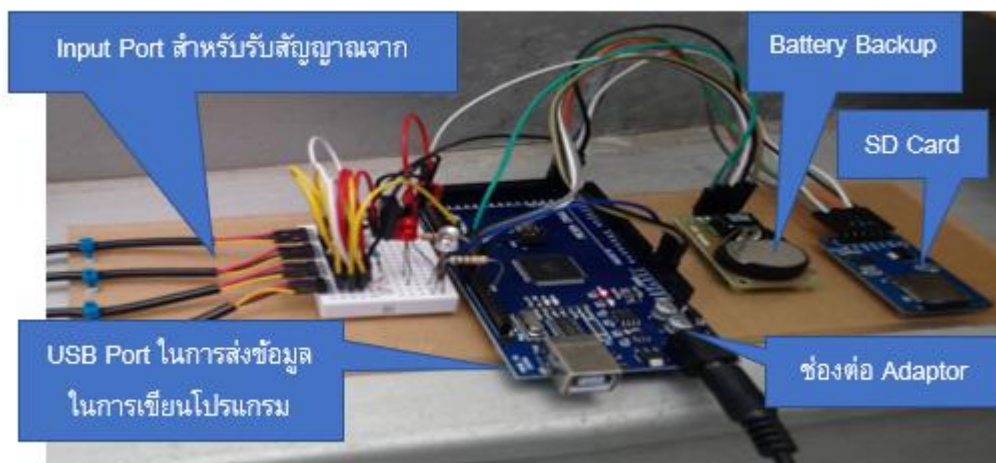
ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หรือระบบควบคุมที่มีการควบคุมในลักษณะที่มีการส่งงานไปยังเครื่องควบคุมแล้วมีการอ่านค่าผลลัพธ์ของระบบป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบและสั่งงานควบคุมปิด-เปิดระบบการระบายอากาศ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้พัฒนามาในการระบายอากาศเข้า และออกจากห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องอบไม่เกินที่ต้องการ



รูปที่ 2 ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบปิด

4.1 อุปกรณ์/เครื่องมือ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะประกอบไปด้วย เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมสายสัญญาณ ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องอบ โดยเป็นหัววัดแบบพิเศษที่สามารถแปลงค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้แล้วส่งข้อมูลผ่านสายส่งสัญญาณออกในรูปแบบของ Text ที่เป็นตัวเลข ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลจะใช้บอร์ด Arduino MEGA ซึ่งจะควบคุมการทำงานด้วย CPU Micro Controller และเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการให้ตัวบอร์ดทำงานโดยโหลดโปรแกรมผ่าน USB Port ชุด Input Port ใช้สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณเพื่อรับข้อมูลจากเซนเซอร์ที่เป็นค่าอุณหภูมิที่วัดได้ เพื่อส่งไปยังหน่วยบันทึกข้อมูล (SD Card) ชุด Battery Backup สำหรับป้องกันการสูญหายของโปรแกรม หน่วยบันทึกข้อมูล (SD Card) สำหรับใช้เก็บบันทึกผลข้อมูล Adaptor 5 Vdc สำหรับจ่ายพลังงานใช้ชุดเก็บข้อมูล มีองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้



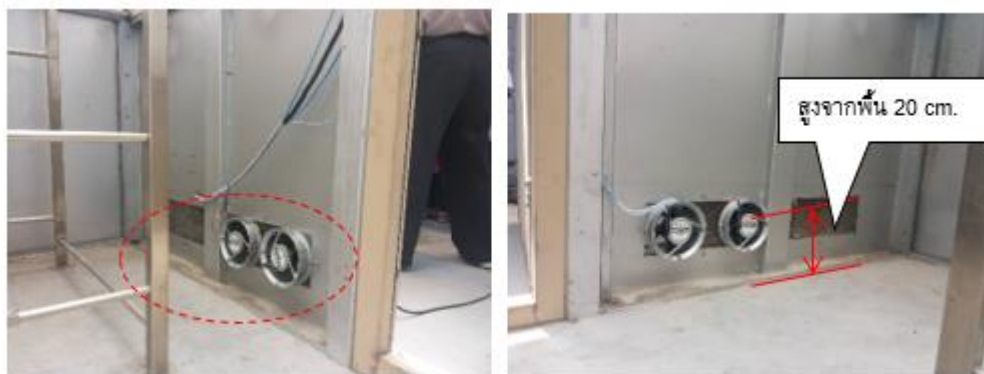
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของอุปกรณ์บันทึกและควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์

การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้ ใช้พัฒนาม DC ประเภท Tachometer Sensor การไหลเวียนของอากาศ 225.98 CFM ความเร็ว 3050 RPM ประเภทแรงดัน 13 mmAq ความสูง 172 mm. ความลึก 51 mm ความกว้าง 172 mm. การจ่ายแรงดันที่ใช้งาน 24 VDC วัสดุของปลอกหุ้ม Aluminum ระดับ 9E Type

เพื่อปรับอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการพาอากาศภายนอกเข้าห้องอบจำนวน 4 ชุด และพาอากาศภายในห้องออกสู่ภายนอก จำนวน 4 ชุด เพื่อปรับสมดุลอุณหภูมิภายในห้องอบฯ



รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมพาอากาศร่อนออกจากห้องอบ



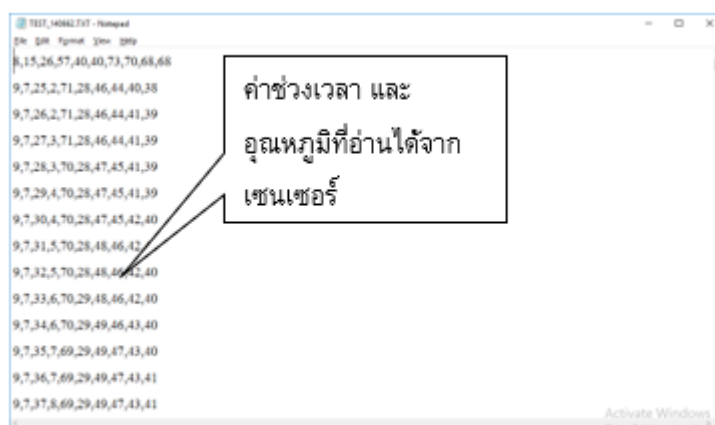
รูปที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมพาอากาศจากภายนอกเข้าห้องอบ

4.2 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลของงานวิจัยครั้งนี้คือ อุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการอบกล้วยของงานวิจัยครั้งนี้ และใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติก่อนและหลังทำการปรับปรุง ด้วยการวัดค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์อ่านค่าแบบต่อเนื่อง และบันทึกผลด้วยความถี่ในการบันทึกค่าทุก ๆ 1 นาที ในวันที่มีการอบกล้วย ตำแหน่งการอ่านค่าอุณหภูมิ จำนวน 4 จุด ตามแนวระดับของชั้นวางผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบความแตกต่างของระดับอุณหภูมิการอบจริง โดยมีการระบุตำแหน่งเพื่อการบันทึกค่าดังนี้



รูปที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์อ่านค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 7 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลรูปแบบ Text file

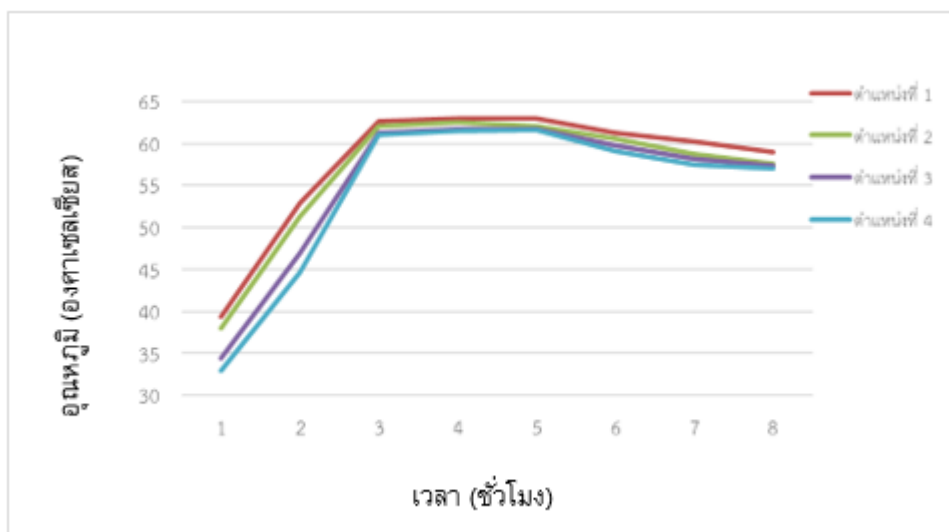
5. ผลการวิจัย

5.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของอุณหภูมิหลังจากปรับปรุงโดยมีตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 4 จุด ตั้งตำแหน่งเดิมที่มีการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ข้อมูลอุณหภูมิภายในห้องอบหลังมีการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติแล้ว ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 10 วัน ตามวันที่มีการอบกล้วยจากห้องอบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์จริง โดยแบ่งตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์จำนวน 4 ตำแหน่ง มีระดับอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งดังต่อไปนี้ อุณหภูมิตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ย 56.64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 58.23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 54.44 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ย 56.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 58.16 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 53.13 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ย 55.71 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 57.31 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 54.20 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ย 55.52 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 57.66 องศา

เซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 54.21 องศาเซลเซียส จากข้อมูลเบื้องต้นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 จุด มีค่าสูงสุดไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย



รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์หลังปรับปรุง

การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างอุณหภูมิแต่ละระดับ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ($P\text{-value} = 0.877 > 0.05$) จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่าค่า $P\text{-value} = 0.064$ มากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง ภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์หลังการปรับปรุง มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถึงแม้ว่าอุณหภูมิของแต่ละตำแหน่งที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงหากระดับของการวัดลดลง และเพื่อเป็นการยืนยันระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ว่าสามารถควบคุมให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยได้ไม่เกินกว่าที่ต้องการหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย จึงทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่าค่า $P\text{-value} = 0.001$ น้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ จึงสรุปได้ว่าระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสามารถควบคุมให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบมีอุณหภูมิไม่เกินกว่าที่ต้องการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6. บทสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์เนื่องจากระดับอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ ของวิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ มีอุณหภูมิสะสมในระหว่างการอบกล้วยสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเกินกว่าที่ต้องการ งานวิจัยนี้จึงใช้ระบบการวัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์ และใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการบันทึกค่า ประมวลผลและสั่งงานให้พัดลมช่วยในการระบายอากาศเข้าและออก เพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิภายในห้องอบไม่เกินกว่าที่กำหนด ผลของงานวิจัยพบว่า การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ พบว่าก่อนการปรับปรุงเพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในห้องอบตามที่ต้องการ (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) จะต้องมีการสะสมอุณหภูมิจากแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 3 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย และหลังจากที่มีอุณหภูมิสูงตามต้องการแล้วอุณหภูมิจะมีการสะสมอย่างต่อเนื่องสูงถึง 75 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ย และพบว่าตำแหน่งในการอบกล้วยม้วนทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหลังจากมีการเพิ่มระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติเข้าไป ช่วยให้อุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในตำแหน่งการอบกล้วยม้วนทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหลังจากมีการปรับปรุงระบบการควบคุมอุณหภูมิของตำแหน่งการอบกล้วยแต่ละระดับให้ไม่มีความแตกต่างกันแล้ว สมาชิกวิสาหกิจชุมชนจึง

สามารถทำการอบกล้วยได้เต็มประสิทธิภาพ คือสามารถอบกล้วยได้ครั้งละ 40 ถาดต่อวัน คิดเป็นกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 19,440 กิโลกรัมต่อปี และสามารถลดต้นทุนพลังงานจากการเปลี่ยนจากการใช้ตู้อบพลังงานจากแก๊สลงได้ประมาณ 54,189 บาทต่อปี

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ภายใต้โครงการวิจัยและนวัตกรรม เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 โดยการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ผ่านเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคกลางตอนล่าง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และสมบัติ ทิมทรัพย์. “เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ”. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 7(1), 2556. 23-31.
- [2] บงกช ประสิทธิ์ และสัทธยา ทองสาร. “ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ร่วมเซลล์แสงอาทิตย์”. *การประชุมวิชาการสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม.
- [3] คำนิง วาทยธธา. “การอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง”. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 33(6), 2545 : 11-15.
- [4] ชีระชัย ไชยศิริ บุญยงค์ วัฒนาโกศัย และวิโรจน์ ไรจนวิสูตร. “เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์”. *ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2532.
- [5] รัฐธิปไตย ปางวัชรารณ และ เมธิณี เหวซึ่งเจริญ. “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์”. *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*. 33(6), 2532, 190-195.
- [6] จักรพรรณ์ ผิวสะอาด และชยพัทธ์ ภูสำเภา. “การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสำหรับอบแห้งดีปลี”. *SNRU Journal of Science and Technology*. 8(3), 2559, 365-378.
- [7] ถาวร อู่ทรัพย์ ญัฐพล ภูมิสะอาด และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร. “การอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดที่มีวัสดุสะสมความร้อน”. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 32(4), 2555, 489-493.
- [8] ทวีศักดิ์ มหาวรรณ อัจฉรา จันท์ผิง และนิลวรรณ ไชยหนู. “การพัฒนาตู้อบกล้วยหวานโดยใช้แหล่งความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานแสงอาทิตย์”. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14*, 2556.
- [9] ธนกร หอมจำปา ทรงสุภา พุ่มชุมพล และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา. “เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาชนิดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8*. จังหวัดมหาสารคาม, 2555.
- [10] ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา. “อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลต่อประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์”. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 6(2), 2556, 46-54.
- [11] เวียง อากรณี ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ วิบูลย์ เทเพนทร์ อนุชา เชาวโชติ อุทัยธานี และอัคคพล เสนาณรงค์. “การศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้”. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 22(1), 2559, 39-45.

[12] สุภวรรณ ภูริวณิชย์กุล จุฑารัตน์ ทะสระ เฉลิม ปานมา รัชนีกร นำชัย และยุทนา ภูริวณิชย์กุล. “ปัจจัยของเงื่อนไขการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของการอบแห้งขนุน”. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(3), 2554, 82-91.

[13] สุรัชย์ ณัฐ จันท์ศรี. “การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล”. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12(1), 2560, 1-10.

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสกรดฮาโลอะซิติก ในน้ำประปาชุมชน ตำบลบ้านยางจังหวัดบุรีรัมย์

HEALTH RISK ASSESSMENT FROM EXPOSURE TO HALOACETIC ACIDS IN COMMUNITY WATER SUPPLY AT BAN YANG BURIRAM PROVINCE

พงศ์ธร แสงชูต^{1*} ศิริกัญญา ฤทธิไพล¹ วิชาน บุญคำ¹

Phongthon Saengchut^{1*} Sirikanya Ridthplake¹ Wichan Boonkham¹

¹อาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาเขตบุรีรัมย์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น 31000

* Corresponding author E-mail : Saengchuti@hotmail.com

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

Received : 15 Jun 2020

Revised : 22 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติก (HAA_s) ในน้ำประปาชุมชนเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของการได้รับสัมผัสกรดฮาโลอะซิติกจากการอุปโภค-บริโภคน้ำประปาชุมชน โดยใช้สมการการทำนายจาก 3 ปัจจัย คือ ค่า pH ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง พบว่า ระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำตวน มีคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นมีค่า pH เป็นกลาง มีค่า DOC อยู่ในช่วง 7.81-12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าคลอรีนอิสระคงค้างอยู่ในช่วงเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับกรดฮาโลอะซิติก (HAA₅) ในน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 เส้นทางกระจายน้ำประปา พบ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA₅ ในปริมาณที่สูงที่สุดในทุกจุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 433.41 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และผ่านทางผิวหนัง ไม่พบความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชน (มีค่า HI > 1) และความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า CR น้อยกว่า 10⁻⁶ แต่ไม่เกิน 10⁻⁴)

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ, กรดฮาโลอะซิติก, ระบบผลิตน้ำประปา

Abstract

The aims to study concentration and health risk assessment of HAA_s from consumption in water tap community and the result found that all of water supply system include Maka village, Nernsombun village and Lamduan village have neutral of pH, in the range was 7.81-12.33 mg/L of DOC and in the average range was 0.06-0.28 mg/L of residual chlorine. The HAA₅ in water tap to all of 3 villages and water distribution found that maximum concentration average equal to 433.41 µg/L. The health risk assessment of water tap consumption through ingestion and through dermal absorption found not health risk non potential of carcinogenic in water supply (HI >1) and accept of health risk potential of carcinogenic (CR = >10⁻⁶ - 10⁻⁴).

Keywords: Health Risk Assessment, Haloacetic acids, Water supply system

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากที่สภาวะสมดุลในร่างกายประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70 ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคจึงเป็นสิ่งสำคัญ และน้ำสะอาดย่อมส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้บริโภคด้วย ปัจจุบันในเขตชุมชนของประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับการสนับสนุนสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สะอาดและปลอดภัย ปราศจากการปนเปื้อนของสารพิษและเชื้อโรคด้วยระบบผลิตน้ำประปาโดยใช้กระบวนการสร้างตะกอน-รวมตะกอน และลดการปนเปื้อนของเชื้อโรคในน้ำด้วยการเติมสารคลอรีน (Coagulation-flocculation process) [1]

สารคลอรีนที่มากเกินไปจากจะฆ่าเชื้อโรคในน้ำยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำที่หลงเหลือจากการปรับปรุงน้ำ (Natural Organic Matters, NOMs) จนเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfecting By-Products, DBPs) เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (THMs) กรดฮาโลอะซิติก (HAAs) เป็นต้น โดยความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกที่พบจะมีค่ามากกว่าสารไตรฮาโลมีเทนถึงร้อยละ 50 [2] ทั้งนี้สารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกมีศักยภาพก่อมะเร็งในอุปโภคบริโภคได้จากการศึกษาที่ผ่านมาระบบผลิตน้ำประปาชุมชนที่ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคส่วนใหญ่มีค่าคลอรีนอิสระคงค้างเกินกว่าที่กำหนดโดยกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] พบว่า น้ำประปาชุมชนจังหวัดนครราชสีมา มีค่าคลอรีนอิสระคงค้างระหว่างช่วง 1.22-1.81 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดกรดฮาโลอะซิติกมากกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน US. EPA. (2012) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร [4] นอกจากนี้จากรายงานการศึกษาพบการปนเปื้อนของสารไตรฮาโลมีเทนสูงในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (60.09 ไมโครกรัมต่อลิตร) รองลงมาในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ (33.89 ไมโครกรัมต่อลิตร) [5]

การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาสำหรับการอุปโภคบริโภคในชุมชนของจังหวัดบุรีรัมย์ยังขาดการตรวจคุณภาพโดยเฉพาะกรดฮาโลอะซิติกเนื่องจากการตรวจสอบมีค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงให้สนใจในการตรวจสอบระดับความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกด้วยสมการทำนายทางคณิตศาสตร์ด้วยปัจจัยของการเกิด คือ pH คลอรีนอิสระคงค้าง และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำ ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกที่ศึกษาได้สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขอบเขตประชากรตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พื้นที่ที่ทำการศึกษาด้านบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์ ประกอบด้วย น้ำดิบ-น้ำประปาจากระบบผลิตน้ำประปาชุมชนจำนวน 3 แห่ง และน้ำประปาจากบ้านผู้ใช้ น้ำประปาจำนวน 45 หลังคาเรือน คือระบบผลิตน้ำประปาบ้านมะค่า ระบบผลิตน้ำประปาเนินสมบุรณ์ และระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน สำหรับใช้วิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกเป็นข้อมูลเบื้องต้น

กลุ่มตัวอย่างเป็นน้ำดิบแห่งละ 1 ตัวอย่าง และน้ำประปาจากระบบผลิตน้ำประปาชุมชนแห่งละ 15 ตัวอย่าง โดยการทำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ประกอบด้วยจุดต้นท่อจ่ายน้ำ จุดกลางท่อจ่ายน้ำ และจุดปลายท่อจ่ายน้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 48 ตัวอย่าง

2.2 ขอบเขตการวิจัย

1) การสำรวจเพื่อวิเคราะห์ทางเคมีโดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์ละลายน้ำ 3 ตัวอย่าง และน้ำประปาเพื่อวิเคราะห์ pH คลอรีนอิสระคงค้าง และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ สำหรับทำนายค่ากรดฮาโลอะซิติก 45 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำจะทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส และนำส่งตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ [6, 7]

2) การวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในน้ำดิบ และน้ำประปา จากการกรองน้ำตัวอย่างผ่านแผ่นกรอง GF/F ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และวิเคราะห์โดยเครื่อง TOC analyzer ตามวิธีจาก Standard method ในส่วน 5310 B. Persulfate-ultraviolet oxidation method. สำหรับการวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระคงค้างในน้ำประปาด้วยชุดทดสอบปริมาณคลอรีน [N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD) colorimetric kit] ซึ่งอาศัยการเกิดสีของคลอรีนอิสระคงเหลือตามวิธีมาตรฐานของ Standard Methods for the Examination of Wastewater, 12th ed. [8]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ วิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ตามตำแหน่งการอบจริง ทั้งก่อน และหลังติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

2.3) ขอบเขตการวิเคราะห์ผล

การประเมินการใช้น้ำประปา ได้แก่ ความเข้มข้นของค่าคลอรีนอิสระคงค้างโดยไม่ต่ำกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณสูงสุดไม่ควรเกิน 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] และความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกตามค่ามาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US. EPA.) กำหนดมาตรฐานในน้ำดื่มไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกรดฮาโลอะซิติกเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล IRIS (2003) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาที่ยอมรับได้ต้องอยู่ในช่วง $<10^{-6}$ - 10^{-4} (น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) (ประชากร 1 คน ใน 10,000 คน ที่มีโอกาสเป็นโรคมะเร็ง) โดยสมการและค่าที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังนี้

1) สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก [4, 9]

$$\text{HAA}_5 = 142.560\text{DOC} - 20.902\text{pH} + 99.232\text{Free Cl}_2 - 246.488 \quad (R^2 = 0.789) \quad (1)$$

$$\text{DCAA} = -1.7558 + 12.4681\text{DOC} \quad (R^2 = 0.996) \quad (2)$$

$$\text{TCAA} = 68.244 + 13.996\ln(\text{DOC}) \quad (R^2 = 0.982) \quad (3)$$

2) สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก [10]

ค่าคงที่	เพศชาย	เพศหญิง	หน่วย
อัตราการดื่มน้ำ (IR)	2	2	ลิตร/คน/วัน
ความถี่ในการสัมผัส (EF)	365	365	วัน/ปี
ระยะเวลาในการสัมผัส (ET)	1	1	ชั่วโมง/วัน
ช่วงระยะเวลาในการสัมผัส (ED)	66	74	ปี
น้ำหนักร่างกาย (BW)	68.83	57.40	กิโลกรัม
ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยในการสัมผัส (AT, ED x 365 วัน/ปี)	24,090	27,010	วัน

$$\text{ADI} = \frac{\text{C} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (4)$$

เมื่อ ADI = ปริมาณการได้รับสัมผัสสารมลพิษ (ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน)
C = ความเข้มข้นของสารมลพิษ (ไมโครกรัม/ลิตร)

$$HQ = ADI / RfD \quad (5)$$

เมื่อ HQ = ค่าความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสมลพิษ
 RfD = ค่าความเข้มข้นอ้างอิงของ DCAA เท่ากับ 4×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ
 TCAA เท่ากับ 2×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

$$HI = \sum HQ \quad (6)$$

เมื่อ HI = ค่าดัชนีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

$$CR = ADI \times SF \quad (7)$$

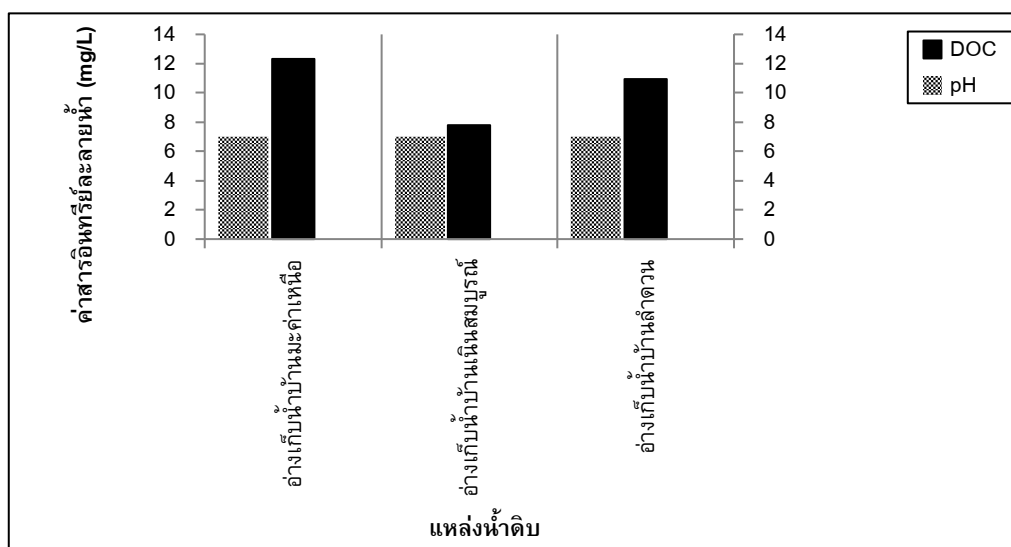
เมื่อ CR = ค่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง
 SF = ค่า Slope factor ของ DCAA เท่ากับ 5×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ
 TCAA เท่ากับ 7×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้น

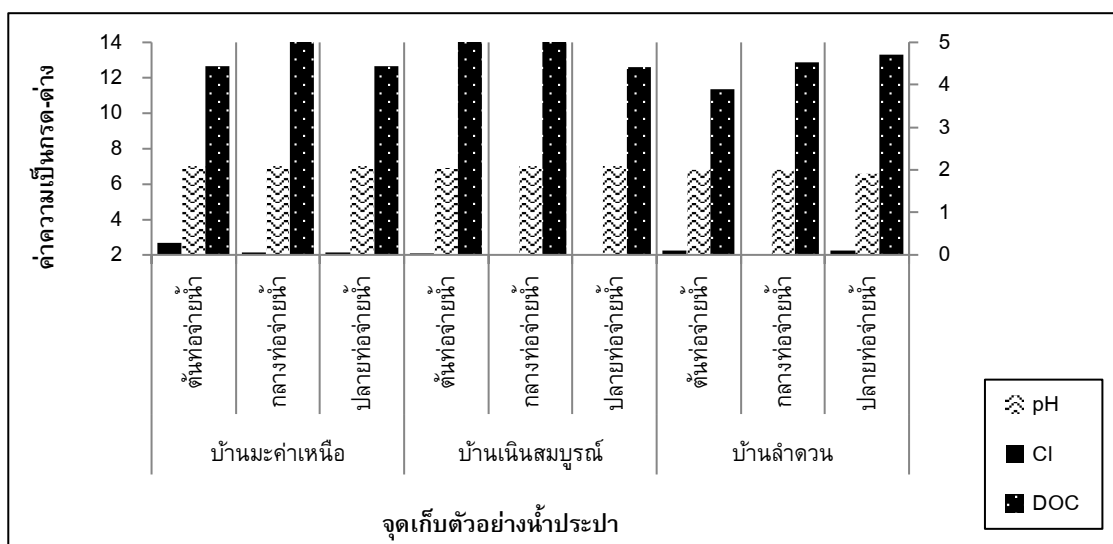
ในการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้นของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำดวน โดยตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำดิบ และน้ำประปา ในช่วงเดือนมกราคม-เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เพื่อศึกษาคูณลักษณะน้ำเบื้องต้นในน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาชุมชน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) รวมทั้งศึกษาคูณลักษณะน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้นในน้ำดิบประเภทน้ำผิวดิน พบว่า อ่างเก็บน้ำบ้านมะค่าเหนืออ่างเก็บน้ำ บ้านเนินสมบุรณ์ และอ่างเก็บน้ำบ้านลำดวน มีค่า pH เท่ากัน เท่ากับ 7 โดยมีค่าเป็นกลาง รวมทั้งมีค่า DOC อยู่ในช่วงเดียวกับค่าทั่วไปที่พบในแหล่งน้ำของประเทศไทยซึ่งอยู่ในช่วง 4.30-13.24 มิลลิกรัมต่อลิตร [11, 12] โดยพบว่า อ่างเก็บน้ำบ้านมะค่าเหนือพบปริมาณความเข้มข้นของ DOC สูงที่สุด เท่ากับ 12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำบ้านลำดวน และอ่างเก็บน้ำบ้านเนินสมบุรณ์ พบปริมาณความเข้มข้นของ DOC เท่ากับ 10.94 และ 7.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 คุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำดิบ

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา พบว่า ทั้ง 3 แห่งของระบบผลิตน้ำประปามีค่า pH เป็นกลางในค่าเฉลี่ยช่วง 6.60-7 และพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างสูงสุดที่ต้นท่อยจ่ายน้ำของทั้ง 3 แห่ง โดยต้นท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างระบบผลิตประปา บ้านมะค่าเหนือสูงสุดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน และระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และกลางท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตประปา บ้านมะค่าเหนือปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่พบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน และระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ซึ่งปลายท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตประปาบ้านลำดวนสูงสุดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ระบบผลิตน้ำประปา บ้านมะค่าเหนือพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่พบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ทั้งนี้ น้ำประปาทั้ง 3 แห่ง พบค่า DOC ที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทั้ง 3 เส้นทางท่อยจ่ายน้ำ ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.90-5.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 คุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา

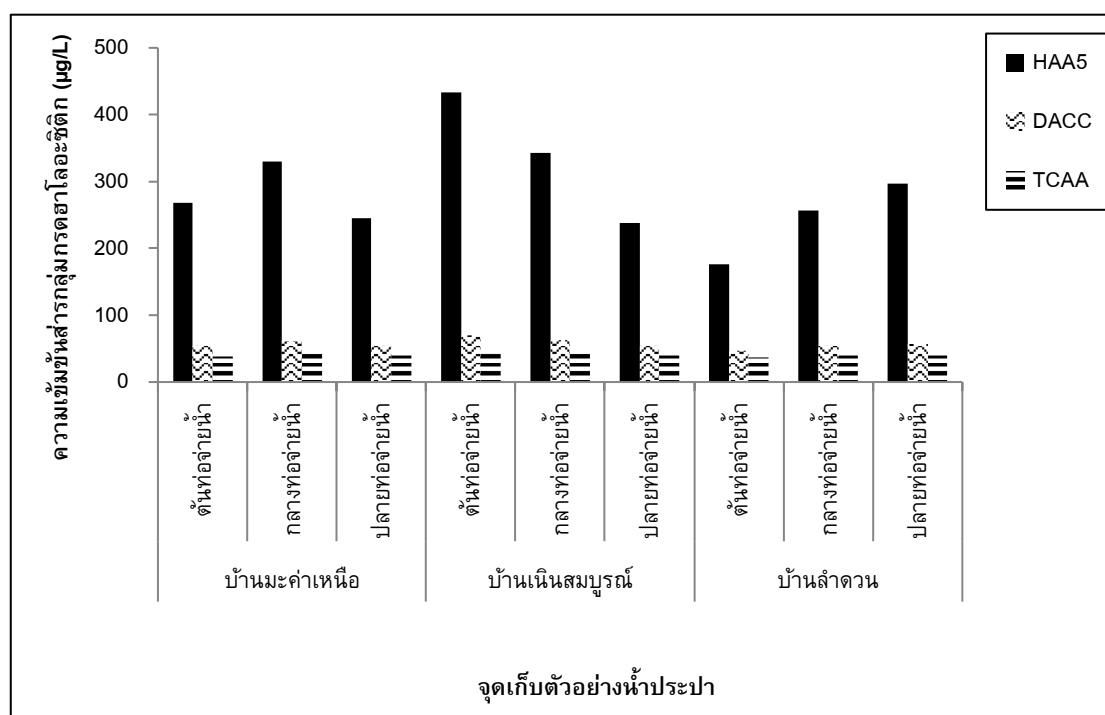
3.2 ผลการศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชน

การศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางท่อยจ่ายน้ำ คือ ต้นท่อยจ่ายน้ำ กลางท่อยจ่ายน้ำ และปลายท่อยจ่ายน้ำ ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นจากสมการการทำนาย โดยแบ่งเป็นการศึกษาความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกรวม 5 ชนิด (HAA_5) ประกอบด้วย กรดไดคลอโรอะซิติก (DCAA) กรดไตรคลอโรอะซิติก (TCAA) กรดโมโนคลอโรอะซิติก (MCAA) กรดโมโนโบรโมอะซิติก (MBAA) กรดไดโบรโมอะซิติก (DBAA) และศึกษาความเข้มข้นของกรดไดคลอโรอะซิติก (DCAA) กับกรดไตรคลอโรอะซิติก (TCAA) เป็นตัวแทนในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพเนื่องจากเป็นชนิดที่พบปริมาณความเข้มข้นมากกว่าชนิดอื่น ๆ ผลการศึกษาก่อนการศึกษานี้พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 433.41 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 268.52 และ 176.72 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก ณ จุดกลางท่อจ่ายน้ำประปา พบว่า น้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์พบปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 343.38 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 329.94 และ 256.89 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก ณ จุดปลายท่อจ่ายน้ำประปา พบว่า น้ำประปาของบ้านลำดวนพบปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 297 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 245.13 และ 237.31 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านบ้านลำดวน รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

จากเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มของ US.EPA. (2012) ที่นำมาใช้ในการศึกษาเนื่องจากยังไม่พบเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำประปา ซึ่งกำหนดให้ HAA_5 DCAA และ TCAA มีความเข้มข้นไม่เกิน 60 ไมโครกรัม และ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นค่าของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกที่ทำนายได้จากปัจจัยที่เป็นตัวส่งเสริมก่อให้เกิด ได้แก่ ค่า pH ค่า DOC และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง ยังไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

3.3 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

การศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางจ่ายน้ำประปา คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ กลางท่อจ่ายน้ำ และปลายท่อจ่ายน้ำ เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และผ่านทางผิวหนัง แสดงปริมาณการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA เนื่องจากเป็นชนิดที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็ง

การได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกผ่านทาง การดื่ม-กิน แบ่งผู้รับสัมผัสเป็น 2 เพศ ได้แก่ เพศชาย และ เพศหญิง พบว่า การใช้น้ำประปาชุมชนบ้านมะค่าเหนือมีผลทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกใน ปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทาง การดื่ม-กิน ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 7.79×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 6.50×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 6.11×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 5.10×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน โดยระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านเนินสมบุรณ์มีผลทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัส สารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทาง การดื่ม-กิน ใน ปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 1.02×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 8.48×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของ ชนิด TCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 6.50×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 5.42×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ทั้งนี้ระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 3 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านลำดวนมีผล ทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัส ผ่านทาง การดื่ม-กิน ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 8.28×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 6.90×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัส ในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 5.86×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 4.89×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการได้รับสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกผ่านทาง การดื่ม-กิน

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารกลุ่ม HAA ₅ (mg/Kg/day)			
	DCAA		TCAA	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
ประปาบ้านมะค่าเหนือ				
ดันท่อจ่ายน้ำ	6.50×10^{-5}	7.79×10^{-5}	4.69×10^{-5}	5.62×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	7.38×10^{-5}	8.85×10^{-5}	5.10×10^{-5}	6.11×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.49×10^{-5}	7.78×10^{-5}	4.74×10^{-5}	5.68×10^{-5}
ประปาบ้านเนินสมบุรณ์				
ดันท่อจ่ายน้ำ	8.48×10^{-5}	1.02×10^{-4}	5.42×10^{-5}	6.50×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	7.58×10^{-5}	9.09×10^{-5}	5.12×10^{-5}	6.14×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.46×10^{-5}	7.75×10^{-5}	4.77×10^{-5}	5.72×10^{-5}
ประปาบ้านลำดวน				
ดันท่อจ่ายน้ำ	5.67×10^{-5}	6.80×10^{-5}	4.42×10^{-5}	5.30×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	6.62×10^{-5}	7.94×10^{-5}	4.83×10^{-5}	5.79×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.90×10^{-5}	8.28×10^{-5}	4.89×10^{-5}	5.86×10^{-5}

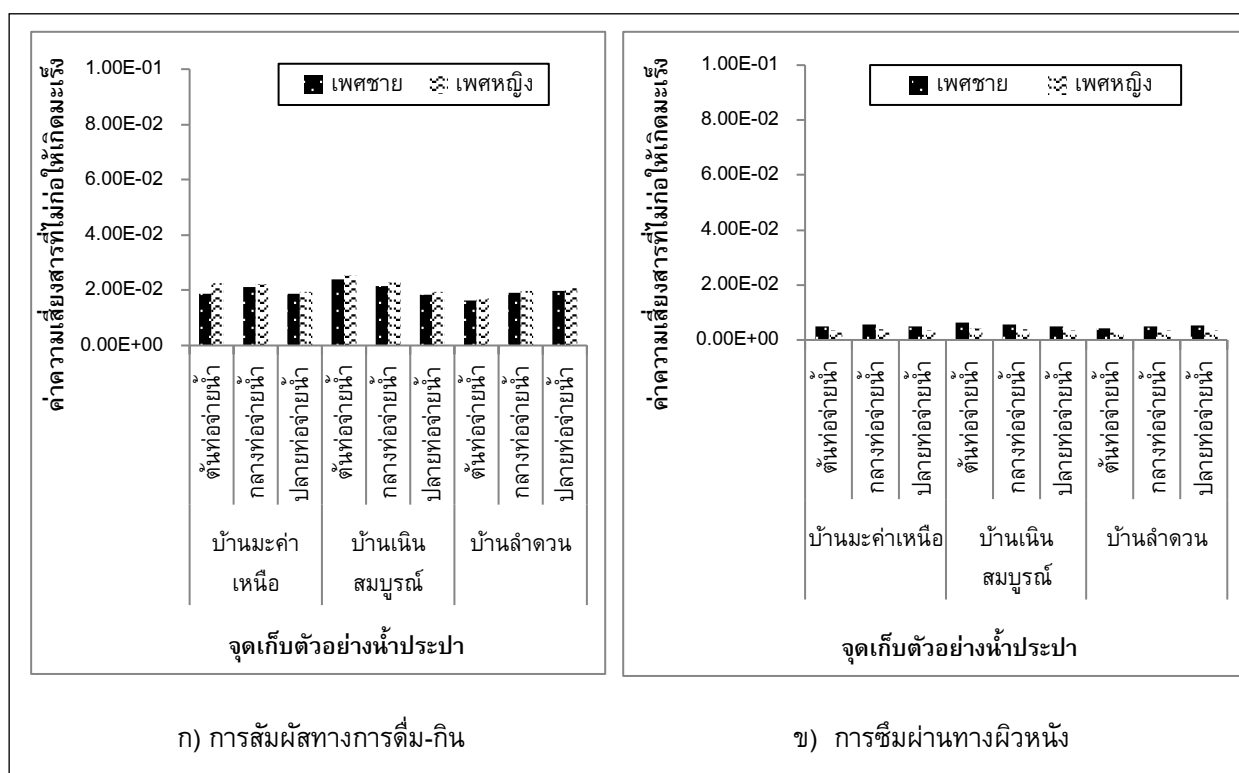
การได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทางผิวหนัง พบว่า การใช้น้ำประปาชุมชนบ้านมะค่าเหนือมีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนังในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.93×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.36×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.34×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 9.37×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน โดยระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านเนินสมบุรณ์มีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนัง ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 2.22×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.56×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.42×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 9.96×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ทั้งนี้ระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 3 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านลำดวนมีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนัง ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.81×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.27×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.28×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 8.98×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการได้รับสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทางผิวหนัง

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารกลุ่ม HAA ₅ (mg/Kg/day)			
	DCAA		TCAA	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
ประปาบ้านมะค่าเหนือ				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	1.70×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.23×10^{-5}	8.62×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.93×10^{-5}	1.36×10^{-5}	1.34×10^{-5}	9.37×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.70×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.24×10^{-5}	8.71×10^{-6}
ประปาบ้านเนินสมบุรณ์				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	2.22×10^{-5}	1.56×10^{-5}	1.42×10^{-5}	9.96×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.99×10^{-5}	1.39×10^{-5}	1.34×10^{-5}	9.41×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.69×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.25×10^{-5}	8.76×10^{-6}
ประปาบ้านลำดวน				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	1.49×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.16×10^{-5}	8.12×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.74×10^{-5}	1.22×10^{-5}	1.26×10^{-5}	8.87×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.81×10^{-5}	1.27×10^{-5}	1.28×10^{-5}	8.98×10^{-6}

3.3.1 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

การศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางน้ำประปา ด้วยการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง จากสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA โดยใช้ค่า HI (Hazard index) ในการแสดงความเสี่ยงทางสุขภาพหาก $HI > 1$ สำหรับในการคำนวณค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference dose, RfD) ที่ใช้ของ DCAA เท่ากับ 4×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ TCAA เท่ากับ 2×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน พบว่า ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง มีค่า $HI > 1$ แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 4

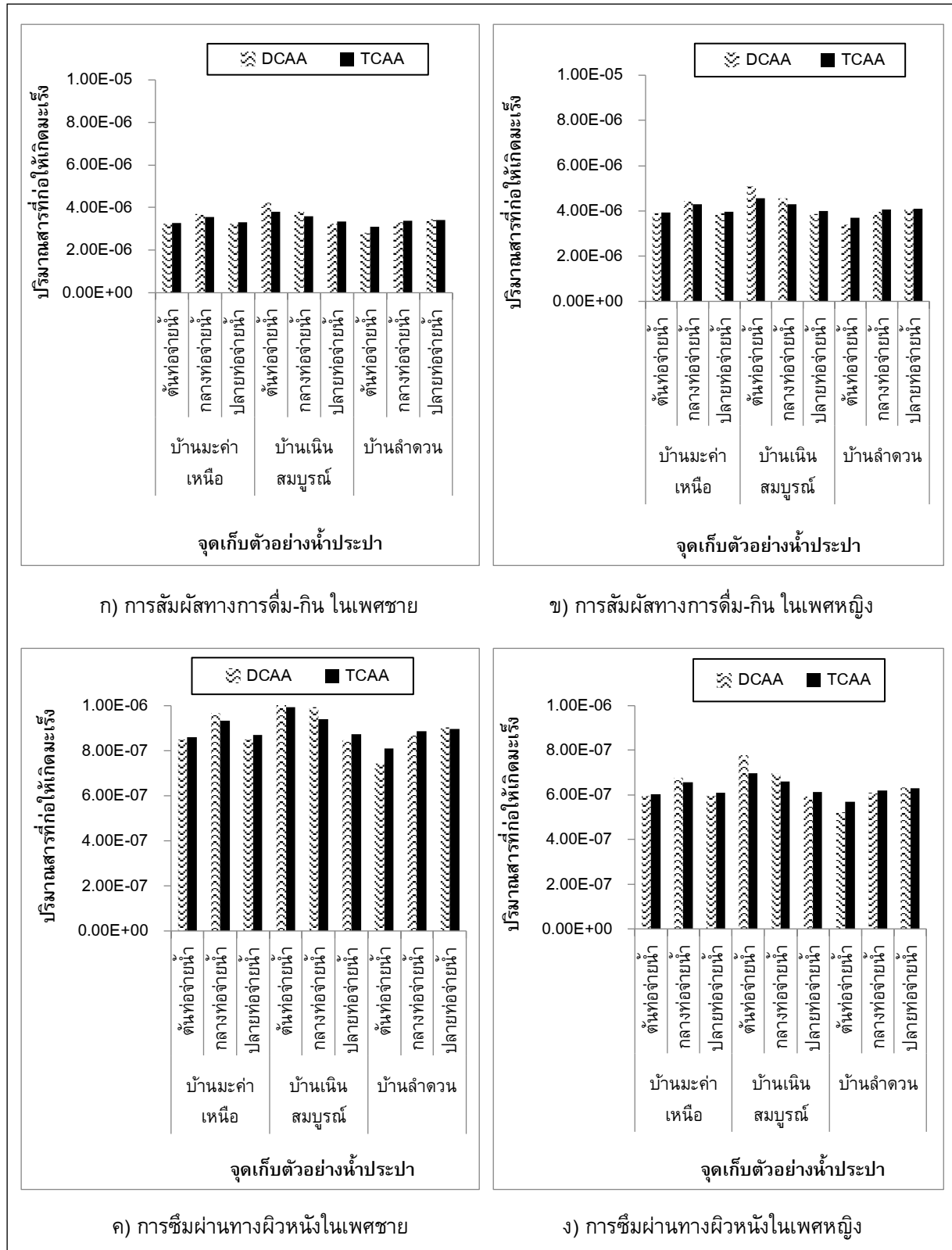


รูปที่ 4 ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

3.3.2 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

การศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางน้ำประปา ด้วยการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง จากสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA โดยใช้ค่า CR (Cancer Risk) ในการแสดงความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการมีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งค่า CR ที่ยอมรับได้ต้องอยู่ในช่วง $<10^{-6} - 10^{-4}$ (น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) ตามคำแนะนำของ US.EPA. สำหรับในการคำนวณค่า Slope factor หากมีค่าสูงแสดงถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งได้สูงเช่นกัน ค่า Slope factor ของ DCAA เท่ากับ 5×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ TCAA เท่ากับ 7×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน พบว่า ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่าน

ทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง มีค่า CR น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4} แสดงว่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

4. สรุปและอภิปรายผล

กรดฮาโลอะซิติก (HAAs) เป็นสารที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งได้ต่อผู้ใช้ น้ำซึ่งเกิดโดยการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยสารคลอรีนที่มากเกินไปจนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์พบได้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดจึงเป็นสิ่งสำคัญและจากการสำรวจคุณภาพน้ำประปาในพื้นที่ตำบลบ้านยาง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำตวน พบคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นที่มีค่า pH เป็นกลาง มีค่า DOC อยู่ในช่วง 7.81-12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าคลอรีนอิสระคงค้างอยู่ในช่วงเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 เส้นทางกระจายน้ำประปา พบ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA₅ สูงที่สุด ในจุดต้นท่อจ่ายน้ำ จุดกลางท่อจ่ายน้ำ และปลายท่อจ่ายน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 433.41 343.38 และ 297 ไมโครกรัมต่อลิตร ของประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ (ทั้ง 2 จุดจ่ายแรก) น้ำประปาของบ้านลำตวน ตามลำดับ ทำให้สารชนิด DCAA และชนิด TCAA สูงตามไปด้วย โดยการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน พบเพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชายเนื่องจากมีระยะเวลา (อายุ) ของการสัมผัสที่นานกว่า และผ่านทางผิวหนังพบเพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิงเนื่องจากพื้นที่ผิวหนังต่อการได้รับสัมผัสที่มากกว่า ซึ่งไม่มีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง (มีค่า HI > 1) และความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า CR น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) ดังนั้นในการจัดการน้ำสะอาดส่วนท้องถิ่นตำบลบ้านยางควรได้รับการอบรมให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในระบบผลิตน้ำประปาเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้น้ำในพื้นที่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเวสเทิร์น และได้รับความอนุเคราะห์จากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านยางสำหรับอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในพื้นที่ รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากประชาชนทั้ง 3 หมู่บ้านของตำบลบ้านยางเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pentamwa, P., Sukton, B., Wongklom, T., and Pentamwa, S. Cancer Risk Assessment from Trihalomethanes in Community Water Supply at Northeastern Thailand. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2013, p. 538-544
- [2] Nissinen, T. K., Miettinen, I. T., Martikainen, P. J., and Vartiainen, T. Disinfection by-products in Finnish drinking waters. *Chemosphere*, 2002. 48(1): 9-20
- [3] การประปานครหลวง. (2553). รอบรู้เรื่องประปา [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.mwa.co.th/>
- [4] Saengchut, P., Karuchit, S., and Pentamwa, P. Investigation of Haloacetic acids (HAAs) levels in water supply and its correlated HAAs formation. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, 2018, 164(1), p. 012023.
- [5] สุตจิต คุรุจิต ประพัฒน์ เป็นตามวา และสิราภรณ์ โพธิ์วิชยานนท์. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ใช้น้ำประปาในเขตเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2560.
- [6] APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Ed. American Public Health Association. Washington, DC, 2012.

- [7] กรมอนามัย กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ. ข้อกำหนดการรับรอง การตรวจสอบคุณภาพน้ำประปาดื่มได้ และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก:กรุงเทพฯ ฯ, 2552.
- [8] APHA, AWWA, and WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington DC: USA, 2005.
- [9] Hong, H. C., Huang, F. Q., Wang, F. Y., Ding, L. X., Lin, H. J., and Liang, Y. Properties of sediment NOM collected from a drinking water reservoir in South China, and its association with THMs and HAAs formation. *Journal of Hydrology*. 476: 274-279, 2013
- [10] Ounsaneha W., Kraisin P., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. and Rattanapan C. Health Risk Assessment from Haloacetic Acids Exposure in Indoor and Outdoor Swimming Pool Water. *Environment Asia Journal*. 10(2), 2017.
- [11] สุกุลยา ทับอุไร. การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิเตรชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554.
- [12] ทศณา เกื้อแสง. การลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการโอโซนเนชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา, 2553.
- [13] US.EPA. *EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products In nd (Ed.), Disinfection By-Products in Drinking Water*. 2 nd ed. United Kingdom, 2012
- [14] IRIS (Integrated risk information system). (2003). Integrated risk information system (Online). Available: <http://www.epa.gov/iris/subst/>

การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการ กายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง

RISK ASSESSMENT OF FORMALDEHYDE IN GROSS ANATOMY LABORATORY IN A UNIVERSITY

ทัตดาว พาหาทรัพย์อนันต์^{1*} ซูรายีนี เจ๊ะสือแม² ซูราญา สามแม² ซัลวานา ยูโซ๊ะ² อิลฮัม บินดามะ²

Taddao Pahasup-anan^{1*} Surainee Chesuemae² Suraya Samae² Salwana Yusoh²

Ilham Bindamae²

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

² นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

*Corresponding author, E-mail: tad_daw@hotmail.com

Received : 19 Jun 2020

Revised : 25 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ทางการหายใจของนักศึกษาทันตแพทย์ในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งขณะเรียนปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ โดยใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงของ United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) การดำเนินงานวิจัยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างสารฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศตามวิธีของ NIOSH Method 2016 โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์และเก็บตัวอย่างในระดับหายใจ โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างชนิด 2,4-dinitrophenylhydrazine และวิเคราะห์หาปริมาณของสารฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ไปประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 0.155 ppm (0.126 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และจากการประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงอายุ (78 ปี) พบว่า มีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเท่ากับ 2.16×10^{-7} ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของ U.S.EPA คือ น้อยกว่า 1×10^{-6} หรือความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งมีน้อยกว่า 1 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน

คำสำคัญ: ฟอร์มัลดีไฮด์, ห้องปฏิบัติการกายวิภาค, การประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง

Abstract

This research is a study to assess the risk of cancer of formaldehyde exposure via inhalation among dental students in a university during gross anatomy laboratory. The cancer risk assessment was determined according to the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). The concentration of formaldehyde (FA) in the gross anatomy laboratory ambient air was collected by following the NIOSH Method 2016. The air sample were collected in the breathing zone using 2,4-dinitrophenylhydrazine coated silica gel tubes, and the concentration was analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The average of FA

concentrations in the anatomy laboratory room was 0.155 ppm (0.126 mg/m³). For the lifetime cancer risk (78 years), the average cancer risk among dental students was 2.16×10^{-7} . The result was within the acceptable level of the EPA criteria, which defined as 1×10^{-6} indicating the risk of cancer less than 1 person per one million people.

Keywords: Formaldehyde, Gross Anatomy Laboratory, Cancer Risk Assessment

1. บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารเคมีที่มีกลิ่นฉุนรุนแรง นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการเป็นสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้และการผลิตไม้อัด และอุตสาหกรรมการผลิตเรซินสังเคราะห์ ตลอดจนถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์ [1] ในทางการแพทย์ ฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปของสารละลายที่เป็นของเหลวหรือเรียกว่าฟอร์มาลิน (Formalin) ที่มีการใช้ในปริมาณสูงในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ เช่น การคงสภาพศพในงานนิติเวชวิทยา นอกจากนี้ยังใช้ในการคงสภาพสิ่งส่งตรวจหรือชิ้นเนื้อเพื่อส่งตรวจหาพยาธิสภาพของโรคต่างๆ ของหน่วยงานด้านพยาธิวิทยาและปรสิตวิทยาในโรงพยาบาล ใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อโรค และใช้ในแช่ดองร่างอาจารย์ใหญ่เพื่อศึกษาในวิชากายวิภาคศาสตร์ของนักศึกษาแพทย์หรือพยาบาล ดังนั้นพื้นที่ในบริเวณห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ เช่น ห้องปฏิบัติการนิติเวชวิทยา ห้องปฏิบัติการพยาธิและปรสิตวิทยา และห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ จึงมีโอกาสมิฉะนั้นจะมีการปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ซึ่งนอกจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในอาคารแล้ว ยังอาจส่งผลกระทบต่อบุคลากรหรือบุคคลที่ต้องไปปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการดังกล่าว เช่น พนักงานรักษาพยาบาล เจ้าหน้าที่ตรวจสอบศพ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ แพทย์ พยาบาล อาจารย์และนักศึกษาแพทย์หรือพยาบาล ซึ่งอาจมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยปะปนอยู่ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการ [2]

มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในกลุ่มนักศึกษาแพทย์ เจ้าหน้าที่ และคณาจารย์ที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการกายวิภาค ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศอียิปต์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอาการคันในตา ระคายเคืองตา น้ำตาไหล แสบจมูก ผิวน้ำหนักผื่นผื่นตกสะเก็ด เป็นผื่น แพ้ ผิวน้ำหนักผื่นผื่นตกสะเก็ด ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ และมีอาการของโรคหอบหืด [3] นอกจากนี้ยังมีการศึกษายืนยันว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ [4] จากการศึกษาเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการปฏิบัติงานกับสารฟอร์มาลดีไฮด์ของบุคลากรห้องปฏิบัติการทางการแพทย์จำนวน 33 คน ที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ห้องปฏิบัติการปรสิตวิทยา และห้องปฏิบัติการนิติเวชวิทยา พบว่าเมื่อพิจารณาความรุนแรงด้านการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บุคลากรส่วนใหญ่ ร้อยละ 57.6 มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง [2] นอกจากนี้ จากการศึกษาความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจของเจ้าหน้าที่ผ่าและรักษาศพ ของโรงพยาบาลรัฐบาลในกรุงเทพมหานคร จำนวน 42 คน โดยใช้หลักเกณฑ์และวิธีการประเมินความเสี่ยงตามแนวทางของ United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) จากการศึกษาประเมินระดับความเสี่ยงปัจจุบัน เมื่อคิดระยะเวลาการสัมผัสตามอายุงานของผู้ปฏิบัติงาน พบว่า ระดับความเสี่ยงเฉลี่ยเท่ากับ $1.97 \times 10^{-4} \pm 2.18 \times 10^{-4}$ หรือมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง 2 คน ต่อประชากร 10,000 คน และหากผู้ปฏิบัติงานทำงานในตำแหน่งเดิมและในสภาพแวดล้อมเดิมจนเกษียณ (อายุ 60 ปี) จะมีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเท่ากับ $5.05 \times 10^{-4} \pm 4.88 \times 10^{-4}$ หรือมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง 5 คน ต่อประชากร 10,000 คน ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ [5] และจากผลการศึกษาความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากการได้รับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ของนักศึกษาแพทย์ที่เรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคส่วนหลัง รยางค์ส่วนบนและรยางค์ส่วนล่าง ในระยะเวลา 1 ปี และการทำนายความเสี่ยงเมื่อได้รับระยะเวลา 2, 5 และ 10 ปี มีระดับความเสี่ยงเฉลี่ยเท่ากับ 3.84×10^{-7} , 7.67×10^{-7} , 1.92×10^{-6} และ 3.84×10^{-6} ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถ้านักศึกษาได้รับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจใน

ห้องปฏิบัติการกายวิภาคสภาพแวดล้อมเดิมเป็นระยะเวลา 5 ปี และ 10 ปี จะมีความเสี่ยงการเกิดมะเร็งอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ตามเกณฑ์ของ U.S.EPA [6]

กลุ่มนิสิตนักศึกษาที่มีการเรียนในห้องปฏิบัติการทางกายวิภาคเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์จากร่างของอาจารย์ใหญ่ (Cadaver) [6] การปฏิบัติตนในห้องปฏิบัติการอย่างขาดการป้องกันที่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่องานสุขภาพ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตการทำงานและการเรียนของผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ของนักศึกษาทันตแพทย์ขณะเรียนปฏิบัติการทางกายวิภาค เพื่อเสนอแนะแนวทางในการควบคุมป้องกันอันตรายต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนทางเฝ้าระวังอันตราย และแนวปฏิบัติสำหรับห้องปฏิบัติการทางกายวิภาคศาสตร์ในสถาบันการศึกษาต่อไปในอนาคต

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการทางกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง โดยชุดอุปกรณ์และวิธีเก็บตัวอย่างอ้างอิงตามมาตรฐานของ National Institute of Occupational Safety and Health: NIOSH (Formaldehyde: Method 2016) [7] โดยทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ พื้นที่ (Area sampling) ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง กระจายไปตามพื้นที่ห้องปฏิบัติการในบริเวณที่เป็นเสมือนตัวแทนการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ของนักศึกษาทันตแพทย์ในขณะเรียน ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะใช้หลอดเก็บตัวอย่างอากาศชนิด 2,4-dinitrophenylhydrazine coated silica gel ต่อเข้ากับปั๊มดูดอากาศชนิดพกพา ที่ผ่านการปรับเทียบความถูกต้องแล้ว โดยใช้อัตราการไหลในการดูดอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 30 นาที โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างให้ตำแหน่งทางเข้าของอากาศอยู่สูงจากพื้นที่ระดับหายใจ (Breathing zone) (รูปที่ 1ก) ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดซ้ำ 2 ครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างครบตามกำหนดเวลา หลอดเก็บตัวอย่างจะถูกบรรจุอยู่ในถุงซิปล็อคและเก็บรักษาอุณหภูมิตามที่วิธีมาตรฐานกำหนดจนมาถึงห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์หาสารฟอร์มาลดีไฮด์ ใช้สาร Acetonitrile (HPLC grade) เพื่อสกัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากหลอดเก็บตัวอย่าง โดยใช้ Syringe ดูดสาร Acetonitrile ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับหลอดตัวอย่าง รองสารที่ถูกสกัดออกมาด้วยขวดวัดปริมาตร ทำการปรับปริมาตรด้วยสาร Acetonitrile ให้สารละลายมีปริมาตรเท่ากับ 5 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารใส่ขวด vial แล้วปิดด้วยฝาที่มีเซฟตี้ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) คอลัมน์ที่ใช้คือ Inertsil ODS-3 (4.0×10 mm, 5 μm) Detector คือ UV ที่ความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร เฟสเคลื่อนที่คือ Acetonitrile:H₂O ในอัตราส่วน 60:40 ทำการหาปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์โดยเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน (Calibration curve) ที่เตรียมขึ้นจากสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 – 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีค่า Correlation of Regression (R²) เท่ากับ 0.9974 และจากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศได้จากสมการ ดังนี้

$$C = [(X_A - X_B) \times V_S] / \text{volume of air} \quad (1)$$

เมื่อ C (μg/m³) คือความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ, X_A (μg/ml) คือความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่าง, X_B (μg/ml) คือความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ใน blank และ V_S ปริมาตรของตัวอย่าง เท่ากับ 5 ml [8] ซึ่งผลการคำนวณความเข้มข้นที่ได้จะนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งต่อไป



รูปที่ 1 ก) การติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาค ข) ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ และ ค) หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

2.3 การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ใช้วิธีการประเมินตามแนวทางของ United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA.) [9] ประเมินจากช่องทางการรับสารผ่านทางการหายใจ ซึ่งเป็นช่องทางหลักของการรับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ การประเมินจะพิจารณาจากระยะเวลาที่นักศึกษาทันตแพทย์ถ้าจะต้องเรียนในห้องปฏิบัติการกายวิภาค โดยใช้ช่วงระยะเวลาการรับสัมผัสของนักศึกษาทันตแพทย์ชั้นปีที่ 1 ที่จะต้องเรียนปฏิบัติการวิชำมหากายวิภาคศาสตร์มนุษย์ 1 และมหากายวิภาคศาสตร์มนุษย์ 2 ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ เพื่อประเมินว่านักศึกษาทันตแพทย์มีโอกาสที่จะได้รับสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านทางการหายใจปริมาณเท่าใด และจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในระดับใด สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อประเมินการรับสัมผัสสารทางการหายใจ (EC) แสดงดังสมการที่ (2) และคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง โดยสมการที่ (3)

$$EC = (C \times ET \times EF \times ED)/AT \quad (2)$$

$$Cancer\ risk = EC \times IUR \quad (3)$$

โดยตัวแปรและความหมายสำหรับการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง แสดงดังตารางที่ 1 ถ้าผลการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง Cancer risk น้อยกว่า 1×10^{-6} หรือความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งน้อยกว่า 1 คน ต่อประชากร 1 ล้านคน แสดงว่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้รับอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ [6,12]

ตารางที่ 1 ตัวแปร ความหมาย และค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย	ค่าตัวแปร
C	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	จากการเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์
ET	จำนวนชั่วโมงการรับสัมผัสต่อวัน	ชั่วโมง/วัน	ระยะเวลาเรียนต่อวัน = 3 ชั่วโมง/วัน
EF	ความถี่การรับสัมผัสต่อปี	วัน/ปี	มีการเรียนปฏิบัติการกายวิภาค = 30 วัน/ปี
ED	ระยะเวลาที่สัมผัส	ปี	ระยะเวลาที่นักศึกษาสัมผัส = 1 ปี
AT	ระยะเวลาที่สารเคมีส่งผลต่อสุขภาพ	วัน	ระยะเวลาเฉลี่ยที่สารเคมีส่งผลต่อสุขภาพ สำหรับการเกิดมะเร็งคือ 78 ปี = 78×365 = 28,470 วัน [10]
IUR	Inhalation unit risk ของฟอร์มัลดีไฮด์	$1/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	$1.3 \times 10^{-5} 1/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ [11]

3. ผลการวิจัย

3.1 ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการ

จากการประเมินปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาค พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์จากการเก็บตัวอย่าง 5 จุด มีค่าเท่ากับ 0.126 ± 0.039 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.155 ± 0.048 ppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในห้องปฏิบัติการกับค่า PEL-STEL ของ OSHA ที่กำหนดไว้เท่ากับ 2 ppm พบว่าค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ไม่เกินจากค่ามาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า TLV-STEL ของ ACGIH ที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.3 ppm พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ไม่เกินจากค่ามาตรฐานเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า REL-C ของ NIOSH ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.1 ppm พบว่าค่าตรวจวัดได้เกินจากที่มาตรฐานกำหนด และสำหรับมาตรฐานของประเทศไทยที่ออกโดยกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสำหรับสารฟอร์มัลดีไฮด์ไว้ 2 ค่า คือ TWA กำหนดไว้ที่ 0.75 ppm และ STEL กำหนดไว้ที่ 2 ppm ซึ่งค่าตรวจวัดได้ไม่เกินมาตรฐาน ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้กับมาตรฐานต่าง ๆ

องค์กรที่กำหนดมาตรฐาน	มาตรฐาน	ค่ามาตรฐาน (ppm)
OSHA	PEL-STEL	2
ACGIH	TLV-STEL	0.3
NIOSH	REL-C	0.1
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน	TLV-TWA	0.75
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน	TLV-STEL	2
ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์สำหรับงานวิจัยนี้		0.155

PEL: Permissible Exposure Limit กฎหมายที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาสำหรับระดับการรับสัมผัสต่อสารเคมี

TLV: Threshold Limit Value มาตรฐานค่าขีดจำกัดการรับสัมผัส

REL: Recommended Exposure Limit แนะนำว่าเป็นระดับความเข้มข้นของสารที่เมื่อได้รับสัมผัสจะไม่อันตรายต่อสุขภาพ

TWA: Time Weighted Average ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารที่รับสัมผัสตลอด 8 ชั่วโมงต่อวัน

STEL: Short Term Exposure Limit ค่าความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัสได้ในช่วงเวลาสั้น (15-30 นาที)

C: Ceiling ค่าความเข้มข้นของสารซึ่งไม่ควรจะให้สูงกว่านี้

3.2 ความเสี่ยงของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อการเกิดมะเร็ง

จากผลการประเมินการรับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ทางการแพทย์ของนักศึกษาทันตแพทย์ถ้าจะต้องเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคในสภาพแวดล้อมที่เก็บตัวอย่างใน 1 ปี พบว่า นักศึกษาทันตแพทย์มีโอกาสที่จะได้รับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านทางหายใจ (EC) เท่ากับ 0.017 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และที่ระดับการรับสัมผัสนี้คำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของนักศึกษาทันตแพทย์ได้เท่ากับ 2.16×10^{-7} ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถ้าหากนักศึกษามีการเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคในสภาพแวดล้อมเดิมเป็นระยะเวลา 2 ปี นักศึกษาทันตแพทย์มีโอกาสที่จะได้รับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านทางหายใจเท่ากับ 0.033 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการทำนายความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเท่ากับ 4.31×10^{-7} ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ความเสี่ยงยอมรับได้ตามเกณฑ์ที่เสนอแนะโดย U.S.EPA. ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การรับสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านการหายใจและความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

ระยะเวลาการรับสัมผัส	การรับสัมผัสทางการหายใจ (EC) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง
1 ปี	0.017	2.16×10^{-7}
2 ปี	0.033	4.31×10^{-7}

4. อภิปรายและสรุปผล

จากผลการประเมินปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.126 ± 0.039 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.155 ± 0.048 ppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานซึ่งเป็นค่าเสนอแนะของ NIOSH- Ceiling ที่กำหนดไว้ว่าค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานต้องไม่เกิน 0.1 ppm พบว่า ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่เสนอแนะไว้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้ในงานวิจัยนี้กับผลการศึกษาที่ผ่านมา อาทิ กมลวรรณ พรหมเทศ และคณะ ที่ทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคระหว่างการเรียนปฏิบัติทางกายวิภาคของนักศึกษาแพทย์พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารเท่ากับ 0.38 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [6] และผลการศึกษาของ Lakchayapakorn และ Watchalayarn ที่ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศแบบพื้นที่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการกายวิภาคระหว่างการเรียนผ่าร่างอาจารย์ใหญ่ของนักศึกษาแพทย์ ซึ่งผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.401 - 0.581 ppm [13] ซึ่งมีค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ แต่จากผลการศึกษาของ แก้ว ขจรไชยกุล ที่ทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคของโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ซึ่งผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 107.57 ppb (0.108 ppm) [14] พบว่า งานวิจัยนี้มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการสูงกว่า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคขึ้นอยู่กับพื้นที่เปิดร่างอาจารย์ใหญ่ อุณหภูมิ ความชื้น [6] และการระบายอากาศ [14] ภายในห้อง

ผลจากการประเมินระดับการรับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ทางการหายใจที่นักศึกษาทันตแพทย์มีโอกาสจะได้รับสัมผัสเมื่อเรียนในห้องปฏิบัติการกายวิภาคในระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 0.017 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และที่ระดับการรับสัมผัสนี้คำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของนักศึกษาทันตแพทย์ได้เท่ากับ 2.16×10^{-7} ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และถ้าหากนักศึกษามีการเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคในสภาพแวดล้อมเดิมเป็นระยะเวลา 2 ปี หากระดับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เท่าเดิม นักศึกษาทันตแพทย์มีโอกาสที่จะได้รับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านทางหายใจเท่ากับ 0.033 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการทำนายความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเท่ากับ 4.31×10^{-7} ซึ่งอยู่ในระดับ

ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ U.S.EPA. ที่เสนอแนะระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่า 1×10^{-6} หรือความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งน้อยกว่า 1 คน ต่อประชากร 1 ล้านคน จากผลการประเมินความเสี่ยงจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการสัมผัสสารเพิ่มมากขึ้น และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์แบบเดิม ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ กมลวรรณ พรหมเทศ และคณะ ซึ่งทำการประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งของนักศึกษาแพทย์ขณะเรียนในห้องปฏิบัติการกายวิภาคใน 1 ปี มีความเสี่ยงเท่ากับ 3.84×10^{-7} และเมื่อทำนายความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารเป็นเวลา 2, 5, และ 10 ปี ระดับความเสี่ยงจะมีค่า 7.67×10^{-7} , 1.92×10^{-6} และ 3.84×10^{-6} ตามลำดับ [6] และเช่นเดียวกันกับผลการศึกษาของ วรกมล บุญโยธิน และคณะ ที่ทำการศึกษารับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ผ่านการหายใจของเจ้าหน้าที่ผ่าและรักษาศพ ซึ่งผลการประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งในปัจจุบันเท่ากับ 1.97×10^{-4} และเมื่อทำนายความเสี่ยงหากพนักงานทำหน้าที่นั้นจนเกษียณ ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจะมีค่าเท่ากับ 5.04×10^{-4} [5] อย่างไรก็ตาม แม้ผลการศึกษาที่พบว่าระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ควรมีมาตรฐานเพื่อควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดความเสี่ยงมีระดับเพิ่มสูงขึ้น เช่น การเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อม (Hazard surveillance) โดยการประเมินปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสิ่งแวดล้อม และการประเมินการรับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ของผู้ที่ต้องปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง และการเฝ้าระวังด้านสุขภาพ (Health surveillance) ได้แก่ การตรวจสุขภาพทั่วไป หรือการตรวจสุขภาพตามปัจจัยเสี่ยง เป็นต้น [15] รวมถึงติดตั้งและควบคุมในห้องปฏิบัติการมีระบบหมุนเวียนหรือระบบระบายอากาศที่เหมาะสม และมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศอย่างสม่ำเสมอ [5] ตลอดจนสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตลอดระยะเวลาที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ และเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น class FFP 2 anti-odor mask, หน้ากาก N-95, หน้ากากอนามัยที่มี activated carbon, แว่นตากันสารเคมี, และถุงมือยาง เป็นต้น [5,13]

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเวสเทิร์น ปีงบประมาณ 2561

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์, “ตรวจการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) ด้วยกรดฟอร์มิก (Formic acid) ได้หรือไม่”, การตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของสารเคมีในอุตสาหกรรม, มุลนิธิสมาอาชีวะ, ชลบุรี, 5 มกราคม, 2562.
- [2] อุมการ ธงสันเทียะ และสุนิสา ซายเกลี้ยง, “การสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ของบุคคลในห้องปฏิบัติการทางกายวิภาค”, วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม, 25(1), 2559, pp. 18-27.
- [3] N.S.M. Elshaer, and M.A.E. Mahmoud, “Toxic Effects of Formalin-treated Cadaver on Medical Students, Staff Members, and Workers in The Alexandria Faculty of Medicine”, *Alexandria Journal of Medicine*, 53(2017), 2017, pp. 337-343.
- [4] International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans Vol. 100F – Chemical agents and related occupations*, Lyon: IARC, 2012.
- [5] วรกมล บุญโยธิน, วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์ และทัศนพงษ์ ตันติปัจพร, “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจของเจ้าหน้าที่ผ่าศพและรักษาศพ”, *วารสารเวชสารแพทย์ทหารบก.* 71(1), 2561, pp. 39-49.
- [6] กมลวรรณ พรหมเทศ, อรรวรรณ แก้วบุญชู, กิตติพงษ์ หาญเจริญ, และฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล, “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของการรับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิสิตแพทย์ระหว่างเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาค”. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 29(1-2), 2557, pp. 8-22.

[7] National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), "Formaldehyde: Method 2016", NIOSH Manual of Analytical Methods (MNAM) Fourth Edition, 2003.

[8] N. Kanjanasiranont, T. Prueksasit, D. Morknuy et al., "Determination of ambient air concentrations and personal exposure risk levels of outdoor workers to carbonyl compounds and BTEX in the inner city of Bangkok, Thailand", *Atmospheric Pollution Research*, 7, 2016, pp. 268-277.

[9] United States Environmental Protection Agency. (2020, June, 17). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment), [Online] Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf.

[10] United States Environmental Protection Agency. (2020, June, 17). Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report) EFH: Chapter 18 Lifetime, [Online] Available: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>.

[11] United States Environmental Protection Agency. (2020, June, 17). Formaldehyde; CASRN 50-00-0, [Online] Available: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0419_summary.pdf.

[12] N. Kanjanasiranont, T. Prueksasit, and D. Morknuy, "Inhalation exposure and health risk levels to BTEX and carbonyl compounds of traffic policeman working in the inner city of Bangkok, Thailand", *Atmospheric Environment*, 152, 2016, pp. 111-120.

[13] K. Lakchayapakorn and P. Watchalayarn, "Formaldehyde Exposure of Medical Students and instructors and Clinical Symptoms during Gross Anatomy Laboratory in Thammasat University", *J Med Assoc Thai*, 93(7), 2010, pp. 92-97.

[14] แก้ว ขจรไชยกุล, "การตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล". *วิทยานพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาลัยมหิดล*, 2543.

[15] สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค. (2563, มิถุนายน. 18). แนวทางการเฝ้าระวังสุขภาพในสถานประกอบการที่มีการใช้สารฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับเจ้าหน้าที่สาธารณสุข, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/731>.

ระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยวโดยเทคนิคนาอียเบย์

TOURISM ATTITUDE CLASSIFICATION SYSTEM USING NAIVE BAYES
TECHNIQUEธีระพล ลิ้มศรีธา¹ ทรงพล นครเศรษฐ์ศักดิ์^{2*} สุทธิลักษณ์ ชุนประวัต³Theerapol Limsatta¹ Songpon Nakharacruangsak^{2*} Suttilug Choonprawat³^{1, 2} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก³ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*Corresponding author, E-mail: songpon@southeast.ac.th

Received : 23 April 2020

Revised : 20 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาโปรแกรมระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยวในข้อบกพร่องและลบ โดยใช้เทคนิคนาอียเบย์ และประเมินประสิทธิภาพของระบบทัศนคติการท่องเที่ยวโดยใช้เมตริกของความแม่นยำ การระลึกได้ ค่าทดสอบเอฟ (F-measure) และค่าความถูกต้อง โดยใช้ข้อมูลวิจารณ์การท่องเที่ยวในประเทศจาก Google Map และจากเว็บไซต์ทริปแอดไวเซอร์ ของนักท่องเที่ยวไทย ผลการพัฒนาโปรแกรมระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยวพบว่า โปรแกรมสามารถวิเคราะห์เพื่อจำแนกความรู้สึกจากข้อความจากข้อความทั่วไปได้ แต่อาจจะมีปัญหากับประโยคที่มีความหมายกำกวม ไม่แน่ชัด เช่น ไม่ถึงกับไม่ดี ไม่ถึงกับไม่แย่ เป็นปัญหาต่อการตัดคำและความเข้าใจของโปรแกรม ทำให้การให้คะแนนผิดพลาดไป ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยวด้วยเอกสารทดสอบที่แตกต่างเอกสารที่ใช้ในการสร้างโมเดล จำนวน 120 เอกสาร ให้ค่าการระลึก ค่าความแม่นยำ และค่าทดสอบเอฟ มีค่า 80, 100, และ 120 ตามลำดับ ได้ผลดังเฉลี่ยจากทั้ง 3 โมเดล ดังนั้นการระลึก มีค่าเฉลี่ยที่ 0.86 ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ยที่ 0.80 ค่าทดสอบเอฟ มีค่าเฉลี่ยที่ 0.80 และมีค่าความถูกต้อง 0.80

คำสำคัญ : ทัศนคติการท่องเที่ยว, นาอียเบย์

Abstract

The purposes of this research study are to develop the program for distinguishing the positive and negative tourism attitudes by using the Naive Bayes technique and to evaluate the efficiency of the tourism attitude system by using accuracy matrices, recognitions, F-measure and correctness. The data were Thai tourists' reviews about domestic tourism from Google Map and TripAdvisor website. It was found that the program could analyze and distinguish the feelings from general texts. However, there might be problems about sentences with unclear sentences and phrases such as not really bad. These texts were problematic for cutting words and interpreting by the program. Consequently, scores are incorrect. By evaluating the efficiency of the system with 120 different documents for creating models; the recognition, accuracy and F-measure values are 80, 100 and 120, respectively. The averages from the three models are as follows. The average recognition is 0.86. The average accuracy is 0.80. The average F-measure is 0.80. The average correctness is 0.80.

Keyword : tourism attitudes, naive bayes

1. บทนำ

อินเทอร์เน็ตได้กลายเป็นช่องทางสำหรับการติดต่อสื่อสารสำคัญสำหรับสังคมยุคใหม่ ทำให้ส่วนใหญ่คุ้นเคยกับการใช้ชีวิตในสังคมออนไลน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เฟซบุ๊ก (Facebook) ยูทูบ (YouTube) เป็นต้น เว็บไซต์ต่าง ๆ เป็นแหล่งแลกเปลี่ยนและแสดงความคิดเห็น ที่สำคัญมากในปัจจุบัน รวมทั้งยังเป็นแหล่งสืบค้นข้อมูลที่มีผู้ใช้จำนวนมาก และผู้ที่ใช้อินเทอร์เน็ตเป็นผู้ที่สร้างข้อมูลในหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น ข้อความ หรือรูปภาพ ต่างทำให้มีข้อมูลอย่างมากมายมหาศาลบนโลกอินเทอร์เน็ต ที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่จะเรียกว่า บิ๊กดาต้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ความรู้สึก (sentiment analysis) โดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ ของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (natural language processing) ในการระบุข้อความความรู้สึก (sentiment polarity) ของข้อความซึ่งมักจำแนกออกเป็น 2 ขั้ว คือ ขั้วบวก (positive) และขั้วลบ (negative)

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความรู้สึกเนื่องจากการวิเคราะห์ความรู้สึกนี้ เป็นประโยชน์มากต่อการประกอบการในยุคปัจจุบัน ซึ่งสินค้าหรือบริการหนึ่ง ๆ มักมีผู้ใช้จำนวนมาก ทำให้มีปริมาณข้อมูลการวิจารณ์เพิ่มมากขึ้นบนเว็บไซต์ต่าง ๆ ตามไปด้วย การวิเคราะห์ความรู้สึกนี้ จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้สรุปความคิดเห็นที่นักท่องเที่ยวมีต่อสถานที่นั้น ๆ ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งนักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการนั้น ๆ กล่าวคือ หากนักท่องเที่ยวอยากทราบว่าสถานที่ที่ตนสนใจมีคุณภาพดีมากแค่ไหนก่อนจะตัดสินใจไปท่องเที่ยว ก็สามารถค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่นั้น ๆ บนอินเทอร์เน็ตได้ และเมื่อไปท่องเที่ยวแล้ว ก็อาจเขียนคำวิจารณ์ของสถานที่นั้นไว้สำหรับผู้ที่ต้องการท่องเที่ยวคนอื่น ๆ ส่วนสถานประกอบการก็สามารถนำบทวิจารณ์ด้านลบ กลับมาปรับปรุงสถานที่ของตนเองให้ดีขึ้นได้ หรืออาจนำบทวิจารณ์ด้านบวกมาใช้ปรับเปลี่ยนแนวทางการทำการตลาดต่อไปได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจำแนกความรู้สึกจากความเห็นเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในบทวิจารณ์ออนไลน์ด้วยเทคนิคนาอ็ฟเบย์
2. สร้างส่วนปฏิสัมพันธ์ให้สามารถใช้งานเพื่อการจำแนกความรู้สึกได้สะดวก

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ได้ทำวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ความรู้สึกแบบอัตโนมัติจากข้อความแสดงความคิดเห็น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความรู้สึกของนักท่องเที่ยวที่มีการเขียนในรูปแบบของข้อความบนโซเชียลมีเดียเป็น 2 กลุ่มความรู้สึก คือ นักท่องเที่ยวความรู้สึกที่ดี และนักท่องเที่ยวที่ความรู้สึกที่ไม่ดีต่อสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้เข้าชม โดยงานวิจัยได้พัฒนาโมเดลเพื่อการวิเคราะห์ ความรู้สึก โดยทำการจัดกลุ่มเอกสารแบบนาอ็ฟเบย์ และทำการทดสอบด้วยการวัดค่าเอฟผลลัพธ์ที่ได้มานั้นได้แสดงว่าวิธีที่ใช้ในการนำเสนอ สามารถวิเคราะห์เนื้อหา จากความถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างในแต่ละจุดซ้ำ 2 ครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างครบตามกำหนดเวลา หลอดเก็บตัวอย่างจะถูกบรรจุอยู่ในถุงซิปล็อคและเก็บรักษาอุณหภูมิตามที่วิธีมาตรฐานกำหนดจนมาถึงห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์

[2] ได้ทำวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ความคิดเห็นภาษาไทยเกี่ยวกับการรีวิวสินค้าออนไลน์โดยใช้ขั้นตอนวิธีชัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์ โดยมียุทธศาสตร์เพื่อนำเสนอวิธีการจำแนกความคิดเห็น โดยการวิเคราะห์ความคิดเห็นภาษาไทย เกี่ยวกับการรีวิวสินค้าออนไลน์ ด้านการบริการห้องพัก โรงแรม รีสอร์ท จาก Agoda Thailand และ Twitter Thailand ที่จดทะเบียนหลักทรัพย์ โดยเก็บข้อมูลจำนวน 2,890 ข้อมูล โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อความ วิเคราะห์ความคิดเห็นภาษาไทยเกี่ยวกับการรีวิว สินค้าออนไลน์ และสร้างแบบจำลองด้วยอัลกอริทึม 4 วิธี ได้แก่ ชัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์ ต้นไม้ตัดสินใจ นาอ็ฟเบย์ และเคเนียร์สเนเบอร์ เพื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ความคิดเห็น

ภาษาไทย เกี่ยวกับการรีวิวสินค้าออนไลน์ จากการทดลอง พบว่า คุณลักษณะที่ดีที่สุด คือ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ระดับรองลงมาเป็น นาอียเบย์ , ต้นไม้ตัดสินใจ และเคเนีย เรสเนเบอร์ ตามลำดับ

[3] ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นสำหรับโรงแรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นสำหรับโรงแรม เป็นระบบที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบการแสดงความคิดเห็นด้วยภาษาธรรมชาติโดยอาศัยหลักการการวิเคราะห์และสรุปผลจาก ทัศนคติในระดับคุณลักษณะทำให้ข้อมูลการแสดงความคิดเห็นอยู่ในรูปแบบที่เป็นข้อมูลสรุปให้เข้าใจได้ง่ายในรูปแบบกราฟิก โดยสามารถเลือกกลับไปดูข้อความแสดงความคิดเห็นที่ถูกนำมาวิเคราะห์ในหัวข้อของมุมมองที่สนใจได้

[4] ได้นำเสนอเรื่องการทำการวิเคราะห์ความรู้สึก จากวิเคราะห์อารมณ์และความรู้สึกจากข้อความ เพื่อบ่งบอกความรู้สึกของผู้คนที่มีต่อบางสิ่งบางอย่าง เช่น ความรู้สึกดี หรือ ความรู้สึกที่ไม่ดี ตัวอย่างเช่น เขาเป็นคนดี ช่วยแมวที่กำลังจะตกจากอาคารสูง น่าชื่นชมนะ อันนี้คือ ความรู้สึกดีเขาทำงานบกพร่องจนทำให้มีคนเดือดร้อน อันนี้คือ ความรู้สึกที่ไม่ดี

[5] ได้ทำวิจัยเรื่องการสร้างคลังศัพท์บอกความรู้สึกในภาษาไทยจากบทวิจารณ์ออนไลน์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างคลังศัพท์บอกความรู้สึกจากบทวิจารณ์สินค้าและบริการออนไลน์ โดยวิธีการประมวลภาษาทางธรรมชาติ และเลือกแหล่งข้อมูลจากบทวิจารณ์ของโรงแรม บทวิจารณ์ภาพยนตร์ของโรงภาพยนตร์ และบทวิจารณ์แอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ โดยวิเคราะห์และให้คะแนนจากคำบอกเล่า วิเคราะห์ความรู้สึกจากข้อมูลของบทวิจารณ์ ซึ่งความรู้สึกจะเกิดขึ้นจากคำอธิบายลักษณะของสินค้า มีทั้งบวกและลบ ซึ่งดูได้จากค่า tf-idf เชิงบวกและเชิงลบซึ่งคำนวณจากค่าการปรากฏในกลุ่มข้อมูลบทวิจารณ์ที่มีการให้คะแนนเชิงบวกและเชิงลบตามลำดับ

[6] ได้นำเสนอและอธิบาย 10 Metrics พื้นฐานสำหรับวัดผลโมเดล Machine Learning ไว้ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการใช้วัดผลความแม่นยำของโมเดลที่สร้างขึ้น 10 Metrics อันประกอบไปด้วย Regression – MAE, MSE, RMSE, R2 Classification – Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, F-Beta Score, AUC

4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ Python

1.2 โปรแกรมที่ใช้พัฒนา ได้แก่ Pycharm

1.3 ชุดโปรแกรมที่ใช้พัฒนา ได้แก่ Natural Language Toolkit, Natural Language Process, scikit-learn

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 รวบรวมข้อมูลการให้ความเห็นเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว จากแหล่งข้อมูล 2 แหล่งคือ จากข้อความวิจารณ์ของ Google Map (<https://www.google.co.th/maps>) และเว็บไซต์ทริปปอดไวเซอร์ (<https://th.tripadvisor.com>) ของนักท่องเที่ยวไทย ที่เป็นภาษาไทย จำนวน 300 ตัวอย่าง และเพื่อการทดสอบ 200 ตัวอย่าง ในช่วงปี 2560 - 2561

2.2 จัดระเบียบข้อมูลในรูปแบบที่พร้อมจะนำไปประมวลผลได้ง่าย ในรูปแบบไฟล์ CSV

2.3 พัฒนาระบบ และออกแบบระบบ

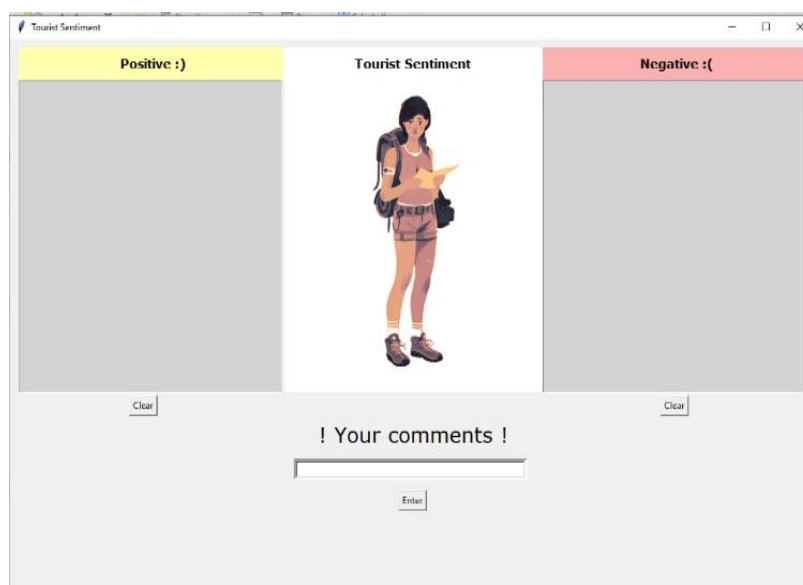
2.4 ทดลองใช้ระบบ และประเมินประสิทธิภาพ

3. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นาอียเบย์ การระลึกได้ ความแม่นยำ ค่าทดสอบเอฟ และ ความถูกต้อง

5. ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนากระบวนการจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว

การใช้งานโปรแกรมจะทำการดึงข้อมูลที่เตรียมไว้จาก pos.txt และ neg.txt มาไว้ใน list จากนั้นก็จะทำการติดแท็กที่แต่ละประโยคว่าเป็น positive หรือ negative จากนั้นโปรแกรมก็จะนำประโยคที่ได้มาตัดคำออกจากประโยคโดยใช้ Pythainlp แล้วหาเวกเตอร์ของคำแล้วประมวลผลด้วยอัลกอริทึม Naïve-Bayes เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ ทำงานโดยการนำประโยคไปใส่ไว้ในไฟล์ pos.txt และ neg.txt และโปรแกรมจะนำเข้ามาเก็บไว้ใน list Pos = สถานที่ที่สวยงาม Neg = สถานที่ที่แย่มาก แล้วจาก list ทำการแท็กที่ประโยคว่าเป็น pos หรือ neg ในรูปแบบ [(สถานที่ที่สวยงาม,'pos'), (สถานที่ที่แย่มาก,'neg')] จากนั้นนำมาตัดคำออกจากประโยค {'นี่', 'สถานที่', 'สวยงาม', 'แย่มาก'} จากนั้นนำคำที่ผ่านการตัดแล้วไปวนลูปในแต่ละประโยคเพื่อหาความถี่ของคำ เมื่อเจอคำในประโยคจะคืนค่า True หากไม่เจอจะคืนค่า False ({'แย่มาก': False, 'สวยงาม': True, 'นี่': True, 'สถานที่': True}, 'positive') ({'แย่มาก': True, 'สวยงาม': False, 'นี่': True, 'สถานที่': True}, 'negative') จากการทดลองนี้ได้ทำการเพิ่มประโยคไปอีกอย่างละ 1 ประโยคเพื่อให้สามารถให้น้ำหนักคำได้ แย่มาก = False pos : neg = 1.7 : 1.0 สวยงาม = False neg : pos = 1.7 : 1.0 ดี = False neg : pos = 1.7 : 1.0 ไม่ดี = False pos : neg = 1.7 : 1.0 นี่ = True neg : pos = 1.0 : 1.0 สถานที่ = True neg : pos = 1.0 : 1.0 ผลจากการนำไปประมวลผลผ่านอัลกอริทึม Naïve-Bayes ในที่นี้ True คือเมื่อพบข้อความ False คือเมื่อไม่พบข้อความ กรณีตัวอย่าง เช่น แย่มาก = False คือ ถ้าหากไม่พบข้อความว่า “แย่มาก” ก็จะมีน้ำหนักไปทางฝั่ง positive = 1.7



รูปที่ 1 หน้าแรกของระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว

จากรูปที่ 1 เมื่อเข้ามาในโปรแกรมแล้วจะมีชื่อของโปรแกรม Tourist Sentiment จะสังเกตเห็นได้ว่าจะมีช่องสำหรับกรอกข้อความอยู่ข้างล่าง ตัวหนังสือที่เขียนว่า Your comments ให้ใส่ประโยคที่เราต้องการวิเคราะห์หลังไปในช่องว่าง จากนั้นกด Enter และจะมีช่องสำหรับผลลัพธ์ทางฝั่ง Positive และ Negative อยู่ทางด้านซ้ายและขวาและมีปุ่ม clear ไว้สำหรับลบข้อความที่แสดงผล

รูปที่ 2 หน้าแรกของระบบ Classification ทัศนคติการท่องเที่ยว โดย Naïve-Bayes

จากรูปที่ 2 เมื่อกรอกข้อความเสร็จแล้วทำการกดปุ่ม Enter โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลจากนั้นจะได้ผลลัพธ์ออกมาทางด้านซ้ายและขวา ถ้าเป็นซ้ายบวก ก็จะแสดงทางด้านซ้าย ถ้าเป็น ข้างลบก็จะแสดงทางด้านขวา

2. ผลการประเมินความแม่นยำของระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว

การประเมินประสิทธิผลของการค้นค้นสารสนเทศ ได้ทำการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิผลด้วยค่าความแม่นยำ (Recall) และค่าแม่นยำ (Precision) เป็นค่าการวัดประสิทธิภาพพื้นฐานในการจัดกลุ่มเอกสาร เพื่อประเมินค่ารวมของค่าทดสอบเอฟ (F) และความถูกต้อง (Accuracy) เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองการจัดกลุ่มเอกสาร เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความรู้สึก ด้วยเอกสารทดสอบที่แตกต่างเอกสารที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จำนวน 120 เอกสาร ด้วยค่าความระลึก ค่าความแม่นยำ ให้ค่าทดสอบเอฟ และความถูกต้อง โดยพิจารณาจากจำนวนเอกสาร ที่ละกลุ่มด้วยจำนวนที่ต่างกัน คือ 80, 100, และ 120 ตามลำดับ สามารถแสดงผลของการทดสอบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความแม่นยำของระบบจำแนกทัศนคติการท่องเที่ยว

แบบจำลอง	Recall	Precision	F-measure	Accuracy
แบบจำลองที่สร้างจากข้อความ ข้อความ 80	0.73	0.84	0.78	0.78
แบบจำลองที่สร้างจากข้อความ ข้อความ 100	0.93	0.73	0.81	0.80
แบบจำลองที่สร้างจากข้อความ ข้อความ 120	0.93	0.73	0.83	0.83
เฉลี่ย	0.86	0.80	0.80	0.80

จากตารางที่ 1 การทดสอบแบบจำลองการจัดกลุ่มเอกสารที่ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความรู้สึก ให้ผลการทดสอบอย่างน่าพึงพอใจ เพราะเมื่อทดสอบด้วยค่าความถูกต้องมีค่าเฉลี่ยที่ 0.80

5. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อความที่แสดงความรู้สึกแบบอัตโนมัติของนักท่องเที่ยวที่มีต่อสถานที่ท่องเที่ยวในประเทศไทยที่มีการแสดงออกไว้ในข้อความแสดงความรู้สึกผ่านสื่อสังคมออนไลน์ต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความรู้สึกที่ดี และความรู้สึกที่ไม่ดีต่อสถานที่ท่องเที่ยว โดยใช้เทคนิคนาอียเบย์ ซึ่งในขั้นตอนของการวัดประสิทธิภาพการจัดข้อ จะมีการสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ความรู้สึกโดยใช้ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกค่าทดสอบเอฟ และค่าความถูกต้องเมื่อทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพของการสร้างจำลองในการค้นคืน พบว่าค่าความถูกต้อง และค่าทดสอบเอฟ เฉลี่ยได้เท่ากับ 0.80 แม้จากผลการทดสอบจะให้ ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ แต่ก็ยังพบความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการรวบรวมเอกสารจากสื่อสังคมออนไลน์นั้น มีเอกสารหลายฉบับที่ใช้ประโยคกำกวม ไม่ชัดเจนว่าจะแสดงความรู้สึกทางด้านไหนมากกว่ากัน ส่งผลให้แบบจำลองที่สร้างมา เพื่อวิเคราะห์ความรู้สึกมีความผิดพลาด ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ลดต่ำลงได้

6. ข้อเสนอแนะ

ระบบวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการท่องเที่ยวสามารถที่จะวิเคราะห์ข้อความแสดง ความคิดเห็นเกี่ยวกับการท่องเที่ยวได้ แต่เนื่องจากข้อความแสดงความคิดเห็นภาษาไทยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงทำให้ยังมีข้อผิดพลาดอยู่ หากผู้พัฒนาอยากนำไปพัฒนาต่อ ควรพัฒนาอัลกอริทึมที่ทำการตัดประโยคสำหรับการวิเคราะห์ความรู้สึกโดยเฉพาะโดยใช้การตัดคำร่วมกับคลังคำวิเคราะห์ความรู้สึก ซึ่งหาได้จากงานวิจัยทางภาษาศาสตร์ ซึ่งอาจใช้คำหลายคำร่วมกันมากกว่าจะตัดเป็นแยกในแบบการตัดคำทั่วไป หากมีการปรับปรุงหรือแก้ไขเพิ่มเติมก็จะสามารถทำให้ระบบวิเคราะห์ ข้อความแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการท่องเที่ยวสามารถวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการท่องเที่ยวได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถนำไปปรับใช้กับการวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นในหัวข้ออื่นที่น่าสนใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เจตรินทร์ วงศ์ศิลป์ ญัฐกิตติ ศรีกาญจนเพริศ และจันทิมา พลพินิจ. (2560). การวิเคราะห์ความรู้สึกแบบอัตโนมัติจากข้อความแสดงความคิดเห็น. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 15 (NCCIT2015)*, 2560, หน้า 1-6. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] วิสสุตา และ นิเวศ. (2560). การวิเคราะห์ความคิดเห็นภาษาไทยเกี่ยวกับการรีวิวสินค้าออนไลน์ โดยใช้ขั้นตอนวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน. สืบค้นวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก ejsu.siam.edu/journals/PDF_34/EJSU_No.34_pp_1-12.pdf
- [3] วรัญญา. (2553). ระบบวิเคราะห์ข้อความแสดงความคิดเห็นสำหรับโรงแรม. สืบค้นวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก thailang.nectec.or.th/halloffame/images/stories/best/download/13p33c001.pdf/
- [4] วรณพงษ์. (2558). การประมวลภาษาธรรมชาติด้วยภาษาไพทอน. สืบค้นวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก <https://python3.wannaphong.com/2015/10/blog-post.html>
- [5] วรณพงษ์. (ม.ป.ป.). คู่มือการใช้งาน PyThaiNLP 1.4. สืบค้นวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก <https://pythainlp.readthedocs.io/en/latest/pythainlp-1-4-thai/>
- [6] อิศราภาพ ล้อรัตนไชยวงศ์. (2560). การสร้างคลังคำศัพท์บอกความรู้สึกในภาษาไทยจากบทวิจารณ์ออนไลน์ [อ.ม. สาขาภาษาศาสตร์]. กรุงเทพฯ: คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] Kasidis. (2560). อธิบาย 10 Metrics พื้นฐานสำหรับวัดผลโมเดล Machine Learning. สืบค้นวันที่ 8 สิงหาคม 2562, จาก <https://datarockie.com/2019/03/30/top-ten-machine-learning-metrics/>

การออกแบบและหาประสิทธิภาพเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลง โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง

DESIGN AND EFFICIENCY OF DOWNDRAFT GASIFIER USING WASTE FROM PROCESSING OF CASHEW NUT AS FUEL

พิทักษ์ คล้ายชม^{1*} สิงหเดช แท่งจวง² พรทิพพา พิณญาพงษ์³

Pitak Khlaichom^{1*} Singhadej Tangjuank² Porntippa Pinyaphong³

Received : 14 May 2020

Revised : 30 Jun 2020

Accepted : 30 Jun 2020

^{1*} นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

² รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

* Corresponding author E-mail: pitak.khl@uru.ac.th

บทคัดย่อ

การนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ หากนำไปใช้กับเตาแก๊สซิฟิเออร์จะทำให้ใบพัดของเครื่องเป่าลมและชุดวาล์วต่าง ๆ อุดตันเสียหายได้ง่าย เนื่องจากในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณน้ำมัน CNSL จำนวนมาก จึงจำเป็นต้องสกัดน้ำมัน CNSL ออกก่อนจะเหลือเป็นกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลงชนิด V-Hearth มีขนาด 130 kW การสร้างและติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชัน ประกอบด้วย เตาแก๊สซิฟิเออร์ ไซโคลนสกริบเบอร์ และหัวเผา อาศัยแรงเหวี่ยงนำของสกริบเบอร์แบบเวนจูรีจำนวน 2 ชุด สร้างแรงดูดอากาศเข้าสู่เตาทดแทนการใช้เครื่องเป่าลม พร้อมทั้งศึกษาความหนาแน่น องค์ประกอบ ค่าความร้อนของกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเออร์

ผลการวิจัย พบว่า กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 486 kg/m^3 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) มีสัดส่วนร้อยละ 54.09 6.08 38.35 1.38 ตามลำดับ มีค่าความร้อนเท่ากับ $21,217 \text{ kJ/kg}$ ในการศึกษาประสิทธิภาพเตาแก๊สซิฟิเออร์ สามารถวัดความเร็วอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาได้ 2.6 m/s มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 11.4 kg/hr คิดเป็นอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.22 วัดอัตราการไหลของแก๊สได้ $26.79 \text{ m}^3/\text{hr}$ องค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) มีสัดส่วนร้อยละ 16 9.7 1.5 ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สเท่ากับ 3.605 MJ/Nm^3 และระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 39.92 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลงชนิด V-Hearth, กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

Abstract

Using cashew nut as fuel in gasifier causes air pollution problems. It will easily damage the blower blades and valve sets of the gasifier. Since the cashew nut shell contains a large amount of CNSL oil, it is necessary to firstly extract the CNSL oil so that it still remains as cashew nut shell waste. The objective of this research is to design and study the efficiency of a downdraft gasifier suitable for using cashew nut shell waste as fuel. The principle is to design a V-Hearth downdraft gasifier with a size of 130 kW. Construction and installation of a gasification system consists of gasifier, cyclone, scrubber and burner by adopting the induction force of 2 sets of Venturi scrubber in order to produce air suction to the stove instead of using the blower. This research also studies the density, composition, calorific value of cashew nut shell waste, as well as analyzes the thermal efficiency of the gasifier.

The results significantly show that the cashew nut shell waste density has an average density of 486 kg/m³, with the percentage proportion of elements such as carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O) and nitrogen (N) of 54.09, 6.08, 38.35, 1.38, respectively, also calorific value is 21,217 kJ/kg. Furthermore, the outputs also expose the efficiency of the gasifier can be able to measure the speed feeding air to the gasifier which is 2.6 m/s with fuel consumption rate: 1.4 kg/hr, the air to fuel ratio: 2.22, the gas flow rate: 26.79 m³/hr. Compositions of the gas producer are included carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂) and methane (CH₄) with 16, 9.7, 1.5 percent respectively. The heat value of the gas producer is 3.605 MJ/Nm³ while the thermal efficiency of the gasification system using cashew nut shell is 39.92 percent.

Keywords: V-Hearth downdraft gasifier, Cashew nut shell waste

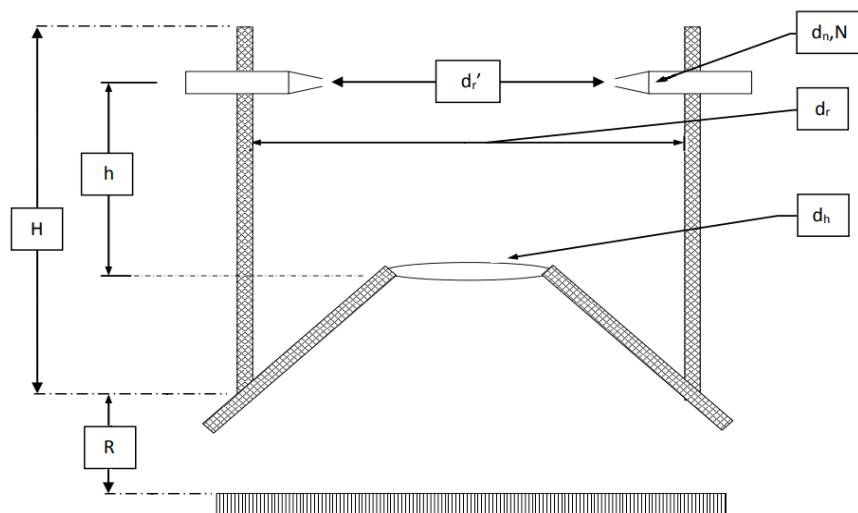
1. บทนำ

ปี 2561ประเทศไทยมีผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 21,058 ตันต่อปี [1] เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปจะทำให้เกิดเศษวัสดุที่เหลือทิ้ง คือเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นจำนวนมาก โดยมีสัดส่วนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อปริมาณผลผลิตเท่ากับ 0.74 ตันต่อตันผลผลิต มีค่าความร้อน 5.49 MJ/kg ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานชีวมวลทดแทนการใช้น้ำมันดิบและไฟฟ้าได้ [2] อย่างไรก็ตาม การนำเปลือกมะม่วงหิมพานต์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาตรงจะเกิดปัญหาล้างแวล้อม กลิ่นเหม็นฉุน ฝุ่นละอองและหมอกควันเป็นมลพิษทางอากาศ หากนำไปใช้กับเตาแก๊สชีฟิเออร์ (Gasifier) จะทำให้ชุดวาล์ว ใบพัดของเครื่องเป่าลม และชิ้นส่วนต่าง ๆ อุดตันเสียหาย [3] เนื่องจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid : CNSL) เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 35.10 [4] น้ำมัน CNSL มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลคล้ำ เหนียวข้น มีกลิ่นฉุน คุณสมบัติทนความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานถึง 200 °C มีการนำน้ำมัน CNSL ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างมากมาใช้ในการแพทย์และอุตสาหกรรม [5] ดังนั้นจึงควรสกัดแยกน้ำมัน CNSL ออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ก่อน ด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวอัด (Screw Press) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ 22.08 [6] แล้วจึงนำกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปใช้เป็นพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป โดยเทคโนโลยีแก๊สชีฟิเคชัน (Gasification) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas)

เทคโนโลยีแก๊สชีฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีที่แปลงสภาพชีวมวลของแข็งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ ทำให้เกิดการแตกตัวมาเป็นโปรดิวเซอร์แก๊สที่ประกอบด้วย CO H₂ และ CH₄ ปฏิกิริยาของกระบวนการแก๊สชีฟิเคชัน เรียกว่า แก๊สชีฟิเออร์ (Gasifier) ซึ่งภายในมีกระบวนการทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ การทำแห้ง (Drying) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) การเผาไหม้ (Combustion /

Oxidation) และการรีดักชัน (Reduction) [7] สำหรับเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้กับกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ คือ เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง (Imbert Downdraft Gasifier) ชนิด V-Hearth ซึ่งเป็นเตาที่ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันดินที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งโดยเฉพาะ อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของเตา ไหลผ่านวงแหวนเพื่อกระจายอากาศให้หัวฉีดโดยรอบในโซนเผาไหม้ แก๊สที่ได้จากบริเวณนี้จะเกิดรีดักชันในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่าง และผ่านชั้นของคาร์บอนร้อนซึ่งอยู่เหนือตะแกรง ขณะเดียวกันในชั้นของชีวมวลที่อยู่ทางด้านบนของบริเวณการเผาไหม้ จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก ทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อน และไอของน้ำมันดินที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันดินแตกตัวเป็นแก๊ส [7] โดยจุดเด่นของเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิด V-Hearth จะออกแบบเป็นเหล็กรูปวงแหวนรูปตัว V คว่ำลง ดังรูปที่ 1 โดยบริเวณระหว่างระนาบของหัวฉีดและวงแหวนเหล็กจะมีถ้ำก่อดำขึ้น ช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนความร้อนทำให้เตาแก๊สซิไฟเออร์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ในการออกแบบเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงชนิด V-hearth จะต้องคำนวณขนาดต่าง ๆ ตามตารางที่ 1

จากข้อมูลด้านชีวมวลและเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกับการใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง เป็นการเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป และลดต้นทุนด้านพลังงานในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 1 แก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงชนิด V-hearth และตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบ [8]

ตารางที่ 1 ตัวแปรต่าง ๆ ในการออกแบบเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงชนิด V-hearth

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
d_n	ขนาดของคอคอด (Throat) ที่เล็กที่สุดของเตา
d_r	ขนาดของโซนเผาไหม้
d_r'	ขนาดของเส้นรอบวงของปลายหัวฉีด (Nozzle)
H	ขนาดความสูงของโซนเผาไหม้
h	ความสูงของหัวฉีดวัดจากคอคอดที่เล็กที่สุด
R	ขนาดความสูงของโซนรีดักชัน
d_n	ขนาดรูหัวฉีด
N	จำนวนหัวฉีด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเตาแก๊สซีฟเอร์ที่เหมาะสมกับการใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง และศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแก๊สซีฟเอร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและออกแบบเตาแก๊สซีฟเอร์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของระบบแก๊สซีฟเอร์ที่ใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง ในการออกแบบใช้หลักการออกแบบแก๊สซีฟเอร์แบบไหลดงชนิด V-hearth ตามทฤษฎีของ [9] โดยได้ดำเนินการสร้างและทดลองหาประสิทธิภาพของระบบแก๊สซีฟเอร์ด้วย

3.1 คุณสมบัติของชีวมวลวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้คือ กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งจากการบีบน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ หรือ CNSL (Cashew Nut Shell Liquid) ดังรูปที่ 2 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 486 kg/m^3 มีค่าความร้อนเท่ากับ $5,071.10 \text{ kcal/kg}$ หรือ $21,217 \text{ kJ/kg}$ โดยได้ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสวนดุสิต มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (ข) กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis)		
Moisture content (%)	37.50	9.09
Volatile matter (%)	59.57	88.28
Fixed carbon (%)	1.10	0.24
Ash (%)	1.83	2.39
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)		
Carbon (%)	53.93	54.09
Hydrogen (%)	6.07	6.08
Oxygen (%)	38.79	38.45
Nitrogen (%)	1.21	1.38
Heating value (kcal/kg)	5,458.20	5,071.10

3.2 การออกแบบเตาแก๊สซีฟเอร์ ในงานวิจัยนี้ มีความต้องการพลังงานความร้อนไปต้มน้ำปริมาณ 300 ลิตร เพื่อใช้ในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยกำหนดให้เตาแก๊สซีฟเอร์มีขนาด 130 kW ใช้อากาศเป็นตัวกลางทำปฏิกิริยา โดยปกติค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สจะอยู่ระหว่าง 4,000 – 6,000 kJ/m³ จึงกำหนดให้ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สที่คาดว่าจะได้รับเท่ากับ 5,000 kJ/m³

3.2.1 การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส ระบบแก๊สซีฟเอร์โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพประมาณ 80% เนื่องจากระบบที่ออกแบบมีการสูญเสียความร้อนบางส่วน งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแก๊สซีฟเอร์ที่คาดว่าจะได้รับเท่ากับ 70 % ซึ่งต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นไปอีก โดยสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราค่าความร้อนของชีวมวลที่ภาระสูงสุด} &= \frac{\text{กำลังความร้อนที่ต้องการ}}{\text{ประสิทธิภาพเตาผลิตก๊าซ}} \\ &= \frac{130}{0.7} \\ &= 185.71 \text{ kW} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง} &= \frac{\text{อัตราค่าความร้อนของชีวมวลที่ภาระสูงสุด}}{\text{ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล}} \\ &= \frac{185.71}{22,217} \\ &= 0.00836 \text{ kg/s} \\ \text{หรือ} &= 30.09 \text{ kg/h} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส} &= \frac{\text{กำลังความร้อนที่ต้องการ}}{\text{ค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส}} \\ &= \frac{130}{5,000} \\ &= 0.026 \text{ Nm}^3/\text{s} \\ \text{ดังนั้น อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส} &= 93.6 \text{ Nm}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (3)$$

3.2.2 การคำนวณหาขนาดของเตาแก๊สซีฟเอร์สำหรับเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงชนิด V-hearth ค่า Heart load (B_g) มีหน่วยเป็น m³/ cm²/ h มีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 0.9 ในงานวิจัยนี้กำหนดค่า B_g เท่ากับ 0.7 พื้นที่หน้าตัดของ Throat คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$B_g = \frac{Q}{A} = 0.7 \quad (4)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส (Nm³/h)

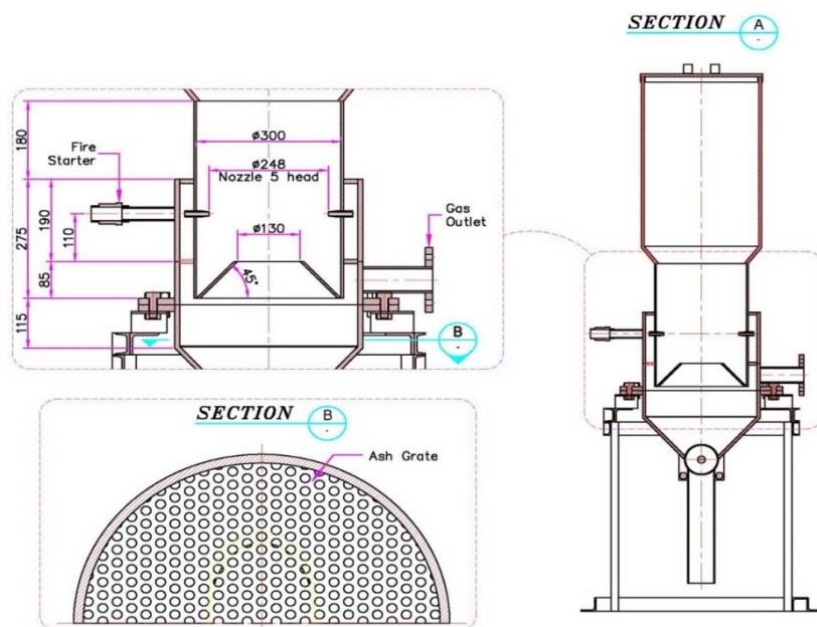
A คือ พื้นที่หน้าตัดของคอคอดหรือ Throat (cm²)

จากค่า $Q = 93.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ คำนวณพื้นที่หน้าตัดของ Throat ได้เท่ากับ 133.71 cm² มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Throat เท่ากับ 13 cm หรือ 130 mm

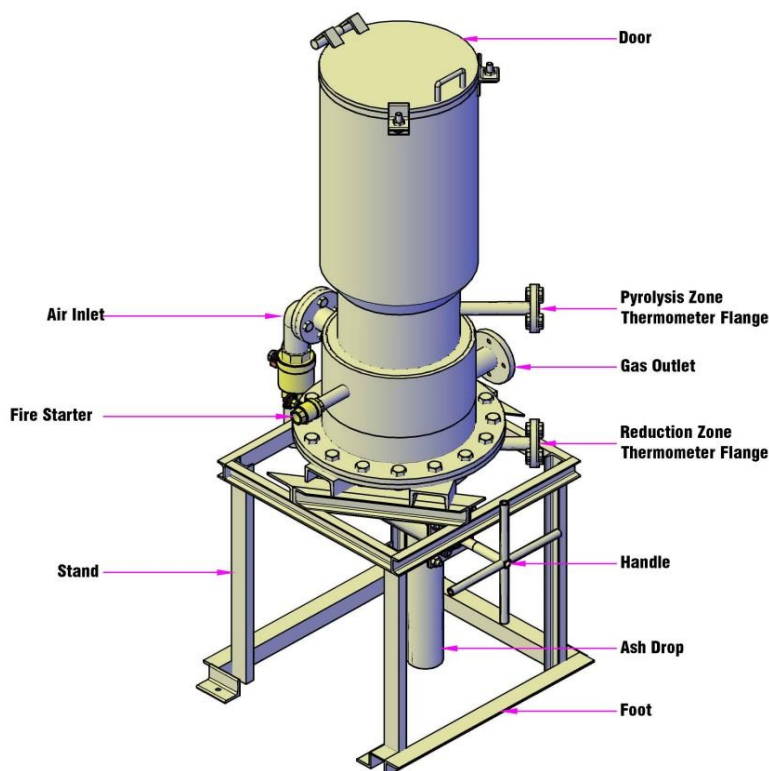
ตารางที่ 2 ขนาดต่าง ๆ ของเตาแก๊สซิฟิเคชัน

ตัวแปร	ขนาด (มิลลิเมตร)
d_h	130
d_r	300
d_v	248
H	275
h	110
R	115
d_N	12.5
N	5 หัว

การหาขนาดต่าง ๆ ของแก๊สซิฟิเคชัน ใช้วิธีการเปิดตารางตามทฤษฎีของ [9] ได้ค่าตามตารางที่ 2 และแสดงขนาดของแก๊สซิฟิเคชันในส่วนที่สำคัญดังรูปที่ 3 ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอคออด (Throat) ที่เล็กที่สุด (d_h) โชนเผาไหม้ (d_r) และเส้นรอบวงของปลายหัวฉีด (d_v) มีขนาด 130, 300 และ 248 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความสูงของโชนเผาไหม้ (H) ระยะของระนาบหัวฉีดจาก Throat ที่เล็กที่สุด (h) ความสูงของโชนรีดักชัน (R) มีค่าเท่ากับ 275, 110 และ 115 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีหัวฉีด (Nozzle) จำนวน 5 หัว แต่ละหัวมีรูขนาด 12.5 มิลลิเมตร มุมเอียงของคอคออด (V-hearth) เท่ากับ 45 องศา โดยภาพรวมของแก๊สซิฟิเคชันที่ออกแบบได้แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ขนาดที่สำคัญของเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงชนิด V-hearth



รูปที่ 4 รูปแบบเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงชนิด V-hearth

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชัน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชัน คือ ค่าพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยาแก๊สที่ระบบสามารถผลิตได้ เทียบกับค่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปในระบบ [10] สามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$\eta_{th} = \frac{HV_{gas} \times Q_{gas}}{HV_{fuel} \times FCR_{fuel}} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่	η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชัน (%)
	HV_{gas}	คือ ค่าความร้อนของปฏิกิริยาแก๊ส (MJ/Nm^3)
	Q_{gas}	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของปฏิกิริยาแก๊สที่ออกจากระบบ (Nm^3/hr)
	HV_{fuel}	คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)
	FCR_{fuel}	คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของปฏิกิริยาแก๊ส [11] มีหน่วยเป็น (MJ/Nm^3) ซึ่งประกอบด้วย แก๊ส CO H_2 และ CH_4 สามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$HV_{gas} = (X_{CO} \times 12.63) + (X_{H_2} \times 10.78) + (X_{CH_4} \times 35.88) \quad (6)$$

โดยที่	X_{CO}	คือ สัดส่วนโดยปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์
	X_{H_2}	คือ สัดส่วนโดยปริมาณของไฮโดรเจน
	X_{CH_4}	คือ สัดส่วนโดยปริมาณของมีเทน

อัตราการไหลของแก๊ส (Gas Flow Rate) มีหน่วยเป็น m^3/s ในห้องสั้งโปรติวเซอร์แก๊ส สามารถหาได้จากสมการที่ 7

$$Q_{\text{gas}} = A \times V \quad (7)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)
 V_{gas} คือ ความเร็วของแก๊ส (m/s)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate) มีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการที่ 8

$$\text{FCR}_{\text{fuel}} = \frac{m_{\text{fuel}}}{t} \quad (8)$$

โดยที่ m_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมด (s)

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) สามารถหาได้จากสมการที่ 9

$$\text{A/F}_{\text{ratio}} = \frac{m_{\text{air}}}{\text{FCR}_{\text{fuel}}} \quad (9)$$

โดยที่ m_{air} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ มีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการที่ 10

$$m_{\text{air}} = \rho \times A \times V_{\text{air}} \quad (10)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิห้อง (kg/m^3)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)
 V_{air} คือ ความเร็วอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตา (m/s)

3.4 ขั้นตอนการทดลองขั้นตอนการทดลองในแต่ละครั้ง เริ่มจากการเติมเชื้อเพลิงให้เต็มแล้วปิดฝาให้แน่น เติมน้ำให้เต็ม เปิดวาล์วควบคุมอากาศเข้าและวาล์วควบคุมการจ่ายโปรติวเซอร์แก๊ส จากนั้นเปิดปั๊มน้ำทั้ง 2 ตัว แล้วจุดไฟที่ช่องจุดไฟ เมื่อเชื้อเพลิงชีวมวลติดไฟแล้ว ให้ทดสอบการจุดติดไฟของโปรติวเซอร์แก๊สบริเวณหัวเผา เมื่อแก๊สติดไฟแล้วให้รอประมาณ 15 นาที แล้วเริ่มทำการวัดความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซีฟเอร์และวัดอัตราการไหลของโปรติวเซอร์แก๊สด้วยเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด และใช้ชุดปั๊มดูดโปรติวเซอร์แก๊สเข้าสู่ถุงเก็บก๊าซขนาด 1 ลิตร ส่งตัวอย่างไปตรวจหาองค์ประกอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง นับตั้งแต่โปรติวเซอร์แก๊สเริ่มจุดไฟติด ให้ปิดเตารอให้เตาเย็นลงแล้วทำการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสร้างเตาแก๊สซิฟิเคชัน



รูปที่ 5 การสร้างและการติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชัน

หลังจากที่ได้ออกแบบเตาแก๊สซิฟิเคชันแล้ว จึงทำการสร้างและติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชัน โดยมีการจัดวางส่วนประกอบดังรูปที่ 5 ประกอบด้วย เตาแก๊สซิฟิเคชัน ไซโคลน สกรับเบอร์ และหัวเผา โดยแก๊สซิฟิเคชันทำจากเหล็กหนา 10 มิลลิเมตร มีผนังรูปและประกอบตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ มีถังสำหรับบรรจุเชื้อเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร สามารถบรรจุเชื้อเพลิงได้ 40 กิโลกรัม ควบคุมปริมาณอากาศเข้าสู่เตาด้วยวาล์ว ใช้ท่อเหล็กขนาด 2 นิ้วป้อนอากาศให้ไหลผ่านห้องลมรอบ ๆ โชนเผาไหม้เพื่อเตรียมอากาศให้กระจายเข้าสู่หัวฉีดจำนวน 5 หัว อย่างสม่ำเสมอรอบทิศทาง มีช่องสำหรับจุดไฟซึ่งตรงกับตำแหน่งของหัวฉีด มีช่องสำหรับติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของโชนต่าง ๆ มีมีม้วนสำหรับระบายซีเมนต์ที่ลอดผ่านตะแกรงลงสู่ถังพัก โปรติวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จะถูกส่งออกจากเตาด้วยท่อเหล็กขนาด 2 นิ้ว เข้าสู่ไซโคลนประสิทธิภาพสูงเพื่อดักฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ จากนั้นส่งแก๊สเข้าสู่สกรับเบอร์แบบเวนจูรี จำนวน 2 ชุด เพื่อกำจัดน้ำมัน CNSL น้ำมันดิน ฝุ่นละเอียดและกลิ่น โดยแต่ละชุดใช้ปั๊มน้ำแรงดันสูง (Multistage Centrifugal Pump) ขนาด 800 วัตต์ ต่อกับท่อน้ำขนาด 1 นิ้ว หมุนเวียนน้ำจากถังพักเพื่อทำความสะอาดโปรติวเซอร์แก๊สตลอดเวลา ซึ่งการทำงานของสกรับเบอร์แบบเวนจูรีนี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของโปรติวเซอร์แก๊ส และสร้างแรงดูดอากาศเข้าสู่เตาแก๊สซิฟิเคชันให้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องเป่าลม (Blower) โปรติวเซอร์แก๊สที่สะอาดแล้วจะถูกส่งไปที่หัวเผาเพื่อใช้งานต่อไป ลดปัญหาการเกาะตัวของคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกที่ใบพัดของเครื่องเป่าลม

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ในการทดลองประเมินประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชันที่สร้างขึ้นนี้ อาศัยแรงเหนี่ยวนำของ สกรับเบอร์แบบเวนจูรี จำนวน 2 ชุด สร้างแรงดูดอากาศเข้าสู่เตา ทดแทนการใช้เครื่องเป่าลม พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศเข้าเท่ากับ 0.002325 m^2 วัดความเร็วอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาได้ 2.6 m/s คำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศได้เท่ากับ 0.007039 kg/s อัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 11.4 kg/h หรือ 0.003167 kg/s อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.22

4.3 องค์ประกอบและค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊ส องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สมีผลต่อการคำนวณหาความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊ส โดยได้ส่งตัวอย่างไปตรวจหาองค์ประกอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งองค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สประกอบด้วย มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊ส	สัดส่วนของแก๊ส (%)
H ₂	9.7
CO	16
CH ₄	1.5
N ₂	61
O ₂	4.7
CO ₂	10

องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้เชื้อเพลิงกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ตามตารางที่ 3 มีสัดส่วนของแก๊สติดไฟเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ CO H₂ และ CH₄ โดยมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 16 9.7 และ 1.5 ตามลำดับ เมื่อแทนค่าสัดส่วนของแก๊สในสมการที่ 6 แล้ว สามารถคำนวณหาความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สจากกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้เท่ากับ 3.605 MJ/Nm³

4.4 ประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชัน จากการทดลองประเมินประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชัน มีพื้นที่หน้าตัดของท่อส่งโปรตีนเซอร์แก๊สเท่ากับ 0.002325 m² วัดความเร็วของแก๊สได้ 3.2 m/s จากสมการที่ 7 สามารถคำนวณอัตราการไหลของแก๊สได้เท่ากับ 0.007441 m³/s ค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สเท่ากับ 3.605 MJ/Nm³ คิดเป็นพลังงานความร้อน 26.82 kW และจากการคำนวณในสมการที่ 5 พบว่า ระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงเป็นเชื้อเพลิง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 39.92 %

5. อภิปรายผล

ผลของวิเคราะห์แบบแยกธาตุของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่ามีธาตุองค์ประกอบ ได้แก่ C H O และ N สัดส่วนร้อยละ 53.93, 6.07, 38.79 และ 1.21 ตามลำดับ มีค่าความร้อน 22.84 MJ/kg เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของ [12] ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 63.20, 6.74, 21.9 และ 0.69 ตามลำดับ มีค่าความร้อน 24.2 MJ/kg เมื่อสกัดแยกน้ำมัน CNSL ออกแล้วจะเหลือกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ C H O และ N พบว่ามีสัดส่วนร้อยละ 54.09, 6.08, 38.45 และ 1.38 ตามลำดับ มีค่าความร้อน 21.22 MJ/kg เปรียบเทียบกับเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีความหนาแน่นเฉลี่ย 486 kg/m³

การออกแบบเตาแก๊สซีฟเอร์ที่เหมาะสมกับการใช้กากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเชื้อเพลิง กำหนดขนาดอัตรากำลังความร้อนสูงสุด 130 kW คำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการไหลของโปรตีนเซอร์แก๊สได้เท่ากับ 30.09 kg/h และ 93.6 Nm³/h ตามลำดับ การสร้างและติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชันประกอบด้วย เตาแก๊สซีฟเอร์ ไฮโคลน สกรีนเบอร์ และหัวเผา ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชัน พบว่ามีประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 39.92 % ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 2.22 ต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่กำหนดในการออกแบบซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 70 % องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สที่ผลิตได้มีสัดส่วนของแก๊ส CO H₂ และ CH₄ คิดเป็นร้อยละ 16, 9.7 และ 1.5 ตามลำดับ มีค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สเท่ากับ 3.605 MJ/Nm³ และมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ

ดังตารางที่ 4 สอดคล้องกับงานวิจัย [13] ซึ่งพบว่า โปรตีนเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงไม้ลำไยมีค่าความร้อนเท่ากับ 3.441 MJ/Nm³ และมีสัดส่วนของแก๊ส CO H₂ และ CH₄ คิดเป็นร้อยละ 17.53, 9.29 และ 0.90 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชันและคุณสมบัติต่าง ๆ

V_{air} (m/s)	FCR_{fuel} (kg/h)	A/F_{ratio}	Q_{gas} (m ³ /h)	HV_{gas} (MJ/Nm ³)	n_{th} (%)
2.6	11.4	2.22	26.79	3.605	39.92

เนื่องจากระบบแก๊สซิฟิเคชันที่สร้างขึ้น อาศัยการเหนี่ยวนำของสกริปเบอร์แบบเวนจูร์สร้างแรงดูดอากาศเข้าสู่เตาทดแทนการใช้เครื่องเป่าลม จึงมีอัตราการไหลของอากาศน้อย ทำให้เตาแก๊สซิฟิเคชันมีอัตราการกำลังความร้อน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการไหลของโปรตีนเซอร์แก๊ส มีค่าเท่ากับ 26.82 kW 11.4 kg/h และ 26.79 m³/h ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบเตาแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอัตราการกำลังความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคชัน จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่เตา โดยติดตั้งเครื่องเป่าลมต่อท่อเข้ากับวาล์วควบคุมอากาศเข้าของเตา และในการวิจัยครั้งต่อไปควรทดลองหาค่าความเร็วอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาที่เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชันมีค่าสูงสุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สิงห์เดช แดงจวง ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพพา พิณญาพงษ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สัทธยา ทองสาร ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไเก้ด้อย อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ให้ข้อมูลการวิจัย และให้ความอนุเคราะห์เปลื้องมะม่วงหิมพานต์สำหรับการวิจัย และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเตาแก๊สซิฟิเคชันไฟเบอร์แบบไหลลงชนิด V-hearth

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ระบบสารสนเทศการผลิตทางการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. (2561, พฤษภาคม. 3). ฐานข้อมูลผลผลิตมะม่วงหิมพานต์ พ.ศ. 2561, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://production.doae.go.th>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559, พฤษภาคม. 3). ข้อมูลสัดส่วนพลังงานชีวมวลต่อผลผลิต, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html
- [3] S.C. Bhattacharya, San Shwe Hla, Hoang-Luang Pham, "A study on a multi-stage hybrid gasifier-engine system", *Biomass and Bioenergy*, 21(6), pp. 445-460, 2001.
- [4] J. G. Ohler, *Cashew*, Amsterdam: Department of Agricultural Research, Koninklijk Institute voor de Tropen, Netherlands, 1979.
- [5] สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดระยอง, แผนพัฒนาการเกษตรรายสินค้ามะม่วงหิมพานต์จังหวัดระยอง (พ.ศ.2562-2564), สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดระยอง, ระยอง, 2562

[6] พัทธ์ชัย คล้ายชม กัณฑ์ อินทวงศ์ และไพโรจน์ นะเที่ยง. “การถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมการสกัดน้ำมัน CNSL เพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป”. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการ ระดับชาติ “Proceedings Thailand Symposium 2017”. 23 – 27 สิงหาคม 2560. โรงแรมทรา แกรนด์ และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพมหานคร: 271-279, 2560.

[7] นคร ทิพย์วงศ์. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. (พิมพ์ครั้งที่ 1), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, หน้า 77-86, 2553.

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือฝึกอบรมหลักสูตร ภาควิชาปฏิบัติด้านพลังงานทดแทน แก๊สชีวภาพจากชีวมวล. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, หน้า 104, 2561.

[9] T.B. Reed, A. Das, *Handbook of biomass downdraft gasifier engine*, Solar Energy Research Institute, Colorado, pp. 32-38. 1988.

[10] Food and Agriculture Organization of The United Nations, *Wood Gas as Engine Fuel*, Mechanical Wood Products Branch Forest Industries Division FAO Forestry Department, Rome Italy, page 18, 1986.

[11] P. Basu. (2010, May, 5). Gasification theory and modeling of gasifiers, [Online], Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00005-2>

[12] Miguel M. Uamusse, Kenneth M. Persson, Alberto J. Tsamba. (2014, May, 5). Gasification of Cashew Nut Shell Using Gasifier Stove in Mozambique. *Journal of Power and Energy Engineering*, [Online], Available: <http://www.scrip.org/journal/jpee> <http://dx.doi.org/10.4236/jpee.2014.27002>

[13] ปัญญพร ขนาดคำ, นิกราน หอมดวง, กิตติกร สาสุจิตต์ และอัศรินทร์ อินทนิเวศน์. “การประเมินสมรรถนะของแก๊สชีฟไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร”. การประชุมสัมมนาทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 4-6 พฤศจิกายน 2558. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร: 109-113, 2558.

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

1 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

2 คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

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

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

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

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน 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 และอาวรวมการทบทวนวรรณกรรม (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): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความ โดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ตัวอย่างต่อไปนี้

[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 และทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
Siam Technology College



Internet
Society
Thailand



IEEE
Computer
Society
Thailand



6th

TECHCON
2020

การประชุมวิชาการระดับชาติ

วิจัยและพัฒนา เพื่อแก้ปัญหาชาติ

Research and development to solve national problems

31 JULY 2020



DIFFERENTLY...I-LEARN

WWW.SIAMTECHU.NET