



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565) | Vol.10 Issue.3 (2022) | ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

- การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันจากการสัมผัสสารเบนซีน: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 1
นริญา พักแก้ว, กนกวรรณ เจริญพันธ์, สุพัตรา เรืองโสภะ และ สาธินี ศิริวัฒน์
- SO₂ ADSORPTION ENHANCEMENT OVER AMINE/AMIDE PROMOTED MCM-41 17
Amares Saesim, Anis Usmani and Woraratana Pattaraprakorn
- การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก กรณีศึกษาการหมักในเชิงไม้ 31
อนุชา เพียรชนะ, จิรญา แก้วปัทมย์ และ ช่อผกา วงษ์สมบัติ
- ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ 43
ณัฐภัทร อภิรัชวิทยุ และ สมบูรณ์ ขาวชายโง
- การออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 63
อนุชา ศิผาง, ชัยพร อัดโตดดร และ ธนัช เอกเกื้อกุล
- ผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพทางกาย ของนักเรียนประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จังหวัดอุดรธานี 81
ธนพร ลาภไธสงค์ และ ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ
- BIOSORPTION BEHAVIOR OF CD(II) IONS ONTO TAPIOCA PEEL: EQUILIBRIUM, KINETICS, THERMODYNAMICS AND DESORPTION STUDIES 101
Panumas Promthet and Weena Promthet
- ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน 119
ดรุณี พวงบุตร และ วชิราวุธ พิศยะไตร์



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.10 Issue.3 (2022)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) ชื่อย่อภาษาอังกฤษ “UDRU Sci. & Tech. J.” มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล, พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน) ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) และฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิตรา วัฒนสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตชาย ม่วงปทุม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ เฟื่องชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ตินาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิรารวรรณ กุณัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภูมิ อดุตรา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อคำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิสิษฐพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชริน ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ณกรณ์ จงรังกลาง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาท	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา สารินทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์ พักสมบุรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูษณพาส สมนิล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี พรหมหลวงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณภา ภาจำปา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ ผาใต้	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ศรีชาติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ทมม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัธนา วงศ์อารีย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนจิรา รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปองพล แสนสอน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอรารัตน์ เบ้าทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.รุ่งฤดี ศรีสำออง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.นฤปวรรต พรหมมาวัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วินัย มีแสง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.เบญจธรรม สุขณัฏฐ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.หวนใจ หล้าพรหม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.มนัสสิริ คงรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

คณะกรรมการดำเนินงาน

ดร.เอกราช ดีนาง	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	รองประธานกรรมการ
ดร.ชาลี เกตุแก้ว	กรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูทอง	กรรมการ
นางกาญจนา มูลอาจ	กรรมการ
นางสาวณิชา พันธุ์ควนิชัย	กรรมการ
ดร.ปณมนัสพงศ์ ปุณประเสริฐ	กรรมการ
นางสาวศศิตา พงศาวิ	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมลพรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาค	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณีนัน	กรรมการและเลขานุการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพรพย์ เลิศปรีดากร

พิสูจน์อักษร

นางสาวศิวพร ภูทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรง

นางสาวศศิตา พงศาวิ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (2565)

กำหนดการเผยแพร่

- 3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)
ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)
ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702
เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>
เว็บไซต์วารสาร: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>
อีเมล: scjournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ได้ประกาศให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถูกจัดให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 10 ฉบับที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2565 มีบทความวิจัยจำนวน 8 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันจากการสัมผัส สารเบนซีน: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร <i>นริญา พักแก้ว, กนกวรรณ เจริญจันทร์, สุกตรางา เรืองโสภา และ สาธินี ศิริวัฒน์</i>	1
SO ₂ ADSORPTION ENHANCEMENT OVER AMINE/AMIDE PROMOTED MCM-41 <i>Amares Saesim, Anis Usmani and Woraratana Pattaraprakorn</i>	13
การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก กรณีศึกษาการหมักในเชิงไม้ <i>อนุชา เพียรชนะ, จิรญา แก้วปัทมา, และ ช่อผกา วงษ์สมบัติ</i>	31
ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม <i>ณัฐภัทร อภิรัชวิทยุ และ สมบูรณ์ ขาวชายโขง</i>	43
การออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติ ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ <i>อนุชา ดีผาง, ชัยพร อัดโตดดร และ ธนัช เอกเกื้อกุล</i>	63
ผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและ สมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จังหวัดอุดรธานี <i>ธนพร ลาภไธสงค์ และ ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ</i>	81
BIOSORPTION BEHAVIOR OF CD(II) IONS ONTO TAPIOCA PEEL: EQUILIBRIUM, KINETICS, THERMODYNAMICS AND DESORPTION STUDIES <i>Panumas Promthet and Weena Promthet</i>	101
ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน <i>ดรุณี พวงบุตร และ วชิราวุธ พิทยะไตร</i>	119

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันจากการ
สัมผัสสารเบนซีน: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

HEALTH RISK ASSESSMENT OF OPERATORS IN GAS STATIONS FROM
BENZENE EXPOSURE IN: A CASE STUDY IN MUANG DISTRICT,
SAKON NAKHON PROVINCE

นริฏา พักแก้ว, กนกวรรณ เจริญพันธ์, สุพัตรา เรืองโสภา และ สาทินี ศิริวัฒน์^{*}
Narita Fakkaew, Kanokwan Charoenkhan, Supattra Ruangsopha and Satinee Siriwat^{*}

ภาควิชาอนามัยชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Department of community Health, Faculty of Public Health, Kasetsart University
Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

Received: 12 July 2022

Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของสารเบนซีนในบรรยากาศภายในสถานีบริการน้ำมันและเพื่อประเมินความเสี่ยงของสุขภาพจากการสัมผัสสารเบนซีนผ่านทางการหายใจของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมัน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ทั้งหมด 3 แห่ง ทำการตรวจวัดสารเบนซีน วันละ 8 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วันต่อสถานี โดยใช้เครื่องตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายและประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 27 คน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารเบนซีนเฉลี่ยของสถานีบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง มีค่าเท่ากับ 0.4311 ± 0.1640 , 0.3664 ± 0.1399 และ 0.4491 ± 0.2227 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสารเบนซีนของสำนักงานกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน พบว่า ค่าสารเบนซีนไม่เกินมาตรฐานกำหนด (1 ppm) การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสสารเบนซีนผ่านทางการหายใจของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง พบว่า เพศชายมีค่าเท่ากับ 3.01×10^{-5} , 2.52×10^{-5} และ

^{*} Corresponding author: สาทินี ศิริวัฒน์

E-mail: Satinee.s@ku.th

6.30×10^{-5} mg/kg-day ตามลำดับ เพศหญิงมีค่าเท่ากับ 2.43×10^{-5} , 2.12×10^{-5} และ 7.00×10^{-5} mg/kg-day ตามลำดับ ค่า Cancer risk พบว่า เพศชายมีค่าเท่ากับ 8.19×10^{-7} , 5.46×10^{-7} และ 1.64×10^{-6} ตามลำดับ เพศหญิงมีค่าเท่ากับ 5.46×10^{-7} , 2.12×10^{-5} และ 7×10^{-5} ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานจากการสัมผัสสารเบนซีนในสถานีบริการน้ำมัน พบว่า มีความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการเฝ้าระวังสุขภาพและตรวจประเมินด้านการรับสัมผัสสารเบนซีนของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเป็นประจำ

คำสำคัญ: เบนซีน, การประเมินสุขภาพ, สถานีบริการน้ำมัน, สารก่อมะเร็ง

Abstract

The objective of this research was to measure the benzene concentration in ambient air and to assess the health risks of inhalation exposure to benzene of workers in gas stations. The study was conducted in three gas stations in Muang district, Sakon Nakhon Province. The exposure to benzene was monitored during work shifts for eight hours and further measured for ten days per station by volatile organic compound measuring instrument. The population consisted of 27 workers to assess the health risks. The results showed that average concentrations of benzene at three gas stations were 0.4311 ± 0.1640 , 0.3664 ± 0.1399 , and 0.4491 ± 0.2227 ppm, respectively. The average benzene concentrations of all gas stations were not exceeded the benzene standard of the Department of Labour Protection and Welfare (1 ppm). The health risks assessment of inhalation exposure to benzene of employees at the gas stations was 3.01×10^{-5} , 2.52×10^{-5} , and 6.30×10^{-5} mg/kg-day for men and 2.43×10^{-5} , 2.12×10^{-5} , 7×10^{-5} mg/kg-day for women, respectively. The cancer risk was 8.19×10^{-7} , 5.46×10^{-7} , and 1.64×10^{-6} for men and 5.46×10^{-7} , 2.12×10^{-5} , and 7×10^{-5} for women, respectively. That means the cancer risk of all workers in gas

stations was not exceeded for carcinogenic effect. However, there should be performed regularly for the safety of the workers in gas station.

Keywords: Benzene, Health Risk Assessment, Gas Stations, Carcinogen

บทนำ

สถานีบริการน้ำมันจัดอยู่ในกลุ่มแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทแพร่กระจาย (Diffuse Source) ซึ่งแหล่งกำเนิดมลพิษประกอบด้วย (1) น้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล (2) กิจกรรมภายในสถานีบริการน้ำมัน ได้แก่ การถ่ายเทน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถขนส่งลงสู่ถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง และการถ่ายเทน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวจ่ายน้ำมันสู่ถังน้ำมันเชื้อเพลิงของยานพาหนะ มลพิษอากาศที่ถูกปลดปล่อยส่วนใหญ่ คือสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds : VOCs) โดยเฉพาะสารเบนซิน (Benzene) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียรถยนต์ การระเหยของน้ำมันขณะเติมน้ำมัน สารเบนซินจัดเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 คือ เป็นสารก่อมะเร็งในคน (IARC, 2001) สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจ การดูดซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการกินหรือกลืนเข้าไป ข้อมูลทางพิษวิทยาของสารเบนซินมีทั้งพิษแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง หากได้รับเข้าไปปริมาณมากมีฤทธิ์ทำลายระบบประสาทสมอง ทำให้มีอาการปวดหัว คลื่นไส้ วิงเวียน ชัก (IPCS, 1993) ระคายเคืองตา จมูก คอ ทำให้มีอาการไอ แสบหน้าอก และอาจมีปอดบวมน้ำ ทำให้หัวใจเต้นผิดปกติ ผิวหนังไหม้ ผิวหนังอักเสบ (สุนิสสา ขายเกลี้ยง และ สายชล แปรงกระโทก, 2558) หากสัมผัสในระยะยาวมีโอกาสเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว (ลูคีเมีย) ภาวะกีดการทำงานของไขกระดูก และภาวะพร่องเม็ดเลือดทุกชนิด จากงานวิจัยการรับสัมผัสสารเบนซินของผู้ปฏิบัติงานสถานีบริการน้ำมันจังหวัดขอนแก่น พบผู้ปฏิบัติงานทุกคนในสถานีบริการน้ำมันมีการสัมผัสสารเบนซินจากไอระเหยน้ำมันผ่านการหายใจ (ฉัตรสุตา พิมพาแสง และ สุนิสสา ขายเกลี้ยง, 2557) และยังมีรายงานยืนยันว่าพบอาการกลุ่มเดียวกันจากการศึกษาของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเขตกรุงเทพมหานคร (พรนภา ศุกรเวทย์ศิริ และคณะ, 2560) นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดย VOCs ทำปฏิกิริยาแสงกับก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เกิดก๊าซโอโซน (O_3) ในชั้นบรรยากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) อีกทั้งสารเบนซิน

จัดเป็นวัตถุดิบรายชนิดที่ 3 ตามพระราชบัญญัติวัตถุดิบราย พ.ศ. 2535 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2535)

จังหวัดสกลนครมีการเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และการท่องเที่ยว มีสถานบริการน้ำมันกระจายตามถนนเส้นหลักและมีจำนวนผู้ใช้บริการในสถานบริการน้ำมันอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการขยายสถานบริการน้ำมันในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร โดยในปี พ.ศ. 2556 จังหวัดสกลนคร มีจำนวนสถานบริการน้ำมัน 337 แห่ง (สำนักบริการธุรกิจและการสำรวจน้ำมันเชื้อเพลิง, 2556) ต่อมาในปี พ.ศ. 2565 มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 628 แห่ง และอยู่ในอำเภอเมืองสกลนครทั้งหมด 66 แห่ง (สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล องค์การมหาชน, 2565) ข้อมูลปี 2564 การจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิง จังหวัดสกลนคร ชนิดน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว บี 7 ปริมาณ 105,112 พันลิตร น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 ปริมาณ 39,671 พันลิตร และน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 ปริมาณ 22,187 พันลิตร (กรมธุรกิจพลังงาน, 2564) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของสารเบนซินในบรรยากาศการทำงานภายในสถานบริการน้ำมันและทำการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเบนซินทางการหายใจของผู้ปฏิบัติงานสถานบริการน้ำมันในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

วิธีดำเนินการวิจัย

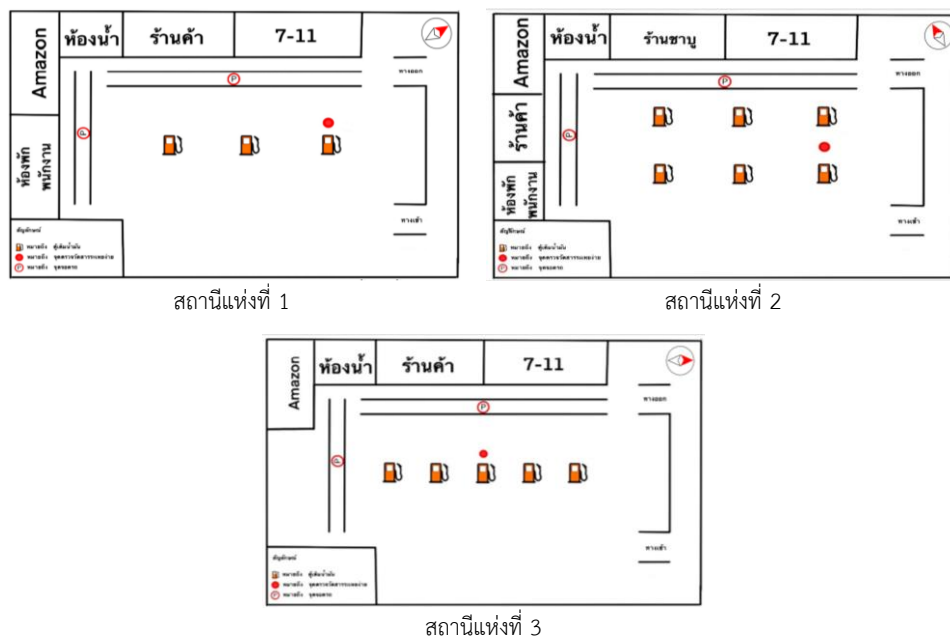
การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสำรวจเชิงพรรณนาแบบตัดขวาง (cross-sectional descriptive study) มีการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด-ต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปอร์เซ็นไทล์ และร้อยละ โดยรวบรวมข้อมูล ทั้งหมด 2 ลักษณะคือ การวิจัยเชิงปริมาณ โดยทำการเก็บข้อมูลความเข้มข้นของสารเบนซิน บริเวณสถานบริการน้ำมัน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร และการวิจัยเชิงคุณภาพ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ตอน ประกอบด้วยตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน และน้ำหนัก ตอนที่ 2 พฤติกรรมและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ได้แก่ การสวมอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ ความถี่ในการสวมใส่ ชนิดอุปกรณ์ที่สวมใส่ และอาการผิดปกติจากการปฏิบัติงาน การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร (Kucsc.HE-62-017)

กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลซึ่งได้รับอนุญาตให้เข้าทำการเก็บข้อมูลการตรวจวัดสารเบนซีนจากสถานีบริการน้ำมัน ทั้งหมด 3 แห่ง ในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร กลุ่มประชากรเป็นผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมัน จำนวน 27 คน ประกอบด้วยผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันแห่งที่ 1 จำนวน 5 คน แห่งที่ 2 จำนวน 10 คน และแห่งที่ 3 จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) มีเกณฑ์การคัดเลือก ดังนี้ (1) เป็นสถานีบริการน้ำมันที่มีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 3 ไร่ ตั้งอยู่บนถนนสายหลักของจังหวัด ซึ่งโดยรอบของสถานที่ตั้งใกล้เคียงกับแหล่งชุมชน ที่พักอาศัย และมหาวิทยาลัย บริเวณเขตอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (2) เป็นสถานีบริการน้ำมันที่ยินยอมให้ดำเนินการตรวจวัดได้ตลอดระยะเวลาการศึกษา เนื่องจากอยู่ในช่วงสถานการณ์โควิด-19 ทำให้บางสถานีไม่สะดวกในการยินยอมให้ตรวจวัด และ (3) เป็นสถานีที่มีหัวจ่ายน้ำมันจำนวน 16 หัวจ่ายขึ้นไป

การตรวจวัดสารเบนซีน

ทำการตรวจวัดสารเบนซีนในสถานีบริการน้ำมันทั้งหมด 3 แห่ง (ดังรูปที่ 1) ตรวจวัดสถานีละ 1 จุด โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบริเวณระหว่างหัวจ่ายน้ำมัน ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.5 เมตร (USEPA, 2013) เป็นบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานมากที่สุด ด้วยเครื่องตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (ยี่ห้อ RAE SYSTEMS รุ่น ppbRAE 3000) ใช้ระบบตรวจวัดแบบ photoionization detector (PID) หลักการตรวจวัดคือการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet light) ทำให้มวลอากาศตัวอย่างแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) เพื่อนำมาคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซเบนซีน ในหน่วย ppb ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัด วิธีที่ 21 ตามข้อกำหนดของ U.S. EPA (EPA Reference Method 21 Determination of Volatile Organic Compound Leaks (40 CFR 60, Appendix A)) (USEPA., 2017) ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือน กรกฎาคม ถึง กันยายน พ.ศ. 2564 วันละ 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09:00 – 17:00 น. ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วันต่อสถานี



รูปที่ 1 จุดตรวจวัดสารเบนซินที่สถานีบริการน้ำมันทั้งหมด 3 แห่ง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร โดยจุดสีแดงคือจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสารเบนซิน

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ U.S. EPA โดยวิธีการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารเบนซินประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) คือ สารเบนซินซึ่งเป็นสารที่ผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันได้รับสัมผัสเป็นประจำจากการทำงาน
2. การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment) ในงานวิจัยครั้งนี้ ทำการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารเบนซินจากการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันสำหรับสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งเท่านั้น
3. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) ประเมินจากความเข้มข้นของสารเบนซิน ความถี่ที่รับสัมผัส ระยะเวลาที่รับสัมผัส น้ำหนักตัว และอัตราการหายใจ (USEPA.,1992) ดังแสดงในสมการ

$$\text{LADD}_{(\text{mg/kg-day})} = \frac{C (\text{mg/m}^3) \times \text{CR} (\text{m}^3/\text{day}) \times \text{ED} (\text{years})}{\text{BW} (\text{kg}) \times \text{AT} (\text{day})}$$

โดยที่ LADD คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่คนได้รับ (Lifetime average daily dose) (mg/kg-day)

C คือ ความเข้มข้นของสารเบนซิน (mg/m³)

CR คือ อัตราการหายใจ โดยแบ่งตามช่วงอายุ (m³/day)

ED คือ ช่วงเวลาการได้รับสัมผัส (year) (ได้จากการสัมภาษณ์)

BW คือ น้ำหนัก (kg) (ได้จากการสัมภาษณ์)

AT คือ ระยะเวลาสัมผัสเฉลี่ย

การประเมินความเสี่ยงต่อการก่อมะเร็ง (Cancer risk) แสดงดังสมการ

$$\text{ความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง Cancer risk} = \text{LADD} \times \text{Cancer Slope Factor}$$

โดยค่า Cancer Slope Factor คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเบนซินกับการตอบสนองของร่างกาย (dose-response relationship) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0273 mg/kg-day (USEPA, 2000)

4. การแปลผลความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง

ค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 1×10^{-4} – 1×10^{-6} หรือมีความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็ง 1 คน จากประชากรทั้งหมด 10,000 – 1,000,000 คน (USEPA, 2000)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ค่าความเข้มข้นของสารเบนซิน

ทำการตรวจวัดสารเบนซินในสถานบริการน้ำมันทั้งหมด 3 แห่ง บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ในเดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน พ.ศ. 2564 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน พบว่า สถานีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.4491 ± 0.2227 ppm รองลงมาคือ สถานีที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 0.4311 ± 0.1640 ppm และสถานีที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 0.3664 ± 0.1399 ppm โดยค่าสูงสุดของสารเบนซินที่ตรวจวัดจากสถานบริการน้ำมันที่ 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 4.1659 ppm อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาที่ทำ การตรวจวัดเป็นวันหยุดติดต่อกันหลายวัน

ประชาชนมีการเดินทางมากขึ้น มีรถเข้ามาใช้บริการถึง 17,216 คัน ซึ่งสถานีบริการน้ำมันดังกล่าวตั้งอยู่บนถนนสายหลักทางออกจากตัวเมืองสกลนครไปจังหวัดนครพนม รองลงมาคือสถานีบริการน้ำมันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.4716 ppm มีรถเข้ามาใช้บริการ 14,591 คัน และสถานีบริการน้ำมันที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.1856 ppm มีรถเข้ามาใช้บริการ 12,431 คัน ซึ่งค่าความเข้มข้นสารเบนซินที่ตรวจวัดจากทั้ง 3 แห่ง ไม่เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศที่กำหนดของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวันหรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (ไม่เกินที่ 1 ppm) ในการทำงานที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานทุกคนสามารถรับสัมผัสได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของเบนซินในบรรยากาศ

สถานี บริการ น้ำมัน	ความเข้มข้นของเบนซินในบรรยากาศ (ppm)							ค่า TLV (8 ชม.)
	Average	Min	Max	P ₂₅ [*]	P ₅₀ [*]	P ₇₅ [*]	P ₉₅ [*]	
แห่งที่ 1	0.4311±0.1640	0.0032	3.4716	0.0380	0.1006	0.1470	2.0199	1 ppm
แห่งที่ 2	0.3664±0.1399	0.0144	3.1856	0.0338	0.0561	0.0798	1.7929	
แห่งที่ 3	0.4491±0.2227	0.0028	4.1659	0.0080	0.0295	0.0590	2.3460	

* ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile; P) ที่ 25 (P₂₅), 50 (P₅₀), 75 (P₇₅) และ 95 (P₉₅)

ข้อมูลทั่วไป พฤติกรรม และสภาพแวดล้อมของผู้ปฏิบัติงานของสถานีบริการน้ำมัน

จากการศึกษาผู้ปฏิบัติงานสถานีบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง จำนวน 27 คน ประกอบด้วยเพศชาย จำนวน 17 คน (ร้อยละ 62.96) มีอายุระหว่าง 20-25 ปี (ร้อยละ 51.85) จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจำนวน 22 คน (ร้อยละ 81.49) ปฏิบัติงานมากกว่า 12 เดือน จำนวน 14 คน (ร้อยละ 51.85) ผู้ปฏิบัติงานทุกคนปฏิบัติงานมากกว่า 8 ชั่วโมง สวมอุปกรณ์ป้องกันชนิดหน้ากากอนามัยขณะปฏิบัติงานและป้องกันทุกครั้งที่ปฏิบัติงาน เนื่องจากอยู่ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) และผู้ปฏิบัติงานมีความเห็นว่าคุณภาพอากาศในบริเวณที่ปฏิบัติงานมีคุณภาพอากาศปานกลาง จำนวน 14 คน (ร้อยละ 51.85)

อาการของผู้ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมัน

อาการที่พบมากที่สุด คือ อาการปวดศีรษะ (ร้อยละ 62.96) อาการไอ และน้ำมูกไหล (ร้อยละ 40.74) อาการอ่อนเพลีย (ร้อยละ 37.04) อาการวิงเวียนศีรษะ (ร้อยละ 14.81)

และไม่มีอาการ 6 คน (ร้อยละ 22.22) สอดคล้องกับการศึกษาผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมัน เขตเทศบาลนคร ขอนแก่น มีอาการเวียนศีรษะ ร้อยละ 67.4 อาการอ่อนเพลียและปวดศีรษะ ร้อยละ 54.84 (รัชนี้ นันทนุช และ สุนิสา ขายเกลี้ยง, 2556) และผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมัน จังหวัดอุบลราชธานีมีอาการที่พบมากที่สุด ได้แก่ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ และเวียนศีรษะ (ร้อยละ 50) (สุภาณี จันทศิริ และคณะ, 2560) ซึ่งอาการที่พบอาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น การสวมใส่หน้ากากอนามัยตลอดเวลาขณะปฏิบัติงานทำให้ไม่รู้สึกสะดวกสบาย การปฏิบัติงานในขณะที่มีสภาพอากาศไม่เหมาะสม และการสัมผัสสารมลพิษอากาศในขณะปฏิบัติงาน

ผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสสารเบนซีน

การประเมินการได้รับสัมผัสสารเบนซีนต่อวันของสารก่อมะเร็ง จากผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง พบว่า เพศชายมีค่าเท่ากับ 3.01×10^{-5} , 2.52×10^{-5} และ 6.30×10^{-5} mg/kg-day ตามลำดับ เพศหญิงมีค่าเท่ากับ 2.43×10^{-5} , 2.12×10^{-5} และ 7×10^{-5} mg/kg-day ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่า Cancer risk พบว่า เพศชายมีค่าเท่ากับ 8.19×10^{-7} , 5.46×10^{-7} และ 1.64×10^{-6} ตามลำดับ เพศหญิงมีค่าเท่ากับ 5.46×10^{-7} , 2.12×10^{-5} และ 7×10^{-5} ตามลำดับ จากผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ พบว่าค่า Cancer risk มีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ทำให้เกิดมะเร็ง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารเบนซีนของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันจำนวน 3 แห่ง

สถานบริการ น้ำมัน	เพศ	ปริมาณสารก่อมะเร็งที่ได้รับต่อวัน (mg/kg-day)		Cancer risk
แห่งที่ 1	ชาย	3.01×10^{-5}		8.19×10^{-7}
	หญิง	2.43×10^{-5}		5.46×10^{-7}
แห่งที่ 2	ชาย	2.52×10^{-5}		5.46×10^{-7}
	หญิง	2.12×10^{-5}		2.73×10^{-7}
แห่งที่ 3	ชาย	6.30×10^{-5}		1.64×10^{-6}
	หญิง	7.00×10^{-5}		1.91×10^{-6}

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซีนจากการสัมผัสทางการหายใจของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมัน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 3 แห่ง มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งช่วงเวลาที่ค่าความเข้มข้นของสารเบนซีนสูงที่สุดของสถานบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง คือช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ทำให้มีรถมาใช้บริการบริเวณสถานบริการน้ำมันมากกว่าช่วงวันปกติ ในส่วนของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเบนซีนผ่านทางการหายใจ ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 27 คน ซึ่งทุกคนปฏิบัติงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน สวมอุปกรณ์ป้องกันชนิดหน้ากากอนามัยขณะปฏิบัติงานทุกครั้ง เนื่องจากอยู่ในสถานการณ์การแพร่ระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการก่อมะเร็งจากการสัมผัสสารเบนซีนของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันทั้ง 3 แห่ง มีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบสำรวจเชิงพรรณนาแบบตัดขวาง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซีนบริเวณสถานบริการน้ำมันร่วมกับการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมัน จากสถานการณ์การแพร่ระบาดโควิด-19 ทำให้มีข้อจำกัดในการศึกษาและการเก็บข้อมูล ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปอาจมีการออกแบบกิจกรรมสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสถานบริการน้ำมันเพื่อลดโอกาสการสัมผัสกับสารเบนซีน โดยมีการประเมินอาการทางสุขภาพก่อนและหลังร่วมด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). *Benzene*. สืบค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <http://ohs.sci.dusit.ac.th/wp/?p=286>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2535). *พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535*. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109 ตอนที่ 39. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา.
- กรมธุรกิจพลังงาน. (2564). *ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายให้ลูกค้า จำแนกตามชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ภาค และจังหวัด พ.ศ. 2555 – 2564*. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพมหานคร.

- ฉัตรสุตา พิมพาแสง และ สุนิสา ชายเกลี้ยง. (2557). การรับสัมผัสสารเบนซีนในพนักงาน
สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง: กรณีศึกษาเทศบาลนครขอนแก่น เมืองขอนแก่น.
วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 19(2), 354-361.
- พรนภา ศุกรเวทย์ศิริ, สุนิสา ชายเกลี้ยง, ศศิธร ตั้งสวัสดิ์ และ วิชัย พุกษ์ธาราธิกุล. (2560).
*การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสสารเบนซีน
ในผู้ปฏิบัติงานสถานีบริการน้ำมัน*. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น).
- รัชณี นันทนุช และ สุนิสา ชายเกลี้ยง. (2556). ความเสี่ยงด้านสุขภาพต่อการได้รับอันตราย
จากการสัมผัสน้ำมันเชื้อเพลิงของพนักงาน สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขต
เทศบาลนครขอนแก่น. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น).
- สุนิสา ชายเกลี้ยง และ สายชล แปรงกระโทก. (2558). การประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัส
สารเบนซีนผ่านทางการหายใจในสถานีบริการน้ำมัน. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น).
- สุภาณี จันทศิริ, สมเจตนา ทองดำ, วิศวะ มาลากรรม และ พรไพลิน บุณณะ. (2560).
ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบริเวณทำงานและสภาวะสุขภาพของ
พนักงาน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 36(4), 509-516.
- สำนักงานพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. (2565). ข้อมูลผู้ค้าน้ำมันตามมาตรา 11 แห่ง
พ.ร.บ. การค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2565. กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
กรุงเทพมหานคร.
- สำนักบริการธุรกิจและการสำรอน้ำมันเชื้อเพลิง. (2556). จำนวนสถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน
เชื้อเพลิง ไตรมาส 4/2556. กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพมหานคร.
- International Agency for Research on Cancer. (2021). *Agents classified by the
IARC monographs*. Retrieved May 19, 2021 from [http://monographs.
iarc.fr/ENG/Classification/index.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php).
- International Programme for Chemical Safety. (1993). *Environmental health
criteria 150*. World Health Organization, Geneva.

- United States Environmental Protection Agency. (1992). *Guidelines for exposure assessment*. National Service Center for Environmental Publications. Washington, D.C.
- United States Environmental Protection Agency. (2013). *QA Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II. Ambient Air Quality Monitoring Program*. Washington, D.C.
- United States Environmental Protection Agency. (2017). *Method 21 – Determination of volatile organic compound leaks*. Air Emission Measurement Center. Washington, D.C.
- United States Environmental Protection Agency. (2000). *Integrated risk information system (IRIS): chemical assessment summary*. National Center for Environmental Assessment. Washington, D.C.

SO₂ ADSORPTION ENHANCEMENT OVER AMINE/AMIDE PROMOTED MCM-41

Amares Saesim¹, Anis Usmani¹ and Woraratana Pattaraprakorn^{1, 2, *}

¹ Department of Chemical Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University

² Center of Excellence in Environmental Catalysis and Adsorption, Thammasat University,

Received: 11 August 2022

Accepted: 28 November 2022

Abstract

Amine/amide-support mesoporous material has been proven to enhance the acidic gas uptake. Herein, MCM-41 synthesized from rice-husk (RH) was employed as a molecular sieve supporter for dynamic SO₂ adsorption. Four species of classified amine/amide including urea (U), monoethanolamine (MEA), triethylenetetramine (TETA), and dimethylformamide (DMF) were comparatively impregnated with RM. The SO₂ adsorption was carried out in a fixed bed column at 42,000 hr⁻¹ WHSV. DMF impregnated RM (DMF-RM) provided higher uptake capacity than other impregnated RMs. The SO₂ favors adsorbed on tertiary amine/amide rather than primary and secondary ones. The higher DMF content could enhance SO₂ adsorbability. The condition ranges of using 3%wt of DMF loading, initial concentration of SO₂ in synthetic waste gas less than 120 ppm, and room temperature up to 60°C provided the optimal adsorption capacity toward SO₂. The regeneration of adsorbent performed completely at moderate temperature of 200°C. DMF-RM showed 4% capacity declination after 8 cycles consecutively uses.

Keywords: SO₂ Adsorption, MCM-41, Breakthrough Curve, Regeneration

* Corresponding author: Woraratana Pattaraprakorn

E-mail: pworarat@engr.tu.ac.th

Introduction

SO₂ have been considered for one of serious pollutants from any combustion processes, especially for coal-fired power plant, petroleum and petrochemical plants. Due to the great concern in environmental issues, many alternative technologies have been deeply purposed. Dry and wet scrubbing processes are practically used to treat this harmful gas. One drawback of the scrubbing processes relies on amount of scrubbing agents (lime, Ca(OH)₂ and limestone, CaCO₃) used. Moreover, the processes are very energy-intensive, and all scrubbing agents are turned to be a huge amount of solid waste of CaSO₄, which requires further treatments. Moreover, used absorbents cannot be regenerated. Intensive studies on regenerable adsorbents and/or reactive catalysts of SO₂ are very interesting approaches (Gang et al., 2022; Berger et al., 2018; Rahmaninejad et al., 2012; Kylhammar et al., 2008).

Even though adsorption of SO₂ on activated carbon, zeolites, metallic oxides, etc. have been studied, the performance was not reached to a satisfactory level. Modified surface of adsorbents is one of emerging interests for regenerable SO₂ adsorption technologies. Abdulrasheed et al. (2018) purposed amine modified AC as an appropriate adsorbent for the sulfur-lean flue gas system, like coal fire power plant. The doping of N-substances provided significant effect to SO₂ uptake. However, with strong chemisorption between SO₂ and amine sites, the sorption of CO₂ could be offensive. To overcome this phenomena, small loading of N-doping has been recommended (Hanif et al., 2020; Yu et al., 2019; Tailor et al., 2014; Tailor & Sayari, 2016; Zhi et al., 2011; Xu et al., 2005).

Residues from burnt rice husk biomass have been known as a precursor to synthesize zeolites. Fly ash and rice husk ash containing a large portion of silica are recently utilized for mesoporous material MCM-41 and SBA-15 (Bhagiyalakshmi et al., 2010; Dhokte et al., 2011; Kumar et al., 2001; Li et al.,

2017). The materials possess uniform pores, large surface area, high thermal stability, and readily for a modification, therefore they are able to be used as adsorbent supports. According to their properties, the functionalized materials by amine/amide of highly basic sites, should favor the acidic SO_2 uptake. Amine/amide groups including primarily-, secondary-, and tertiary-, have been studied to enhance the acid gas sorption uptake (Uyanga & Idem, 2007; Aaron & Tsouris, 2005; Diaf & Beckman, 1995). The information of amine-modified adsorbent is limited to CO_2 capture rather than SO_2 sorption. The acid gas CO_2 adsorption capacity depends on the number of amine groups and type of amine groups in the loading. It was mentioned that nucleophilicity of anion and basicity of amine groups play key role for SO_2 adsorption (Xu et al., 2019). A series of the results were reported on using amine modified SBA-15 for SO_2 adsorption. The removal of SO_2 over SBA-15 loaded polyethylene glycol was reported effectively from 500 to 2 ppm at flow rate of 60 ml/min under atmospheric pressure, with the breakthrough adsorption capacity of 5.4 mg SO_2 /g (Wang et al., 2009). The selection of amine/amide for the surface modification affects to the basicity of the obtained materials. Tertiary amine are known to provide low affinity toward CO_2 , which is readily interact with SO_2 . Zhi et al. (2011) showed the significant improvement on SO_2 adsorption after impregnating triethanolamine (TEA) on SBA-15. Pore enlargement for PE-MCM-41 (PME) and SBA-15PL and then modified with polypropyleneimine dendrite and polyethyleneimine (PEI) was studied by [9]. He claimed that PEI-PME provided the highest adsorption capacity of 4.68 mmol SO_2 /g. However, the reusability of SO_2 adsorbents has not been studied widely.

In this work, MCM-41 mesoporous materials synthesized from rice husk ash was used to study the SO_2 adsorption. The effects of functionalized amine/amide and their reversible ability were investigated. Studied variables of loading

of amine/amide, temperature condition, initial concentration, and flow rate were performed. Moreover, the studied adsorbent was tested for its reusability.

Materials and method

1) Preparation of MCM-41 and modified MCM-41

The synthesis of MCM-41 mesoporous silica has been described elsewhere (Areerob et al., 2011). Silica was extracted directly from rice husk (RH) under a refluxing technique in HCl solution, Afterward, it was calcined at 700°C for 4 hours. Obtained silica was used to prepare sodium silicate solution. The mesoporous material was prepared by using hexadecyl (trimethyl) ammonium bromide (CTAB) as a template and sodium silicate obtained previously. The synthesis was done in hydrothermal condition at 90°C for 3 days and calcined at 600°C for 6 hours. MCM-41 from rice husk silica (assigned as RM) in white powder was obtained.

Urea (U), Monoethanolamine (MEA), triethylenetetramine (TETA) and dimethylformamide (DMF) were loaded on RM by an impregnation technique. A solution of amine/amide was prepared in a dispersing agent; acetone. The impregnation was carried out in a sonication condition. After that the soaked material was heated up to 65°C to expel acetone out. The materials were assigned as X-RM; where X represents amine/amide loading species. For example: U-RM represents MCM-41 from rice husk silica promoted by urea.

2) Dynamic adsorption experiments.

The dynamic study of SO₂ adsorption was carried out in a fixed bed unit. Studied adsorbent was sieved to 2 mm in equivalent diameter before loading into a quartz tube with an internal diameter of 6 mm. Approximately 1 g of adsorbent was used. The condition provided the packing length long enough compared to the tube diameter ($L/D > 20$) to overcome the external mass transfer effect. The experiment was tested in atmospheric pressure using

the starting gas of 1,000 ppm SO₂ in balance of nitrogen. The inlet gas was further mixed with nitrogen to adjust the inlet SO₂ concentration. The tests were carried out under the WHSV of 42,000 hr⁻¹. The concentration of SO₂ in the effluent line was monitored online by SO₂ analyzer, model: SOA-7000 Shimadzu, Japan.

The sorption capacity of each studied sorbent is calculated through the area covered by the breakthrough curve, as shown in Equation 1.

$$SC = \frac{F}{m} \int_0^\infty (C_{in} - C_t) dt \quad (\text{Eq. 1})$$

Where SC: Sorption capacity; mg/g of sorbent

F: Flow rate of studied exhaust; mL/min

m: Weight of sorbent; g

C_{in}: SO₂ feed inlet concentration; mg/m³

C_t: SO₂ concentration at certain time; mg/m³

The adsorption breakthrough time was considered at the 20% of an initial SO₂ concentration in the feed stream. For the reusability study, sorbent was regenerated by heating to 80-200°C right after the adsorption. The regeneration of adsorbent was kept for 30 min until SO₂ could not be detected (less than 0.1 ppm).

3) Material characterizations

Studied adsorbents were characterized for their physicochemical properties as presented;

Powder XRD patterns were obtained from a Bruker AXS: D8 ADVANCE A25 diffractometer, United States. The x-ray was generated from a Cu Ka target with a potential of 35 kV. The scan was performed between 2θ values of 2 and 10 degrees at a scan rate of 0.02 degrees per minute.

N₂ Adsorption-desorption was performed, by a Micromeritics ASAP 2010 sorption analyzer, United States, to evaluate the surface area and pore size distribution. Sample was pretreated with heat at 105°C in vacuum environment overnight before the measurement. Specific surface area was calculated by using the standard BET method at the relative pressure range of 0.05-0.30, while pore size distribution was computed based on the BJH equation.

The IR spectra represents surface functional groups were obtained by a Fourier Transform Infrared spectrometer (FTIR-UATR, PerkinElmer spectrum two, United States). The sample was scanned within the wavenumber range of 650 to 4,000 cm⁻¹.

The surface morphology of the materials was examined by SEM (JSM-6700F, JEOL, Japan), equipped with EDX for elemental analysis and their element distributions.

Results and discussion

1. Material properties

The N₂ adsorption-desorption isotherms of fresh adsorbents (RM) modified with amine/amide of 1% (as examples) are shown in Fig. 1. A sharp increase between relative pressure P/P_0 of 0.25 and 0.35 corresponds to capillary condensation within uniform mesopores. Small hysteresis loops in the adsorption and desorption cycle upon pore condensation were observed on each adsorbent, which indicated that RM and modified RM contained mesopore size. The adsorptions of N₂ isotherms over all samples presented type IV (IUPAC) patterns, which confirmed a character of highly porous and one-dimensional material. RM sample has mesopore size distributions with the average pore size of 3.2 nm. The surface properties were in the same results discussed by others (Areerob et al., 2011; Kumar et al., 2001).

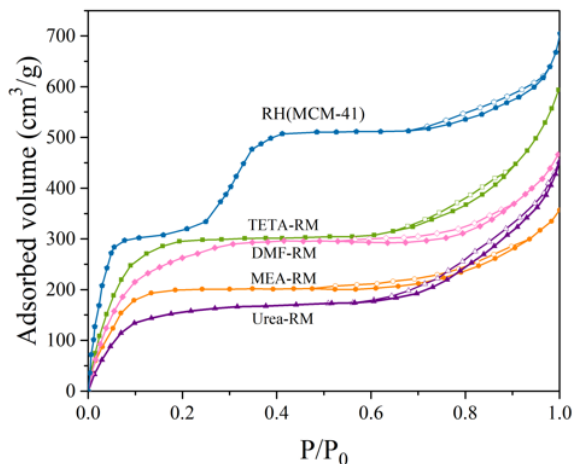


Fig. 1 N₂ adsorption-desorption of MCM-41 (RM), U-RM, MEA-RM, TETA-M, and DMF-RM (Considering the loading at 1%wt).

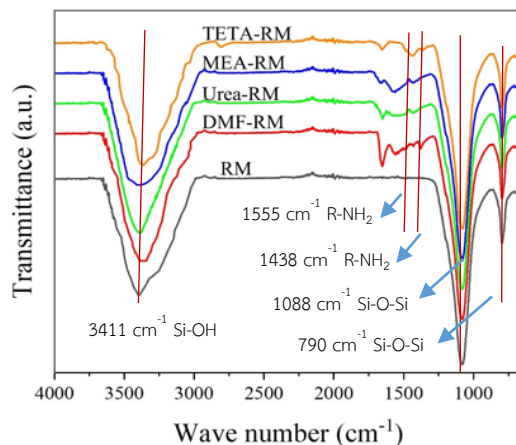


Fig. 2 FTIR spectra and of MCM-41 (RM), U-RM, MEA-RM, TETA-M, and DMF-M (Considering the loading at 1%wt).

Amine/amide modified RM samples were analyzed for their surface area and average pore size. The data is tabulated in Table 1. The surface area of all amine/amide modified RM contained less surface area, while the average pore size was little smaller compared to that of pristine RM. This was probably

caused by the blocking of amine/amide species on top and or inside the pore structures.

Table 1 Surface properties of studied adsorbents

Adsorbent	BET Surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size (nm)	N- component (wt%)
MCM-41	715	0.49	3.2	--
1% U-RM	420	0.36	2.91	0.77
1% MEA-RM	448	0.34	2.95	1.44
1% TETA-RM	491	0.34	2.98	0.85
1% DMF-RM	480	0.35	2.89	0.94

To confirm the availability of amine/amide species in the modified RM, they were analyzed through an elemental analysis. Nitrogen compositions grafted onto the material considering samples with 1% loading on each amine/amide modified RM are presented in Table 1. The amounts of N are 0.77, 1.44, 0.85, and 0.94 were observed after modifying with urea, MEA, TETA, and DMF, respectively. The results corresponded with their stoichiometric reaction of silinol groups (Si-OH) on RM surface and amine species.

Fig. 2 shows FTIR spectra of RM and RM modified TETA, DMF, MEA, and urea with 1%wt loading. It was observed that the RM displayed a large availability of -OH group around 3411 cm⁻¹, which corresponded to Si-OH hydrogen-bonded OH. They were absorption bands at 1088 cm⁻¹ and 790 cm⁻¹, which could be attributed to Si-O-Si strong siloxanes, and Si-O-Si, respectively. The amine/amide modified RM displayed similar spectrum patterns to the pristine RM, as described. It indicated the impregnation of TETA, DMF, MEA, and urea, did not affect the structure of RM. In addition, the FTIR spectrum of TETA-RM showed the characteristic bands at 1555 and 1438 cm⁻¹ were

observed. They corresponded to N-H bending of primary amine (R-NH_2) composed in TETA structure. For amide modifications, bands at 1560, 1653 cm^{-1} were observed corresponded to the availability of C=O stretching for 1° and 3° amide, respectively. Bands of 1085 1135 1636 and 1480 cm^{-1} were presented for DMF-RM and U-RM. They indicated the presence of C-N stretching and N-H bending of amine species, respectively. The EDS analysis showed uniform dispersion of N ions on DMF-RM (as an example). This confirms that the impregnation technique provides good dispersion of loading over supported material.

SEM images and XRD patterns are shown in Fig. 3. Only DMF-RM was selected as an example, and its element mapping of Si, N, and O. Fig. 3a illustrates particles with irregular shape and dimensions. The EDS analysis showed uniform dispersion of N ions on DMF-RM. This confirms that the preparation technique provides good dispersion of nitrogen loading over supported material.

Fig. 3b presents the XRD spectra of RM and DMF-RM. It was found that 3 peaks for both samples; the first peak was the emphatic peak at 2.5 degree, representing the hexagonal structure, the second peak at 4.3 degree and the last one at 4.9 degree. The results confirmed the form of MCM-41 material structure (ICDD#49-1712).

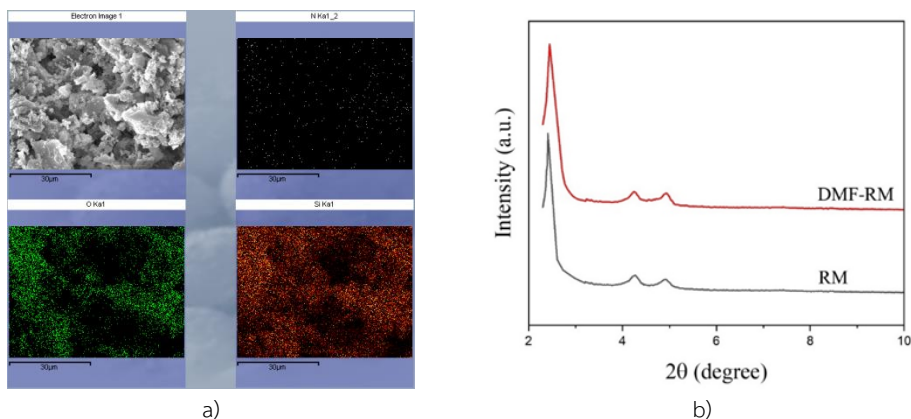


Fig. 3 a) SEM-EDX of 3% DMF-RM (Including EDS for N, O and Si),
b) XRD spectra of RM and DMF-RM.

2. Adsorption tests

MCM-41 synthesized from rice husk (RM) is a highly ordered mesoporous structure with availability of high surface area. It also has a large number of silanol group as the main functional group. RM and its modified ones were tested the adsorption of SO_2 in a packed column. The total flow rate of mixed gas was introduced continuously 500 mL/min, corresponding to $42,000 \text{ hr}^{-1}$ of WHSV. The breakthrough curves of SO_2 capture performed at 30°C are shown in Fig. 4a. In this study, the loading of amine/amide was fixed at 3%wt. The sorption capacity of DMF-RM, TETA-RM, MEA-RM, and U-RM were calculated (by Eq. 1) to be 9.325, 4.772, 3.53, and 3.31 $\text{mg}_{\text{SO}_2}/\text{g}_{\text{ads}}$, respectively. The sorption capacity on amine/amide modified RM were also higher than RM. Their capacities were higher than RM itself, 2.92 $\text{mg}_{\text{SO}_2}/\text{g}_{\text{ads}}$, as presented in Fig. 4b. The SO_2 breakthrough time on amine/amide modified RM were longer than that on pristine RM. Considering the amine/amide modified RM, they possessed the surface area less than RM, however, the constitutions of amine and amide groups on the surface of modified samples might play a role on adsorption

improvement. Considering on the highest SO_x caption capacity, we showed two profiles of breakthrough curves of DMF-RM. One of the profiles was not complete after adsorption time after 60 min. This might be caused by the channeling package problem on the top part of the column.

The results revealed that species containing 3° amine/amide was able to increase the adsorption units higher than those containing 2° and 1° amine and amide. The results corresponded with the results described by Yu et al., (2019). The performance of DMF-RM was considered further in loading, temperature, initial concentration effects and the reusability of the adsorbent.

2.1 Effect of loading

DMF was impregnated onto RM with different weight percent (1, 3, 5%wt). They were performed at 30°C and 42,000 hr⁻¹ of WHSV. The higher DMF loading, the sorption capacity and breakthrough time are extended higher and longer, as shown in Fig. 4b. DMF-RM loading varied 1-5%wt provided the SO₂ sorption capacity in similar range of 11.6 to 12.7 mg/g, while the breakthrough time moved from 40 min to 120 min ca. The higher amount of amine loaded affected highly to the SO₂ removal. However, the leading of 5%wt might give some inconsistent results, caused by the agglomerated particles.

2.2 Temperature effect

The effect of adsorption temperature was performed at 25, 50, 60, and 100°C. It was conducted with an initial SO₂ concentration of 100 ppm and WHSV 42,000 hr⁻¹. Results of breakthrough curves and capacities are presented in Fig. 4c. The adsorption capacity decreased dramatically from 9.4 to 7.1, 6.7, and 4.3 mg/g, respectively. The breakthrough time therefore reduced from 100 min to 62 min. It was obvious that adsorption bonding of SO₂ molecules with the adsorbent sites possibly became weaker at higher temperature. Consequently, the adsorption capacity became lower, and the breakthrough curves became suddenly dropped.

2.3 Initial concentration effect

Initial concentration of SO_2 was studied under the same WHSV. Using an initial concentration ranged between 80-120 ppm, it can be seen, in Fig. 4d, the breakthrough time was greatly reduced with higher concentration. Considering the sorption capacity, they provided very similar values, which were 11.7 and 11.4 mg/g, respectively. As observed that the uptake amount was little lower with high initial concentration. Moreover, the adsorption of high concentration performed completely within the shorter period (~ 83 min.) compared to that of low concentration (~ 112 min.). Besides, the breakthrough curve of higher initial concentration did not sharply rise as that of lower initial concentration. This indicated that higher concentration might not be recommended under this WHSV conditions.

3. Reusable potential of adsorbent

One focusing point of this work was on the stability and repeatability of selected adsorbent. To study the regeneration of adsorbent, the adsorbent was saturated by SO_2 were desorbed after a breakthrough experiment. The desorption of SO_2 out from the adsorbent surface (3%DMF-RM) was done through higher temperature swing process. Temperature was raised to 80, 120 and 150°C and kept for 30 min. The column was cooled down, afterward, before running for the next consecutive round. It was observed the desorption peaks observed with temperature at 80, 120 and 150°C , were found smaller compared to the uptake one, as shown in Fig. 5. It, therefore, indicated that with these temperatures was unable to desorb SO_2 species attached to adsorbent completely. The condition at 200°C was then recommended. The material (3%DMF-RM) was exposed to eight consecutive cycles of 80 ppm SO_2 . Little change in SO_2 adsorption capacity was observed over eight cycles. It is approximated that the sorption capacity declined about 4% of the initial capacity after the 8th cycle.

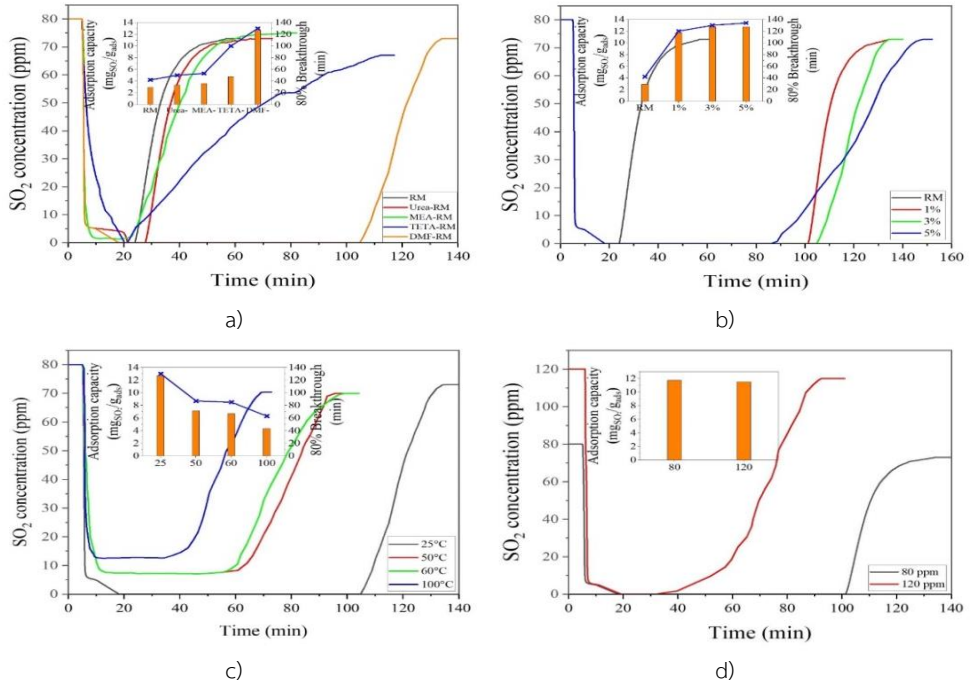


Fig. 4 a) SO₂ breakthrough curves on different kinds of modified -RM, b-d) SO₂ breakthrough curves over DMF-RM on the study of loading, temperature, and initial concentration, respectively, and their corresponding uptake capacities and breakthrough times (insets).

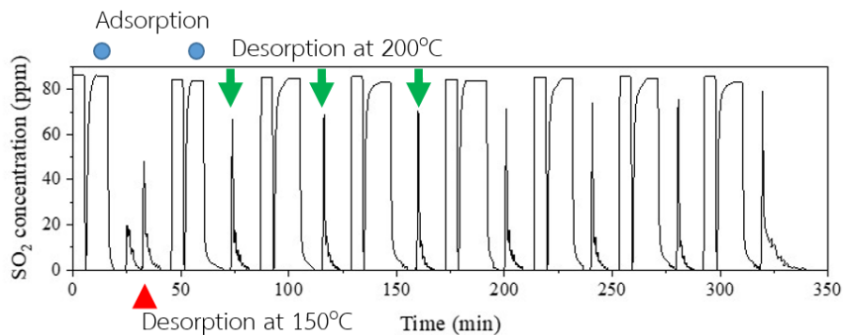


Fig. 5 Adsorption-regeneration of SO₂ over DMF-RM for 8 cycles.

Conclusions

Rice husk was utilized as a potent precursor for the preparation of MCM-41 (RM). Surface area and average pore diameter of the synthesized MCM-41 were found to be $600\text{--}800\text{ m}^2\text{g}^{-1}$, and $3.2\text{ \AA}$. RM was modified by amine/amide (urea (U), monoethanolamine (MEA), triethylenetetramine (TETA) and dimethylformamide (DMF)). Microcrystalline structure of hexagonal for both pristine and modified RM was examined by XRD. The loading of amine/amide had no significant effect to the structure of RM. The loading distribution was found uniformly through SEM-EDS. Amine/amide modified RM adsorbents were tested for SO_2 removal in synthetic waste gas. At the optimal conditions ($42,000\text{ hr}^{-1}$ WHSV, initial SO_2 concentration $<120\text{ ppm}$, temperature $<60^\circ\text{C}$), the DMF-RM exhibited a maximum removal of $12\text{ mg}_{\text{SO}_2}/\text{g}_{\text{adsorbent}}$. The regeneration of adsorbent was completely exhibited at 200°C .

Acknowledgement

This work was financially supported by Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University (Thailand).

References

- Aaron, D., & Tsouris, C. (2005). Separation of CO_2 from flue gas: a review. *Separation Science and Technology*, 40, 321-348.
- Abdulrasheed, A. A., Jalil, A. A., Triwahyono, S., Zaini, M. A. A., Gambo, Y., & Ibrahim, M. (2018). Surface modification of activated carbon for adsorption of SO_2 and NOX: a review of existing and emerging technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1067-1085.

- Areerob, T., Grisdanurak, N., & Chiarakorn, S. (2011). Improvement of BTEX adsorption using silylated RH-MCM-41 synthesized from rice husk silica. *Materials Science Forum*, 700, 231-235.
- Berger, M., Dorge, S., Nouali, H., Habermacher, D., Fiani, E., Vierling, M., Molière, M., Brilhac, J. F., & Patarin, J. (2018). Role of the process conditions on the sulphation and stability of a CuO/SBA-15 type SO_x adsorbent in cycling operations. *Chemical Engineering Journal*, 350, 729-738.
- Bhagiyalakshmi, M., Yun, L. J., Anuradha, R., & Jang, H. T. (2010). Utilization of rice husk ash as silica source for the synthesis of mesoporous silicas and their application to CO₂ adsorption through TREN/TEPA grafting. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 928-938.
- Dhokte, A. O., Khillare, S. L., Lande, M. K., & Arbad, B. R. (2011). Synthesis, characterization of mesoporous silica materials from waste coal fly ash for the classical Mannich reaction. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17, 742-746.
- Diaf, A., & Beckman, E. J. (1995). Thermally reversible polymeric sorbents for acid gases, IV. Affinity tuning for the selective dry sorption of NO_x. *Reactive Polymers*, 25, 89-96.
- Gang, L., Shaoguang, H., & Qian, K. (2022). A promoted mesoporous silica-based material for SO₂ adsorption. *Silicon*, 14, 2225–2233.
- Hanif, M. A., Ibrahim, N., Isa, K. M., & Jalil, A. A. (2020). Application of mesoporous silica as catalyst support in sulfur dioxide removal: metal and amine sorbent modifications. In: Proceedings of 2nd Joint Conference on Green Engineering Technology & Applied Computing 2020, 4-5 February, 2020, Bangkok, Thailand. Doi 10.1088/1757-899X/864/1/012131.

- Kumar, P., Mal, N., Oumi, Y., Yamana, K., & Sano, T. (2001). Mesoporous materials prepared using coal fly ash as the silicon and aluminium source. *Journal of Material Chemistry A*, 11, 3285-3290.
- Kylhammar, L., Carlsson, P. A., Ingelsten, H. H., Grönbeck, H., & Skoglundh, M. (2008). Regenerable ceria-based SO_x traps for sulfur removal in lean exhausts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 84, 268-276.
- Li, G., Wang, B., Sun, Q., Xu, W. Q., & Han, Y. (2017). Adsorption of lead ion on amino-functionalized fly-ash-based SBA-15 mesoporous molecular sieves prepared via two-step hydrothermal method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 252, 105-115.
- Rahmaninejad, F., Gavaskar, V. S., & Abbasian, J. (2012). Dry regenerable CuO/ γ -Al₂O₃ catalyst for simultaneous removal of SO_x and NO_x from flue gas. *Applied Catalysis B: Environmental*, 119-120, 297-303.
- Taylor, R., & Sayari, A. (2016). Grafted propyldiethanolamine for selective removal of SO₂ in the presence of CO₂. *Chemical Engineering Journal*, 289, 142-149.
- Taylor, R., Abboud, M., & Sayari, A. (2014). Supported polytertiary amines: highly efficient and selective SO₂ adsorbents. *Environmental Science & Technology*, 48, 2025-2034.
- Uyanga, I. J., & Idem, R. O. (2007). Studies of SO₂- and O₂-induced degradation of aqueous MEA during CO₂ capture from power plant flue gas streams. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46, 2558-2566.
- Wang, X., Ma, X., Zhao, S., Wang, B., & Song, C. (2009). Nanoporous molecular basket sorbent for NO₂ and SO₂ capture based on a polyethylene glycol-loaded mesoporous molecular sieve. *Energy & Environmental Science Journal*, 2, 878-882.
- Xu, Q., Jiang, W., Xiao, J., & Wei, X. (2019). Absorption of sulfur dioxide by tetraglyme–sodium salt ionic liquid. *Molecules*, 24, 436.

- Xu, X., Song, C., Miller, B. G., & Scaroni, A. W. (2005). Adsorption separation of carbon dioxide from flue gas of natural gas-fired boiler by a novel nanoporous “molecular basket” adsorbent. *Fuel Processing Technology*, 86, 1457-1472.
- Yu, X., Hao, J., Xi, Z., Liu, T., Lin, Y., & Xu, B. (2019). Investigation of low concentration SO₂ adsorption performance on different amine-modified merrifield resins. *Atmospheric Pollution Research*, 10, 404-411.
- Zhi, Y., Zhou, Y., Su, W., Sun, Y., & Zhou, L. (2011). Selective adsorption of SO₂ from flue gas on triethanolamine-modified large pore SBA-15. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 8698-8702.

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก กรณีศึกษาการหมักในเชิงไม้ THE STUDY OF MACRONUTRIE CONTENT OF COMPOST : A CASE STUDY OF FERMENTATION IN WOOD BASKETS

อนุชา เพียรชนะ¹, จิริยา แก้วปัทมา^{2,*} และ ช่อผกา วงษ์สมบัติ²
Anucha Phianchana¹, Jiriya Kaewpatcha^{2,*} and Chophaka Wongsmbut²

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธาธานี

² โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

² The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

Received: 1 September 2022

Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่รตน้ำแตกต่างกัน และ 2) เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักแบบการหมักวางบนพื้นดินและวางในดิน โดยทำการหมักในเชิงไม้ ขนาดความสูง 36 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร โดยใส่ขยะใบไม้แห้งเชิงละ 8 กิโลกรัม ทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง โดยเชิงที่ 1, 3, 5 ทำการทดลองหมักวางบนดิน และเชิงที่ 2, 4, 6 ทำการทดลองหมักวางในดิน ซึ่งเชิงที่ 1 และเชิงที่ 2 จะรดด้วยน้ำประปา เชิงที่ 3 และเชิงที่ 4 รดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 เชิงที่ 5 และเชิงที่ 6 รดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาล รดน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์ ในปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ผลการวิจัย พบว่า ปุ๋ยหมักชุดที่ 1 เชิงที่ 1 วางบนดิน และเชิงที่ 2 วางในดิน รดด้วยน้ำประปา มีปริมาณไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.40 ± 0.02 และ 0.30 ± 0.02 โดยน้ำหนัก ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ย 0.10 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.01 โดยน้ำหนัก ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ย 0.10 ± 0.01 และ 0.00 ± 0.06 โดยน้ำหนัก ปุ๋ยหมักชุดที่ 2 เชิงที่ 3 วางบนดิน และเชิงที่ 4 วางในดิน รดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 มีปริมาณไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.80 ± 0.01 และ 0.60 ± 0.02

* Corresponding author: จิริยา แก้วปัทมา

E-mail: Jiriya1901@gmail.com

โดยน้ำหนัก ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ย 0.20 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.01 โดยน้ำหนัก ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ย 0.10 ± 0.01 และ 0.00 ± 0.06 โดยน้ำหนัก ปุ๋ยหมักชุดที่ 3 แข่งที่ 5 วางบนดิน และแข่งที่ 6 วางในดิน รดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาล มีปริมาณไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.60 ± 0.02 และ 0.10 ± 0.01 โดยน้ำหนัก ปริมาณฟอสฟอรัส มีค่าเฉลี่ย 0.10 ± 0.00 และ 0.10 ± 0.01 โดยน้ำหนัก ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ย 0.20 ± 0.02 และ 0.10 ± 0.01 โดยน้ำหนัก และพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักวางบนดินและวางในดินมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ที่ต้องมีปริมาณไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: ธาตุอาหารหลัก, ปุ๋ยหมัก, แข่งไม้ไผ่

Abstract

The objectives of this research were 1) to study the macronutrient content of compost with different watering and 2) to study the main nutrient content of the compost by composting on the ground and in the soil. By composting in bamboo baskets, height : 36 cm., diameter : 40 cm, with 8 kg of dry leaf waste in each basket, a total of 3 sets of experiments were carried out in baskets 1, 3, 5, fermentation experiments were placed on the soil, and baskets 2, 4, 6 were composted in the soil, which the 1st and 2nd races were sprinkled with tap water, the 3rd and 4th baskets were sprinkled with tap water mixed with PD 1, the 5th and 500 ml, the 6th baskets were sprinkled with tap water mixed with molasses, watering once a week. It Took 90 days to ferment. Nitrogen, Phosphorus and Potassium content were analyzed. The results showed that the first batch of compost, the first basket was placed on the soil and the second basket was placed in the soil, sprinkled with tap water. The mean nitrogen content was 0.40 ± 0.02 and 0.30 ± 0.02 by weight. Phosphorus was 0.10 ± 0.01 by weight and 0.10 ± 0.01 by weight. The average Potassium content

was 0.10 ± 0.01 and 0.00 ± 0.06 by weight. The 2nd batch of compost, the 3rd basket was placed on the soil and the 4th basket was placed in the soil and sprinkled with tap water mixed with PD.1. The average Nitrogen content was 0.80 ± 0.01 and 0.60 ± 0.02 by weight, the average Phosphorus content was 0.20 ± 0.01 and 0.10 ± 0.01 by weight, and the Potassium content was 0.10 ± 0.01 and 0.00 ± 0.06 by weight. The 5th, basket was placed on the soil and the 6th basket was placed in the soil, watered with tap The 3rd batch of compost water mixed with molasses. The average Nitrogen content was 0.60 ± 0.02 and 0.10 ± 0.01 by weight. Phosphorus average was mean 0.10 ± 0.00 and 0.10 ± 0.01 by weight, Potassium content was 0.20 ± 0.02 and 0.10 ± 0.01 by weight. organic fertilizer standard (Department of Agriculture, 2012) must contain and it was found that Nitrogen content of not less than 1.0% by weight, Phosphorus and Potassium content, was not less than 0.5% by weight.

Keywords: macronutrients, compost, bamboo baskets

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 321 ล้านไร่ หรือประมาณ 513,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีพื้นที่สำหรับทำการเกษตร 138 ล้านไร่ (บรรณาธิการ, 2561) โดยจะใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว การทำไร่ และการปลูกผักสวนครัว ฯลฯ ซึ่งถือว่าเป็นอาชีพหลักของเกษตรกร โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 มีการใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรมากที่สุด 35.52 ล้านไร่ หรือร้อยละ 63.10 ของพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวทั้งหมดในประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561ก) มีการนำเข้าของสารเคมีโดยเฉพาะปุ๋ยเคมีจำนวนมาก ปัจจุบันมีการนำเข้าของปุ๋ยเคมีประมาณ 100,000 ล้านตัน หรือประมาณ 110,000,000 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561ข) ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง และเกษตรกรส่วนใหญ่มีอาการเจ็บป่วยหลังจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากพฤติกรรมการใช้สารเคมีไม่ถูกต้องทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง อาการเฉียบพลันมีตั้งแต่ระดับเล็กน้อยจนรุนแรงถึงแก่ชีวิต ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น

ความเป็นพิษ และปริมาณที่ได้รับสาร อาการเรื้อรังจากสารกำจัดศัตรูพืชจะสะสมในอวัยวะต่างๆ ของร่างกายทำให้เกิดความผิดปกติและโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง สารกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น การสัมผัสทางผิวหนัง การสูดหายใจเอาละอองที่ฟุ้งกระจายในอากาศ การรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีสารเคมีปนเปื้อน ซึ่งพฤติกรรมการใช้สารเคมีที่ไม่ปลอดภัยทำให้เกษตรกรผู้อาศัยอยู่ในชุมชนมีความเสี่ยงจากอันตรายของสารเคมีเพิ่มขึ้น (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2557) ดังนั้นเพื่อสุขภาพของผู้ปลูกและผู้บริโภคมีสุขภาพที่ดีขึ้น และยังเป็นการลดต้นทุนในการเพาะปลูก เกษตรกรจึงควรที่จะหันมาทำปุ๋ยหมักใช้ในครัวเรือนต่อไป

การปุ๋ยหมักสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การหมักปุ๋ยหมักในบ่อดิน บ่อคอนกรีต และกองฟืน รวมทั้งการหมักในถังหมัก หรือกรณีการใส่สารตัวเร่งมีทั้งสารตัวเร่งที่เป็นมูลสัตว์ต่างๆ หรือใช้จุลินทรีย์ที่เตรียมขึ้นเอง เช่น จุลินทรีย์ EM เป็นต้น หรือกรณีการใช้สัดส่วนในการหมักปุ๋ยระหว่างขยะที่เป็นสารอินทรีย์กับดินและสารตัวเร่งต่างๆ ที่ใช้ตลอดจนกรณีศึกษาช่วงเวลาการหมัก และฤดูกาลต่างๆ ก็มีส่วนสำคัญ ที่จะทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพที่แตกต่างกันในเรื่องของปริมาณธาตุอาหารหลัก ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมทั้งลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการเป็นปุ๋ยหมักที่ใช้ในการบำรุงดิน (บวร ไชยชา, 2548)

ดังนั้นงานวิจัยการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก กรณีศึกษาการหมักในเชิงไม้ จะเน้นในเรื่องความแตกต่างของการวางภาชนะปุ๋ยหมักในรูปแบบการวางบนพื้นดิน และการวางในดิน และความแตกต่างของส่วนผสมที่ใช้ในการรดน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการรดด้วยน้ำประปา รดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 และรดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาล จะรดน้ำทุกๆ 7 วัน โดยจะเน้นวิธีที่เรียบง่าย สะดวก ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และใช้เวลาในการหมักที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้ไม่เป็นการสร้างภาระงานที่หนักแก่เกษตรกรผู้สนใจและหันมาใช้ปุ๋ยหมักในการเกษตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ดำเนินการวิจัย

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก กรณีศึกษาการหมักในเชิงไม้ ทำการหมักปุ๋ยที่พื้นที่โครงการต้นแบบเพื่อการเผยแพร่เทคโนโลยีการกำจัดขยะด้วยกลองคอนกรีต และบำบัดน้ำเสียด้วยพืช ศูนย์จังหวัดอุบลราชธานี ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา

สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งเริ่มทำการหมักตั้งแต่วันที่ 17 ตุลาคม 2563 ถึง 17 มกราคม พ.ศ. 2564 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

2. ขอบเขตของการวิจัย

2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

2.1.1 ตัวแปรต้น คือ เศษใบไม้ น้ำประปา น้ำผสม พด.1 และน้ำผสมกากน้ำตาล

2.1.2 ตัวแปรตาม คือ ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K)

2.1.3 ตัวแปรควบคุม คือ 1) ปริมาณใบไม้แห้งที่ใช้หมักแต่ละช่อง 2) ปริมาณน้ำที่ใช้รดปุ๋ยหมัก 3) ขนาดของช่องมีขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร 4) ชนิดของช่อง 5) รูปแบบการหมัก (บนดิน, ในดิน)

2.2 เตรียมภาชนะในการหมักปุ๋ย

2.2.1 เตรียมช่องไม้ขนาด 40x36 เซนติเมตร จำนวน 6 ช่อง

2.2.2 ขุดหลุมเตรียมไว้ จำนวน 3 หลุม

2.3 เตรียมวัสดุก่อนหมัก ได้แก่ เศษใบไม้แห้ง

2.4 เก็บตัวอย่างก่อนหมัก ได้แก่ เศษใบไม้แห้งที่ทำการบดแล้ว

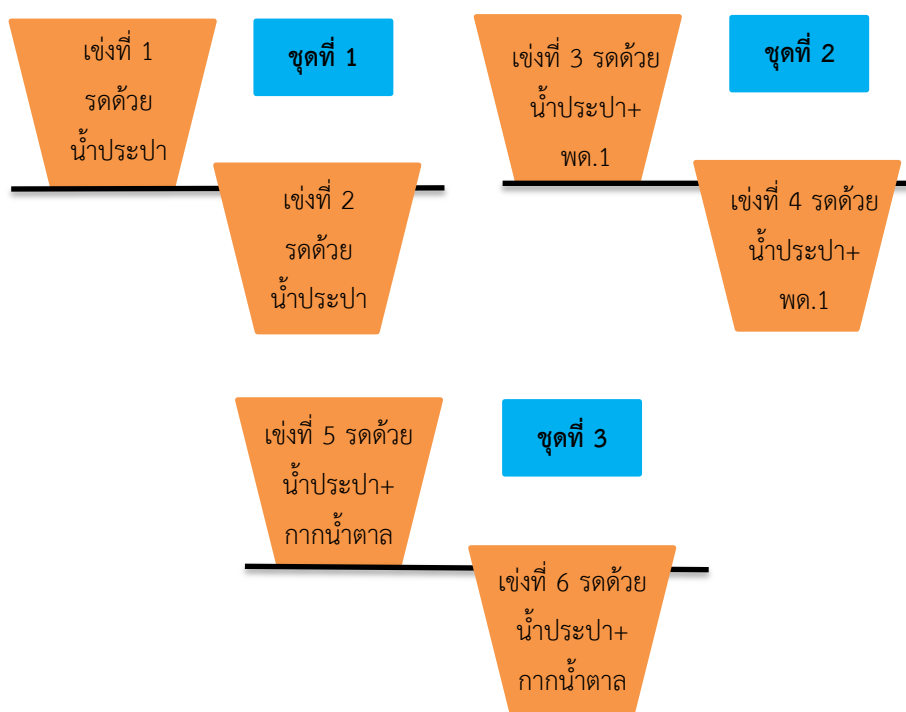
2.5 การหมัก เตรียมเศษใบไม้ที่บดแล้ว 48 กิโลกรัม มากองรวมกันแล้วรดน้ำให้มีความชื้นร้อยละ 50 จากนั้นแบ่งใส่ช่องไม้ จำนวน 6 ช่อง และนำช่องจำนวน 3 ช่อง ลงไป ในหลุมที่เตรียมไว้ อีก 3 ช่อง ตั้งบนดินไว้ข้างหน้าของแต่ละหลุม โดยแบบที่ 1 ของช่องไม้จะรดด้วยน้ำประปา แบบที่ 2 จะรดน้ำประปา 500 มิลลิลิตรผสมด้วย พด. 1.5 กรัม แบบที่ 3 จะรดน้ำประปา 500 มิลลิลิตรผสมด้วยกากน้ำตาล 50 กรัม ซึ่งบนดินก็รดแบบเดียวกันตามลำดับ รดน้ำสัปดาห์ละครั้ง ครั้งละ 500 มิลลิลิตรต่อช่อง

2.6 เก็บตัวอย่างหลังหมัก ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

3. วิธีการทำปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักจะเตรียมภาชนะหมักขยะคือ ช่องไม้ ขนาด 40x36 เซนติเมตร จำนวน 6 ช่อง และเตรียมหลุมหมักขยะ สำหรับหมักขยะในดินให้มีความกว้าง 45 เซนติเมตร ความลึก 30 เซนติเมตร จำนวน 3 หลุม การเตรียมวัสดุหมักจะเก็บรวบรวมเศษใบไม้แห้ง

ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีก่อนทำการหมักได้นำขยะประเภทใบไม้แห้งมาบดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ นำมากองรวมกันแล้วรดน้ำให้มีความชื้นร้อยละ 50 ใส่ถังแต่ละถังให้มีปริมาณถังละ 8 กิโลกรัม และนำไปวางในพื้นที่ที่เตรียมไว้ โดยถังที่ 1, 3, 5 จะทำการหมักแบบวางบนพื้นดิน ส่วนถังที่ 2, 4, 6 จะทำการหมักแบบวางอยู่ในหลุมที่เตรียมไว้ทำการรดน้ำทุกๆ 7 วัน ครั้งละ 500 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน การรดน้ำจะใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันคือ ชุดที่ 1 รดด้วยน้ำประปา 500 มิลลิลิตร ชุดที่ 2 รดด้วยน้ำประปา 500 มิลลิลิตรผสมพด.1 1.5 กรัม ชุดที่ 3 รดด้วยน้ำประปา 500 มิลลิลิตรผสมกากน้ำตาล 50 กรัม โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด ดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการวางและการรดน้ำ

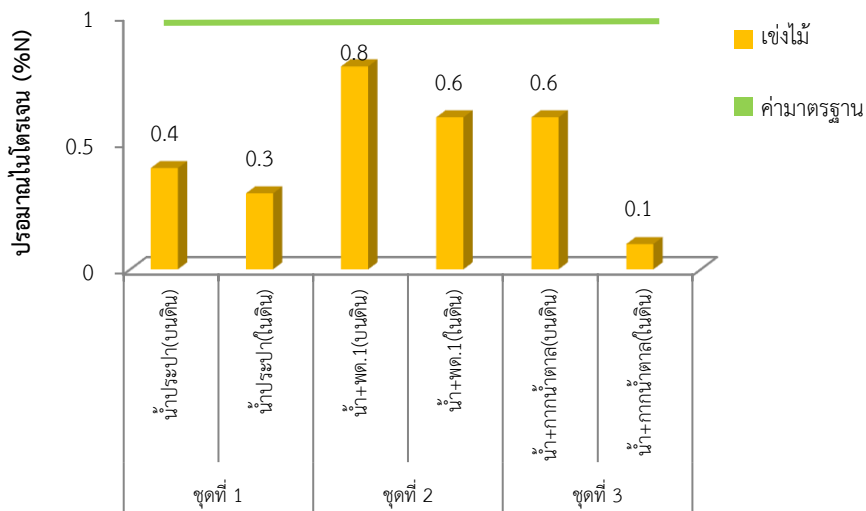
พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
ไนโตรเจน (N)	%N	Kjeldahl method
ฟอสฟอรัส (P)	%P ₂ O ₅	Vanadomolybdate method
โพแทสเซียม (K)	% k ₂	Flame photometry

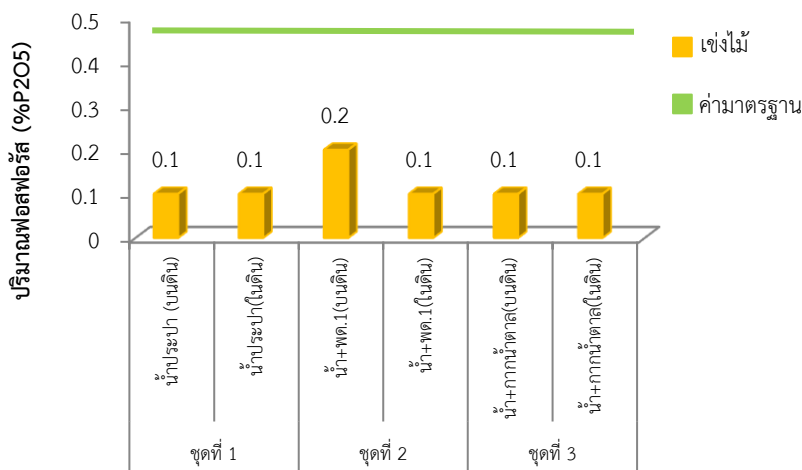
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทำปุ๋ยหมักแข่งไม้แบบการหมักวางบนพื้นดินและวางในดิน ทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง โดยแข่งที่ 1, 3, 5 ทำการทดลองหมักวางบนดิน และแข่งที่ 2, 4, 6 ทำการทดลองหมักวางในดิน ซึ่งแข่งที่ 1 และแข่งที่ 2 จะรดด้วยน้ำประปา แข่งที่ 3 และแข่งที่ 4 รดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 1.5 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร แข่งที่ 5 และแข่งที่ 6 รดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาล 50 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร โดยรดน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์ ในปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2 ปริมาณไนโตรเจน (N) จากปุ๋ยหมัก

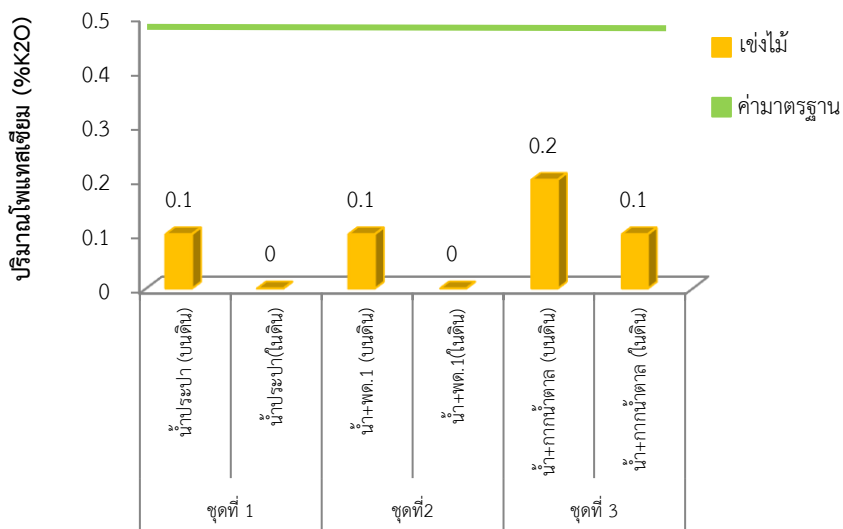
จากรูปที่ 2 พบว่า ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.4, 0.3, 0.8, 0.6, 0.6 และ 0.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร (2555) ที่มีปริมาณไนโตรเจนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก สอดคล้องกับงานวิจัย บวรไชยชา (2548) เรื่องคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักขยะมูลฝอยโดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนจากบ่อหมักทั้ง 3 แบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.255-0.316 และสอดคล้องกับงานวิจัย ชิดาร์ตัน สุพัฒน์ และมณีรัตน์ ตระการจันทร์ (2560) เรื่อง การศึกษาธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในใบไม้แห้งร่วมกับเศษผัก และใบไม้แห้งกับก้อนเห็ดนางฟ้า มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.29 และ 0.40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักทั้ง 2 สูตร มีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ สาเหตุที่ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ อาจเป็นเพราะความชื้นในกองปุ๋ย เนื่องจากทำการหมักปุ๋ยในฤดูฝนจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนถูกชะออกไปกับน้ำและอาจจะระเหยไปอย่างรวดเร็วในรูปของแอมโมเนีย



รูปที่ 3 ปริมาณ (P₂O₅) จากปุ๋ยหมัก

จากรูปที่ 3 พบว่า ปุ๋ยหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1 และ 0.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร (2555) ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก สอดคล้องกับงานวิจัย บวรไชยชา (2548) เรื่องคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักขยะมูลฝอยโดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ

พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสจากบ่อหมักทั้ง 3 แบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4966-0.7566 โดยน้ำหนัก และสอดคล้องกับงานวิจัย ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ (2547) เรื่อง การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.06-0.08 ส่วนฟางข้าวและผักตบชวามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.01-0.03 และ 0.01-0.02 ตามลำดับ มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน สาเหตุที่ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตจึงทำให้ปุ๋ยหมักหลังจากการหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ค่อนข้างน้อย



รูปที่ 4 ปริมาณโพแทสเซียม (K₂O)จากปุ๋ยหมัก

จากรูปที่ 4 พบว่า ปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.1, 0, 0.1, 0, 0.2 และ 0.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร (2555) ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก สอดคล้องกับงานวิจัย จิตารัตน์ สุพัฒน์ และมณีนรัตน์ ตระการจันทร์ (2560) เรื่องการศึกษาธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า ปริมาณโพแทสเซียม ในใบไม้แห้งร่วมกับเศษผัก และ

ใบไม้แห้งร่วมกับก้อนเห็ดนางฟ้า มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.05 และ 0.06 โดยน้ำหนัก ซึ่งปุ๋ยหมักทั้ง 2 สูตร มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ สาเหตุที่ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำอาจเป็นเพราะความชื้นในกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากทำการหมักปุ๋ยในฤดูฝนจึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมถูกชะออกไปกับน้ำ และสอดคล้องกับงานวิจัย สุรัชดาไชยชนะ (2546) เรื่องการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักขยะมูลฝอย โดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ ด้วยบ่อดิน จำนวน 6 บ่อ หมักระยะเวลา 90 วัน พบว่า บ่อที่มีช่องว่างถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อมีลักษณะค่อนข้างแห้งและมีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์กว่าบ่อที่ไม่มีช่องระบายอากาศตรงกลางบ่อ ถึงแม้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าก็ตามปริมาณโพแทสเซียม บ่อที่ไม่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อและบ่อที่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.64 และ 0.35 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เมื่อทำการหมักครบระยะเวลา 90 วัน ปุ๋ยหมักมีลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นได้ชัดคือขนาดของวัสดุหมักถูกย่อยสลายมีขนาดเล็กกลง มีสีดำปนน้ำตาล และมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ไม่มีส่วนที่มีสภาพเหมือนกับใบไม้แห้งอีกต่อไปและเมื่อนำไปศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 6 แห่งมีปริมาณไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย (0.40 ± 0.02) (0.30 ± 0.02) (0.80 ± 0.01) (0.60 ± 0.02) (0.60 ± 0.02) และ (0.10 ± 0.01) โดยน้ำหนักมีปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ย (0.10 ± 0.01) (0.10 ± 0.01) (0.20 ± 0.01) (0.10 ± 0.01) (0.10 ± 0.00) และ (0.10 ± 0.01) โดยน้ำหนัก และมีปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ย (0.10 ± 0.01) (0.00 ± 0.06) (0.10 ± 0.01) (0.00 ± 0.06) (0.20 ± 0.02) และ (0.10 ± 0.01) โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาปุ๋ยหมักที่ทำการทดลองที่ใช้ส่วนผสมในการรดน้ำที่แตกต่างกันรวมถึงการวางปุ๋ยหมักที่แตกต่างกัน คือ 1) การรดด้วยน้ำประปา ปุ๋ยหมักวางบนดินและปุ๋ยหมักวางในดิน 2) การรดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 ปุ๋ยหมักวางบนดินและปุ๋ยหมักวางในดิน และ 3) การรดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาล ปุ๋ยหมักวางบนดินและปุ๋ยหมักวางในดิน จะเห็นได้ว่าการรดด้วยน้ำประปาผสมพด.1 ปุ๋ยหมักวางบนพื้นดินจะให้ปริมาณไนโตรเจนสูงสุดร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก และให้ปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ส่วนปุ๋ยหมักที่ให้ปริมาณโพแทสเซียมสูงสุดคือปุ๋ยหมักที่รดด้วยน้ำประปาผสมกากน้ำตาลปุ๋ยหมักวางบนดิน มีปริมาณโพแทสเซียม

สูงสุดร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักวางบนพื้นดินจะให้ธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยหมักวางในดิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2555). *มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2563, จาก: <https://shorturl.asia/SXPkQ>.
- จิตรัตน์ สุพัฒน์ และ มณีรัตน์ ตระการ. (2560). *การศึกษาธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี).
- ฉันทวี ศรีธำวิรัตน์. (2547). *การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2564, จาก: <https://shorturl.asia/kMoed>.
- บรรณาธิการ. (2561). *อนาคตเกษตรในไทยแลนด์ 4.0*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2563, จาก: <https://marketeeronline.com>.
- บวร ไชยชา. (2548). *คุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักขยะมูลฝอยโดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี).
- สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2557). *ปัญหาโรคและภัยสุขภาพในกลุ่มเกษตรกร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2563, จาก: <http://envocc.ddc.moph.go.th>.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561ก). *เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรรายจังหวัดปี พ.ศ. 2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2563, จาก: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/socio/LandUtilization2561.pdf>.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561ข). *การนำเข้า-ส่งออก ปี 2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2563, จาก: <https://www.oae.go.th/view/1/siteunderconstruction/TH-TH>.
- สุรัชดา ไชยชนะ. (2546). *การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอยโดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี).

ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)
กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม
ELECTRICAL POWER MANAGEMENT SYSTEM IN BUILDINGS VIA THE
INTERNET OF THINGS: A CASE STUDY OF SRIKODTRABOON BUILDING OF
NAKHON PHANOM UNIVERSITY

ณัฐภัทร อภิรัชปิญโญ* และ สมบูรณ์ ชาวชาโขง
Nattapat Apiruchpinyo* and Somboon Chaochaikong

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสารสนเทศดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Program in Information Science and Digital Information Management, Faculty of Science
and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

Received: 11 August 2022

Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษาอาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม มีจุดมุ่งหมายเพื่อ 1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า 2) พัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 3) ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า ประชากรคือบุคลากรวิทยาลัยการทองเที้ยวและอุตสาหกรรมบริการ มหาวิทยาลัยนครพนม จำนวน 40 คน การพัฒนาระบบพบว่า ระบบสามารถบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องต่าง ๆ แสดงรายงานการใช้พลังงาน ณ ปัจจุบันและย้อนหลังรวมถึงสรุปค่าไฟฟ้า โดยผู้ใช้งานระบบสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยตัวเองหรือสั่งเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ภายในห้องทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk จากการประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจต่อระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าพบว่า ประสิทธิภาพของระบบจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Functional

* Corresponding author: ณัฐภัทร อภิรัชปิญโญ

E-mail: Apiruchpinyo@gmail.com

Test) สำหรับความพึงพอใจต่อระบบ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ (Functional Requirement Test)

คำสำคัญ: ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This research aims to 1) study the current conditions, problems, and needs of the building's electric power management system 2) develop the electric power management system 3) test the performance and satisfaction toward the electric power management system. The sample were 40 personnel who work at Tourism and Service Industry College, Nakhon Phanom University. As a result, the system can record the use of electricity in different rooms, display current and historical energy consumption reports, as well as a summary of electricity bills. Users can control electrical appliances by themselves, or the system can automatically turn on-off electrical appliances when no one is the room through the Blynk application. The result of evaluating the performance and the satisfaction by experts found the overall was at a high level. The aspect with the highest average was the function (Functional Test) for the performance, and Function requirement for the satisfaction.

Keywords: Electric Power Management System, Internet of Things

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยจากสถิติ 10 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ พ.ศ.2548 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระทรวงพลังงานได้มีนโยบายด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562) ด้วยปัจจัยที่ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น

ทุกปีทำให้ภาครัฐและภาคเอกชนนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามามีบทบาทในการบริหารและจัดการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของอุปกรณ์เคลื่อนที่และอินเทอร์เน็ต การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศจึงเป็นสิ่งสำคัญด้วยเทคโนโลยีและความสามารถในการรวบรวมข้อมูล ส่งผลให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า IoT เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกันอันเป็นผลให้ระบบต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นอิสระ (เจษฎา ขจรฤทธิ์ และคณะ, 2560)

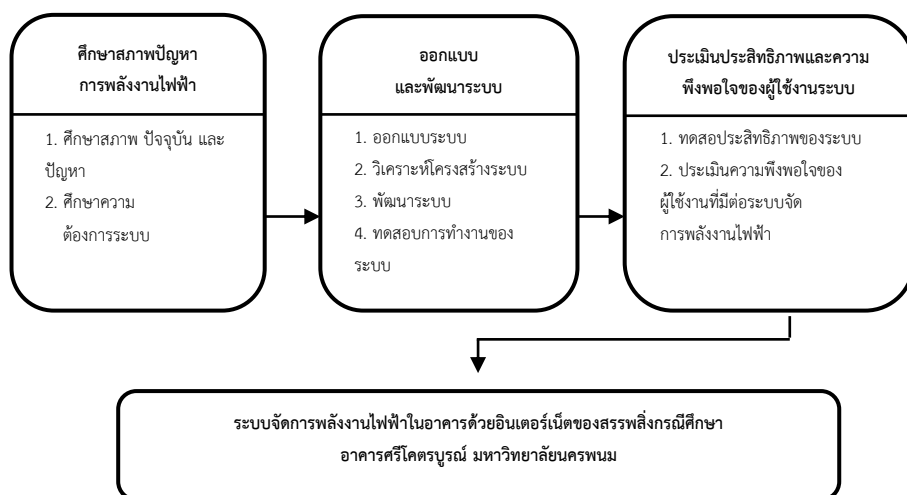
โดยที่ผ่านมามหาวิทยาลัยนครพนมได้สร้างอาคารเพื่อการเรียนการสอน หอประชุม และสนามกีฬาเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับกับจำนวนนักศึกษาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มหาวิทยาลัยนครพนมประสบปัญหาค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี โดยเฉพาะอาคารศรีโคตรบูรณ ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการเรียนการสอน ส่วนสำนักงาน และส่วนห้องประชุม และเป็นอาคารหลักที่ใช้ในการจัดประชุม สัมมนาและโครงการต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย ซึ่งจากการสรุปค่าไฟฟ้าภายใน 3 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562-2564 พบว่าค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าของอาคารศรีโคตรบูรณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยนครพนม, 2562)

จากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาประยุกต์ใช้จัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารศรีโคตรบูรณ โดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และแสดงสถานะ การทำงาน ณ ปัจจุบันหรือย้อนหลังได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การวัดค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้า การเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์เซ็นเซอร์ด้วยการตรวจจับการเคลื่อนไหวทางกายภาพ ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเพื่อส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม
2. เพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจต่อระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวความคิดการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) โดยการพัฒนาระบบด้วยวิธีวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) ซึ่งในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบผู้วิจัยได้นำแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร โดยมีขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังต่อไปนี้ (สุรียะ นิลทะราช, 2562)

ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ระยะที่ 2 พัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ระยะที่ 3 ประเมินประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย บุคลากรของวิทยาลัยการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมบริการ มหาวิทยาลัยนครพนม จำนวน 40 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ผู้บริหาร จำนวน 4 คน กลุ่มที่ 2 บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน จำนวน 36 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (structured interview) โดยค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ค่าเฉลี่ยรวม 0.97 สำหรับกลุ่มผู้บริหารและแบบสอบถาม (Questionnaires) สำหรับกลุ่มบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) เฉลี่ยรวม 0.94 ประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

1. แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้างสำหรับกลุ่มผู้บริหาร ประกอบด้วย 3 ตอน ดังนี้
ตอนที่ 1 สภาพปัจจุบันในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า
ตอนที่ 2 ปัญหาการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า
ตอนที่ 3 ความต้องการระบบการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
2. แบบสอบถามสำหรับบุคลากรสายวิชาการและบุคลากรสายสนับสนุน ประกอบด้วย 3 ตอน ดังนี้
ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม มีลักษณะเป็นตรวจสอบรายการ (Check List)

ตอนที่ 2 สภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม ดังนี้

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะหรือแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม มีลักษณะเป็นแบบสอบถามปลายเปิด (Open-ended Form)

การประเมินประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจ

1. การประเมินประสิทธิภาพระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม โดยค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ค่าเฉลี่ยรวม 0.96 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 ผู้วิจัยขอหนังสือขอความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบจากบัณฑิตวิทยาลัย

1.2 นำแบบประเมินประสิทธิภาพให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ทดลองใช้และประเมินระบบโดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา

1.3 นำผลที่ได้จากแบบประเมินประสิทธิภาพระบบสารสนเทศมาวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบ

2. การประเมินความพึงพอใจระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม จากผู้บริหารบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน จำนวน 40 คน ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ค่าเฉลี่ยรวม 0.96 โดยมีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

2.1 ผู้วิจัยนำระบบไปให้ผู้บริหาร บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนทดลองใช้งาน และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ

2.2 ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินความพึงพอใจ ผู้วิจัยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ ดังนี้

1. กลุ่มผู้บริหารใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง

1.1 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของเครื่องมือหาค่าความเที่ยงตรง (IOC) ใช้วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยรายการข้อคำถามจะต้องมีค่า ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป โดยแบบสัมภาษณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.80–1.00

1.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ (Percentage) และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา

2. สำหรับบุคลากรใช้แบบสอบถาม

2.1 หาค่าความเที่ยงตรง IOC ใช้วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยรายการข้อคำถามจะต้องมีค่า ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป โดยแบบสอบถามมีค่าอยู่ระหว่าง 0.80–1.00

2.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

การศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษาอาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

1. สภาพปัจจุบันในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า

1.1 มีการจัดโครงการประหยัดพลังงานซึ่งมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานทุกประเภท

1.2 มอบหมายฝ่ายงานอาคารสถานที่เป็นผู้กำกับและดูแลระบบไฟฟ้าและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารศรีโคตรบูรณ์

1.3 ให้เจ้าหน้าที่การเงินสรุปค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนเสนอผู้บริหาร

1.4 อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีจำนวนมากที่สุดคือหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราค่าไฟฟ้า (วัตต์) สูงสุด

2. ปัญหาการบริหารจัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

- 2.1 นโยบายหรือแนวปฏิบัติที่กำหนดไว้ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าที่ตั้งไว้
- 2.2 ไม่มีคณะกรรมการที่รับผิดชอบด้านการใช้พลังงาน
- 2.3 เจ้าหน้าที่ที่กำกับดูแลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารศรีโคตรบูรณไม่สามารถกำกับติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างทั่วถึง
- 2.4 ไม่มีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องทำงานหรือจุดต่าง ๆ
- 2.5 หลอดไฟและเครื่องปรับอากาศเปิดใช้งานตลอดทั้งวันและบางครั้งไม่ได้ปิดเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้อง รวมถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดที่ถูกเปิดไว้ตลอด 24 ชม. โดยไม่จำเป็น

3. ความต้องการระบบบริหารจัดการ การใช้พลังงานไฟฟ้า

- 3.1 ต้องการจัดเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้าในหน่วยงาน โดยมีรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วน เช่น ห้องเรียน ห้องประชุม ห้องทำงานอาจารย์ เป็นต้น และข้อมูลรายงานค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยสามารถค้นหาข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้
- 3.2 ต้องการให้มีระบบแจ้งเตือนสถานะการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ พร้อมทั้งมีระบบเปิด-ปิด อัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ และสามารถควบคุมระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน

การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า

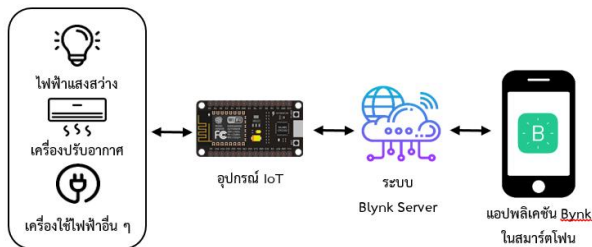
จากข้อมูลสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้วิเคราะห์แนวทางในการออกแบบระบบดังนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบระบบ

1. ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าและเขียนโปรแกรมสูตรคำนวณค่าไฟฟ้าที่สามารถสรุปรายงานในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนด โดยสามารถใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน
2. ติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยเขียนโปรแกรมแจ้งเตือนสถานะการทำงานและตั้งค่าเวลาหน่วงเพื่อตัดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าให้สามารถใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน

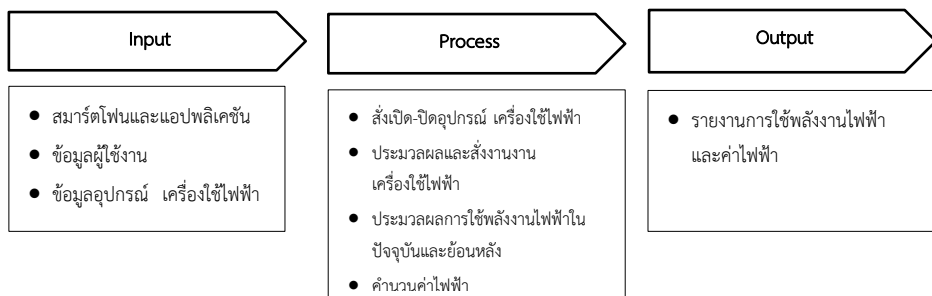
แนวคิดการพัฒนาระบบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงได้นำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณมหาวิทยาลัยนครพนม โดยการเขียนโปรแกรมคำสั่งลงเมนบอร์ดชุดควบคุม (NodeMCU ESP8266) ให้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต บอร์ดชุดควบคุมจะต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Relay Module 5 โวลต์) เพื่อควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ โดยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานระบบและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (PIR Motion Sensor) เพื่อให้ระบบเปิด-ปิดไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ รวมถึงรับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (PZEM-004T) เพื่อรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลาจริงและย้อนหลัง โดยระบบสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าตามระยะเวลาที่ผู้ใช้งานระบบกำหนดซึ่งผู้ใช้งานระบบสามารถใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน



รูปที่ 2 แนวคิดการพัฒนาระบบ

กระบวนการเชิงระบบ (IPO)



รูปที่ 3 กระบวนการเชิงระบบ (Input-Process-Output)

วิเคราะห์โครงสร้างระบบ

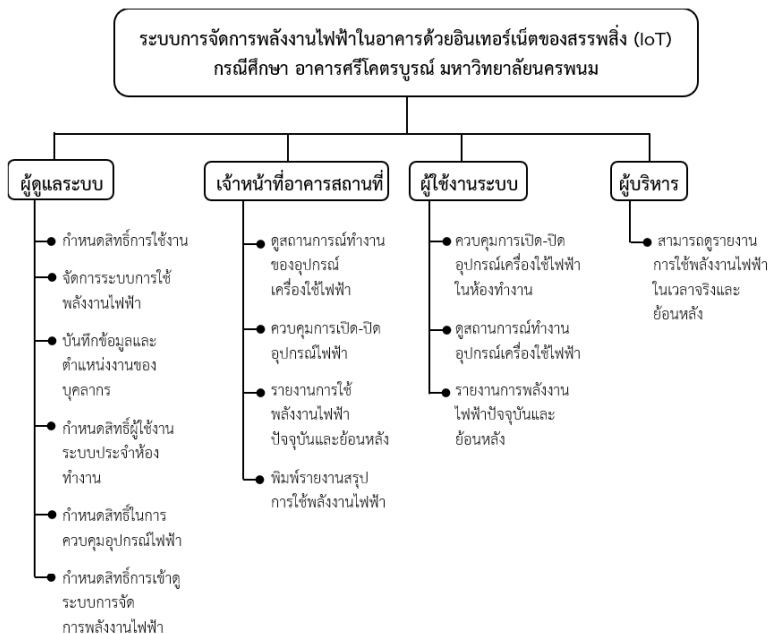
จากกระบวนการเชิงระบบ Input-Process-Output ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และกำหนดโครงสร้างของระบบรวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย ผู้ดูแลระบบ เจ้าหน้าที่งานอาคารสถานที่ ผู้ใช้ระบบ และผู้บริหาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผู้ดูแลระบบ สามารถกำหนดสิทธิ์การใช้งาน จัดการระบบการใช้พลังงานไฟฟ้า บันทึกข้อมูล และตำแหน่งงานของบุคลากร กำหนดสิทธิ์ผู้ใช้งานระบบประจำห้องทำงาน กำหนดสิทธิ์ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และกำหนดสิทธิ์การเข้าดูระบบการจัดการ พลังงานไฟฟ้า

2. เจ้าหน้าที่อาคารสถานที่ สามารถดูสถานะ การทำงาน ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า รายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าปัจจุบัน และย้อนหลัง พิมพ์รายงานสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้า

3. ผู้ใช้งานระบบสามารถควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องทำงาน ดูสถานะการทำงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และรายงานการพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันและย้อนหลัง

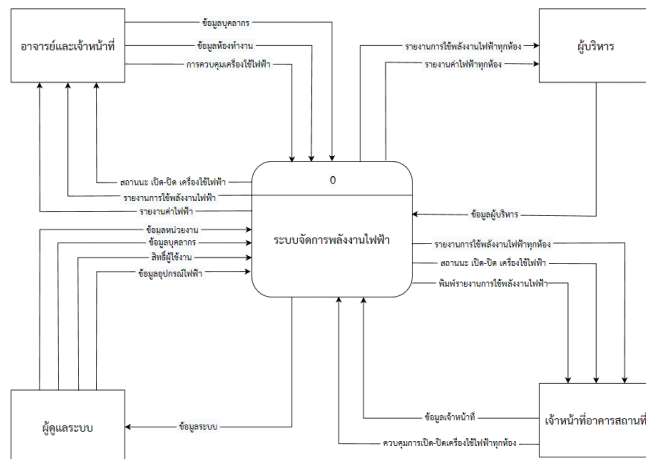
4. ผู้บริหาร สามารถดูรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลาจริงและย้อนหลัง



รูปที่ 4 โครงสร้างผู้ใช้งานระบบ

คอนแท็กซีโตะแกรมของระบบ (Context Diagram)

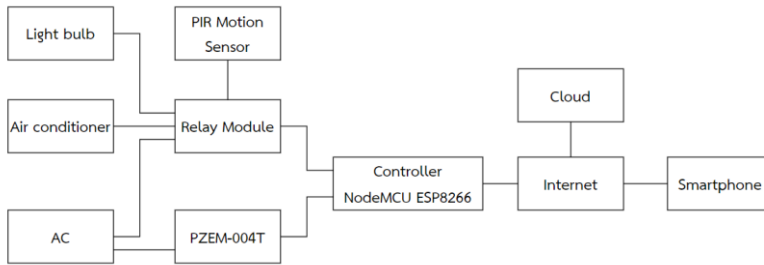
จากโครงสร้างผู้ใช้งานระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์และนำมาเขียนแผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุด (Context Diagram) ของระบบ โดยกำหนดเอ็นทิตีภายนอก คือ ผู้บริหาร อาจารย์และเจ้าหน้าที่ เจ้าหน้าที่อาคาร และผู้ดูแลระบบ ซึ่งกำหนด Input และ Output ของข้อมูล ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุด (Context Diagram)

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ (Block diagram)

จากการศึกษาโครงสร้างของระบบรวมถึงผู้เกี่ยวข้องในระบบ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อเขียนบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ (Block diagram) โดยเริ่มต้นควบคุมจาก Smartphone ผ่านระบบ Internet ซึ่งจะดึงข้อมูลจาก Cloud และส่งงานผ่าน Controller NodeMCU ESP8266 ซึ่ง Controller จะประมวลผลและสั่งงาน Relay Module เพื่อให้ทำการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า และ Controller จะทำหน้าที่รับข้อมูลสถานะการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าพร้อมทั้งรับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก PZEM-004T และส่งกลับข้อมูลผ่านระบบ Internet ไปไว้บน Cloud ก่อนที่จะแสดงผลผ่าน Smartphone โดยบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ (Block diagram) ดังภาพที่ 6



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ (Block diagram)

เขียนคำสั่งในโปรแกรม (Arduino IDE)

จากแบบจำลองบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ (Block diagram) ผู้วิจัยได้เขียนชุดคำสั่งในโปรแกรม Arduino IDE ตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งมีคำสั่งในโปรแกรม 2 ชุด รายละเอียดดังนี้

1. ชุดคำสั่งแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและสรุปค่าไฟฟ้าตามระยะเวลาที่กำหนด
2. ชุดคำสั่งการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

ตัดไฟฟ้าอัตโนมัติ

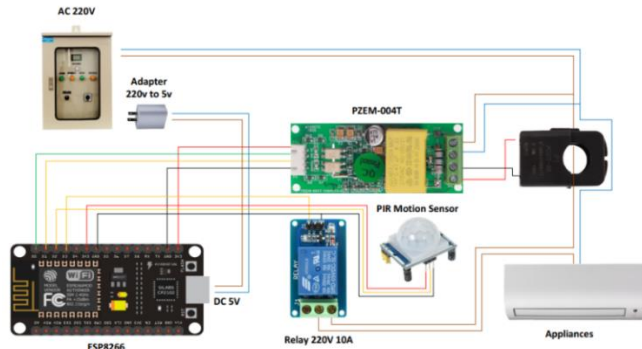
ติดตั้งอุปกรณ์

จากที่ผู้วิจัยได้เขียนคำสั่งในโปรแกรม Arduino IDE จึงดำเนินการถ่ายโอนชุดคำสั่งจากโปรแกรมเข้าสู่เมนบอร์ดชุดควบคุม NodeMCU ESP8266 ผ่านทางพอร์ต USB เมื่อถ่ายโอนชุดคำสั่งจากโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ได้เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่กำหนดไว้ โดยมีขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ตามรายละเอียดดังนี้

1. เชื่อมต่อเมนบอร์ดชุดควบคุม NodeMCU ESP8266 เข้ากับเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว PIR Motion Sensor
2. เชื่อมต่อเมนบอร์ดชุดควบคุม NodeMCU ESP8266 เข้ากับชุดรีเลย์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า Relay Module 5 โวลต์
3. เชื่อมต่อเมนบอร์ดชุดควบคุม NodeMCU ESP8266 เข้ากับอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า PZEM-004T
4. นำขดลวดหม้อแปลงกระแสคอมสายไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้า (สาย Line) เข้ากับสายไฟหลักของห้องทำงาน

5. ต่อสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเข้าที่ (NO) และออกที่ขา (NC) ของชุดรีเลย์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า Relay Module 5 โวลต์

6. เสียบ Adapter 220 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ เข้าที่ปลั๊กเต้าเสียบ 220 โวลต์ และปลายสาย Port Micro USB เข้าที่เมนบอร์ดชุดควบคุม NodeMCU ESP8266



รูปที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร
ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)

การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแอปพลิเคชัน Blynk

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน Blynk ผ่านทาง Google Play หรือ App Store เพื่อติดตั้งลงในสมาร์ทโฟน
2. เมื่อเปิดแอปพลิเคชัน Blynk สร้างโปรเจกต์ ระบุการใช้งาน หลังจากสร้างเสร็จแล้ว แอปพลิเคชัน Blynk จะส่ง Token ให้ผู้ใช้งานระบบทางอีเมลที่ได้ลงทะเบียนไว้ จากนั้นต้องใช้ Token ดังกล่าวร่วมกับโปรแกรมอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) จะสามารถใช้งานได้
3. เลือกใช้ Widget ตามที่ได้เขียนคำสั่งในโปรแกรม Arduino IDE ไว้ พร้อมทั้งตั้งค่าการใช้งาน Widget ในแอปพลิเคชัน Blynk ตามที่กำหนดไว้
4. ดำเนินการทดสอบระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ตามเงื่อนไข

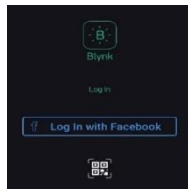
ผลการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า

ผลจากการออกแบบและพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้นำข้อมูล มาพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ และสามารถเข้าใช้งานระบบได้ดังนี้

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน Blynk จาก Google Play ในระบบปฏิบัติการ Android หรือ App Store ในระบบปฏิบัติการ IOS
2. เข้าสู่แอปพลิเคชัน Blynk และที่กดปุ่มแสกน QR-Code



รูปที่ 8 ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน Blynk



รูปที่ 9 กดปุ่มแสกน QR-Code

3. เลือก QR-Code กับผู้ดูแลระบบสำหรับบุคลากร และสำหรับผู้บริหาร เพื่อเข้าใช้งานระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนครพนม



สำหรับบุคลากร



สำหรับผู้บริหาร

ภาพที่ 10 QR-Code สำหรับผู้ใช้งานระบบ

4. หน้าจอสำหรับบุคลากรของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนครพนม โดยแบ่งการทำงานของระบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1) การใช้พลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยกราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีหน่วยแสดงค่าพลังงาน ได้แก่ Vote, Amp, Watt, Hz, PF, kWh เป็นต้น และค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดมีหน่วยเป็นบาท โดยมีปุ่ม Reset ค่า kWh เพื่อคำนวณค่าไฟฟ้ารอบใหม่ตามที่ใช้จากระบบกำหนดเอง ส่วนที่ 2) การ

ควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย ปุ่มเปิด-ปิดไฟแสงสว่าง ปุ่มเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ และปุ่มเปิด-ปิดปลั๊กไฟ ในส่วนถัดลงมาคือปุ่มเปิด-ปิดระบบไฟฟ้าอัตโนมัติ

5. หน้าจอสำหรับผู้บริหารของระบบการจัดการ พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม สามารถดูกราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Watt, Amp, kWh รวมถึงค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนแยกแต่ละห้องทำงาน



รูปที่ 11 หน้าจอสำหรับบุคลากร

รูปที่ 12 หน้าจอสำหรับผู้บริหาร

6. การส่งออกรายงานข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้งานระบบสามารถส่งออกข้อมูลโดยกดที่ Export to csv ในหน้าจอหลักของระบบการจัดการ พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม หลังจากนั้นแอปพลิเคชัน Blynk จะส่งข้อมูลเป็นไฟล์ csv ไปยังอีเมลของผู้ใช้งานระบบที่สมัครไว้ เมื่อดาวน์โหลดไฟล์เข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้วสามารถเปิดไฟล์ด้วยโปรแกรมด้วย Microsoft Excel โดยสามารถดูกราฟปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ทั้งหมด



รูปที่ 13 ข้อมูลและกราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละห้องทำงาน

จากการทดลองระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม พบว่า

1. ระบบสามารถบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องต่าง ๆ ของอาคารศรีโคตรบูรณ์ โดยแสดงกราฟการใช้พลังงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

2. ผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกรูปแบบการแสดงกราฟการใช้พลังงานได้ตามระยะที่ต้องการตั้งแต่ภาพรวม 15 นาที จนถึง 1 ปี โดยระบบจะแสดงหน่วยค่าพลังงานเป็น Vote, Amp, Watt, Hz, PF, kWh

3. ผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกวันที่จะคำนวณและสรุปค่าไฟฟ้าจากการใช้งานที่ผ่านมาหรือตั้งไว้ในช่วงวันข้างหน้าเพื่อให้ระบบคำนวณค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด

4. ผู้ใช้งานระบบในส่วนของผู้บริหารสามารถเข้าดูกราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวม 15 นาที จนถึง 1 ปี มีหน่วยเป็น kWh รวมถึงค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนแยกแต่ละห้องทำงาน

5. ระบบสามารถส่งข้อมูลปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้าเป็นไฟล์ csv ไปยังอีเมลของผู้ใช้งานระบบที่สมัครไว้ เมื่อดาวน์โหลดไฟล์เข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้วเปิดไฟล์ด้วยโปรแกรมด้วย Microsoft Excel จะสามารถดูกราฟปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ทั้งหมด

6. ผู้ใช้งานระบบสามารถควบคุมการเปิด-ปิด ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และสามารถเปิด-ปิดได้เองภายในห้องทำงาน

7. ผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกให้ระบบสั่ง เปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เมื่อไม่มีคนอยู่ภายในห้องทำงานโดยระบบจะสั่งปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าหลังจากไม่มีคนอยู่ภายในห้องทำงานและจะกลับมาทำงานอีกครั้งเมื่อมีคนเข้ามาในห้องทำงาน

ผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า

1. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า
ระดับคะแนนประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมอยู่ระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.89$, S.D. = 0.16) โดยทั้ง 4 ด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ

ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Functional Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.95, S.D. = 0.11) รองลงมาคือ ด้านความง่ายต่อการใช้ระบบ (Usability Test) และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.90, S.D. = 0.18)

2. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า

ระดับคะแนนประเมินประสิทธิภาพในภาพรวม อยู่ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.64, S.D. = 0.50) โดย ทั้ง 4 ด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.39) รองลงมาคือ ด้านความง่ายต่อการใช้ระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.46) และด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.65, S.D. = 0.53) โดยมีผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมดร้อยละ 100

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาเรื่อง ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม มีประเด็นการอภิปรายผล ดังนี้

สภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการ พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม พบว่า มีการจัดโครงการประหยัดพลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานทุกประเภทโดยมอบหมายให้งานอาคารสถานที่เป็นผู้กำกับดูแลระบบและการใช้พลังงานไฟฟ้า ให้เจ้าหน้าที่การเงินสรุปค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนเสนอผู้บริหาร โดยอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้จำนวนมากที่สุดคือหลอดไฟ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราค่าพลังไฟฟ้า (วัตต์) สูงสุด คือเครื่องปรับอากาศ ด้านปัญหา พบว่า แนวปฏิบัติที่กำหนดไว้ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย เจ้าหน้าที่ที่กำกับดูแลการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอ ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องทำงานหรือบริเวณ ต่าง ๆ ที่จะนำมาเป็นข้อมูลให้ผู้บริหารตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในองค์กร มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งวัน และบางครั้งไม่ได้ปิดเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้อง ด้านความต้องการ พบว่า ต้องการให้มีระบบที่สามารถจัดเก็บข้อมูลปริมาณของการใช้พลังงานไฟฟ้าและรายงาน ตามรูปแบบ ในช่วงเวลา

ที่ต้องการโดยมีระบบเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่และสามารถใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนสอดคล้องกับ เจษฎา ขจรฤทธิ์ และคณะ (2560) ที่พบปัญหาจากการใช้พลังงานสิ้นเปลือง เนื่องจากเกิดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าไปอย่างฟุ่มเฟือย ทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นและทำให้เกิดผลกระทบต่อปัญหา สิ่งแวดล้อม รวมถึงปัญหาจากการลืมนปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน จากปัญหาข้างต้นจึงมีแนวคิดในการนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มาแก้ปัญหาโดยการคิดค้นระบบควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเทคโนโลยีที่ทันสมัยปลอดภัยและสะดวกที่จะช่วยในการควบคุม เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น เพียงแค่ใช้สมาร์ทโฟนที่มีการต่ออินเทอร์เน็ต

การพัฒนาาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษา อาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม พบว่า ระบบสามารถ 1) บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องต่าง ๆ 2) แสดงรายงานการใช้พลังงาน ณ ปัจจุบันผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ในรูปแบบกราฟ และเลือกรายงานในภาพรวมตั้งแต่ 15 นาที ถึง 1 ปี และสรุปค่าไฟฟ้าโดยมีหน่วยเป็นบาท 3) แสดงหน่วยค่าพลังงานได้ทุกชนิด Volt, Amp, Watt, Hz, PF, kWh 4) ผู้ใช้งานระบบสามารถส่งข้อมูลเป็นไฟล์ csv ไปยังอีเมลของผู้ใช้งานระบบที่สมัครไว้ 5) ผู้ใช้งานระบบสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องด้วยตัวเอง และสามารถดูสถานการณ์ทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้อง ณ ปัจจุบัน ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และ 6) สามารถเลือกให้ระบบสั่งเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ภายในห้องทำงาน โดยระบบจะสั่งปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าหลังจากไม่มีคนอยู่ภายในห้องทำงาน และจะกลับมาทำงานอีกครั้งเมื่อมีคนเข้ามาในห้องทำงาน

ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพระบบ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.89$, S.D. = 0.16) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ด้านการทำงาน ได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ รองลงมาคือ ด้านความง่ายต่อการใช้ระบบและด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ นอกจากนั้นผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในภาพรวมในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.64$, S.D. = 0.50) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ รองลงมาคือ ด้านความง่ายต่อการใช้ระบบ และด้านการทำงาน ได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาระบบโดยมีการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน และออกแบบระบบโดยสามารถทำงานได้สองส่วนที่เชื่อมโยงกัน คือ

- 1) การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายห้องด้วยระบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน และ
- 2) การรายงานข้อมูลเวลาปัจจุบัน (real time) โดยสามารถจัดเก็บ ประมวลผล

และแสดงรายงานข้อมูลการใช้ไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาที่ต้องการ มีหน่วยวัดครบถ้วน แสดงค่าไฟฟ้าได้ทำให้ผู้ปฏิบัติมีความสะดวก ผู้บริหารสามารถตรวจสอบ และนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนได้ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้น ช่วยลดช่องว่างของระบบที่มักพัฒนาเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง เช่น เกษฏา ขจรฤทธิ์และคณะ (2560) ได้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในการควบคุมระบบส่องสว่างสำหรับบ้านอัจฉริยะ ซึ่งเป็นระบบที่นำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มาแก้ปัญหาโดยการคิดค้นระบบควบคุมการ เปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ไม่มีการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และ พลวัฒน์ ดำรงกิจ ภากร (2556) ได้พัฒนาการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าโดยใช้โทรศัพท์มือถือ กรณีศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปกรที่ออกแบบและพัฒนาการเก็บข้อมูลพลังงานโดยใช้ระบบ แอนดรอยด์ในโทรศัพท์มือถือแต่ไม่มีระบบควบคุมการเปิด-ปิดอัตโนมัติ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ ขาวชายโขง ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาหลักสูตรและการสอนทุกท่านที่ให้ความรู้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดีและขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ปรากฏชื่อในงานวิจัยเล่มนี้ ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจนได้เครื่องมือที่มีคุณภาพ รวมถึงผู้บริหาร คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ วิทยาลัยการท่องเที่ยงและอุตสาหกรรมบริการ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้สถานที่ในการทดลองใช้เครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงให้ความร่วมมือในการทดลองและเก็บข้อมูล ส่งผลให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดี

ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจและแรงใจอันสำคัญยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจน ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ชีวิตอันดีงามและเสริมสร้างสติปัญญาให้แก่ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). *การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน*, 1(1), 1-4.
- กองนโยบายและแผนมหาวิทยาลัยนครพนม. (2562). NPU Family's Energy Saving for All. *รอบรู้กันเถรา*, 2(1), 1-5.
- เจษฎา ขจรฤทธิ์, ปิยนุช ชัยพรแก้ว และ หนึ่งฤทัย เอ็งฉ้วน. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things เพื่อควบคุมระบบส่องสว่างในบ้านอัจฉริยะ. *วิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 7(1) 1-11.
- พลวัฒน์ ดำรงกิจภากร. (2556). *การพัฒนาการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าโดยใช้โทรศัพท์มือถือกรณีศึกษาโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร*. สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุริยัน นิลทะราช. (2562). *การพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ เพื่อการควบคุมวัสดุ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*. ระบบฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ฉบับเต็ม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

**การออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติ
ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์**
**THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMATIC 3 SPEED LEVEL MOBILE
AIR FILTER CONTROLLED BY MICROCONTROLLER**

อนุชา ดีผาง, ชัยพร อัดโดดดร* และ ธนัช เอกเกื้อกุล

Anucha Deephang, Chaiporn Addoddorn and Thanut Aekkuerkul

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Northeastern University

Received: 5 June 2022

Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เบอร์ 1 ความกว้างพัลส์ร้อยละ 20 เบอร์ 2 ความกว้างพัลส์ร้อยละ 40 และเบอร์ 3 ความกว้างพัลส์ร้อยละ 60 เพื่อกรองฝุ่นละออง เชื้อโรค และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนกรองอากาศและหลอดยูวี อุปกรณ์ตรวจวัดค่าฝุ่น พัดลมดูดอากาศ และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560 โดยออกแบบให้มีการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดควบคุมด้วยมือ โหมดอัตโนมัติจะเริ่มจากรับค่าปริมาณฝุ่นจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าฝุ่นโมดูล GP2Y1010AU0F ที่สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ในระดับ PM 2.5 ค่าปริมาณฝุ่นที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นมาตรฐานที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อค่าปริมาณฝุ่นมากกว่า 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พัดลมดูดอากาศและหลอดยูวี จะเริ่มทำงานและจะหยุดเมื่อค่าปริมาณฝุ่นต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับโหมดควบคุมด้วยมือเครื่องกรองอากาศจะทำงานทันทีที่เปิดสวิตช์ งานวิจัยนี้ใช้วิธีสร้างฝุ่นโดยการจุดธูป จากการทดสอบ จะพบว่า โหมดอัตโนมัติ เครื่องกรองอากาศจะมีปริมาณฝุ่น

* Corresponding author: ชัยพร อัดโดดดร

E-mail: chaiporn.add@neu.ac.th

เหลือ 0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เมื่อเทียบกับเครื่องกรองอากาศ Xiaomi จะมีปริมาณฝุ่นเหลือ 0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที ส่วนโหมดควบคุมด้วยมือ เครื่องกรองอากาศเบอร์ 1 จะมีปริมาณฝุ่นเหลือ 0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 14 นาที เครื่องกรองอากาศเบอร์ 2 จะมีปริมาณฝุ่นเหลือ 0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เครื่องกรองอากาศเบอร์ 3 จะมีปริมาณฝุ่นเหลือ 0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที ทำให้อากาศบริสุทธิ์ปราศจากฝุ่นละออง เชื้อโรค และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อมนุษย์อย่างมาก สามารถใช้งานได้ตามพื้นที่ทั้งในครัวเรือน สถานศึกษา สถานประกอบการ และโรงพยาบาลอีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องกรองอากาศแบบอัตโนมัติ, ความกว้างพัลส์, ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This paper presents the design and construction of automatic 3 speed level mobile air filter controlled by microcontroller at No.1 with 20% pulse width modulation, No.2 with 40% pulse width modulation and No.3 with 60% pulse width modulation to filter dust, germs and unwanted odors which consists of an air filter and a UV lamp, dust measurement equipment, exhaust fan and the Arduino Mega2560 microcontroller designed to have 2 operating modes: automatic mode and manual mode. For automatic mode: start when the dust content value is received from the GP2Y1010AU0F dust sensor module GP2Y1010AU0F capable of measuring PM 2.5 dust. The measured dust content is compared with the standard dust content that is within the safe range, no more than 25 micrograms per cubic meter when the dust content is more than 25 micrograms per cubic meter, the exhaust fan and UV lamp will start and stop when the dust content is less than 10 micrograms per cubic meter. For manual mode: the air purifier is activated as soon as the switch is turned on. This research uses a method to create dust by burning incense. From the test,

it was found that the automatic mode, air filter will have a dust content of 0 micrograms per cubic meter after 10 minutes, compared to Xiaomi air filter, the dust content is 0 micrograms per cubic meter after 8 minutes, the manual mode, No.1 air filter has dust content of 0 micrograms per cubic meter after 14 minutes, No.2 air filter has a dust content of 0 micrograms per cubic meter after 10 minutes, No.3 air filter has dust content of 0 micrograms per cubic meter after 8 minutes, it cleans the air, free from dust, germs and unwanted odors which is very necessary for human beings, it can be used in areas such as households, educational institutions, establishments and the hospital as well.

Keywords: Automatic air filter, Pulse width modulation, Microcontroller

บทนำ

ปัจจุบันประชาชนใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ภายในอาคาร (Abdullah et al., 2014; Kumar et al., 2019) มากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมด โอกาสที่จะสัมผัสกับมลพิษภายในอาคารรวมถึงมลพิษจากภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาปนเปื้อนอากาศภายในจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอาคารนั้นไม่มีการระบายหรือการเจือจางมลพิษอย่างเหมาะสมและพอเพียงสิ่งที่ตามมาก็คือผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น การระคายเคืองต่อเยื่อปอด จมูก โรคหอบหืด รวมทั้งส่งผลต่อสภาวะในการทำกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร เกิดความอ่อนเพลีย ขาดสมาธิในการทำงาน ฯลฯ คุณภาพอากาศภายในอาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องใส่ใจ และปัจจุบันสภาพอากาศมีมลพิษทางอากาศที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล และแน่นอนว่าบ้านพักอาศัยที่มนุษย์อยู่ทุกวันนี้หนีไม่พ้นปัญหามลภาวะทางอากาศแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ อีกทั้งเชื้อโรคและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์เป็นจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมโดยรอบและกิจกรรมของมนุษย์ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้น จำเป็นที่มนุษย์ต้องการอากาศบริสุทธิ์ปราศจากฝุ่นละออง เชื้อโรค และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้เครื่องกรองอากาศ นับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางการกรองอากาศมาโดยตลอด (โชคชัย วงศ์กำภู, และ บริษัท ชัยมิตร, ม.ป.ป.) เนื่องจากคุณภาพของอากาศนั้น

มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ แม้แต่ในชีวิตประจำวันของพวกเรา ก็มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการกรองอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น โรงพยาบาล อาคารสำนักงานต่างๆ เป็นต้น ส่วนประกอบของอากาศในปัจจุบันนั้น จะเห็นได้ว่ามีสิ่งปนเปื้อนที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสร้างขึ้นโดยมนุษย์ รวมทั้งที่เกิดจากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการกรองอากาศจึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากที่จะช่วยกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติ เพื่อทำหน้าที่ดักจับเชื้อโรค แบคทีเรีย ไวรัส ฝุ่นละอองในอากาศ และสามารถใช้งานได้ตามพื้นที่ทั้งในครัวเรือน สถานศึกษา สถานประกอบการ และโรงพยาบาลอีกด้วย

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

1. ระบบการทำงานของเครื่องกรองอากาศ

ระบบการทำงานของเครื่องกรองอากาศสามารถแบ่งออกได้ 5 ระบบหลัก ได้แก่

1.1 Air filters หรือ แผ่นกรองอากาศ ทำหน้าที่ดักจับเชื้อโรค แบคทีเรีย ไวรัส ฝุ่นละอองในอากาศที่ทำให้เกิดภูมิแพ้ Air filters มีประเภทที่ทำมาจากกระดาษ เส้นใยตาข่าย แต่แบบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ก็คือ แผ่นกรองอากาศแบบ HEPA หรือ High Efficiency Particulate Air เป็นแผ่นกรองที่ผลิตจากเส้นใย Fiberglass ที่ออกแบบมาเพื่อดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน และมีประสิทธิภาพดักจับฝุ่นละอองได้ไม่น้อยกว่า 99.97% และมีอายุเฉลี่ยในการใช้งานอยู่ที่ 3-5 ปี

1.2 Electrostatic Precipitator (ESP) ระบบกรองอากาศที่ทำงานโดยใช้หลักไฟฟ้าสถิต (ศิธีโรตม์ เกตุแก้ว, 2555; พัทธมน์ ดุรงค์ดำรงชัย และคณะ, 2562) โดยการปล่อยไฟฟ้าประจุลบออกมาเพื่อดักจับฝุ่นละอองในอากาศหรืออนุภาคขนาดเล็กที่เป็นประจุบวกให้เป็นกลุ่มเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้มีน้ำหนักมากขึ้นแล้วตกลงสู่พื้นโดยไม่ลอยฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ

1.3 Gas-Phase air filter เป็นระบบที่มีไว้สำหรับกำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ต่างๆ โดยการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการดูดซับมลพิษเป็นตัวช่วยในการทำงานของระบบเพื่อช่วยดูดซับกลิ่นไม่พึงประสงค์และก๊าซพิษให้หายไป

1.4 Ozone generator เป็นการนำระบบโอโซนมาใช้กับระบบการกรองอากาศ โดยเชื่อว่าจะช่วยกำจัดอนุภาคของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารระเหยต่างๆ ที่ปนมากับอากาศได้ดี พร้อมทั้งสามารถกำจัดเชื้อโรคบางอย่างได้อีกด้วย แต่เนื่องจากโอโซนค่อนข้างมีผลเสียมากกว่าผลดีต่อร่างกายของมนุษย์จึงไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก ดังนั้น จึงมักจะใช้เครื่องกรองอากาศประเภทนี้กับพื้นที่ที่ไม่ค่อยมีผู้คนพลุกพล่านมากนัก

1.5 UV Light เป็นระบบที่นำรังสีอัลตราไวโอเลตมาช่วยในการกำจัดเชื้อโรคต่างๆ อย่างเช่น แบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา หรือฝุ่นละอองในอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และก่อให้เกิดภูมิแพ้ได้

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino Mega2560 R3 เป็นบอร์ด Arduino (พิพจน์ ดุรงค์ดำรงชัย และคณะ, 2562) ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลายๆ ตัวทำให้ Pin I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash มากกว่า Arduino Uno R3

ข้อมูลจำเพาะ

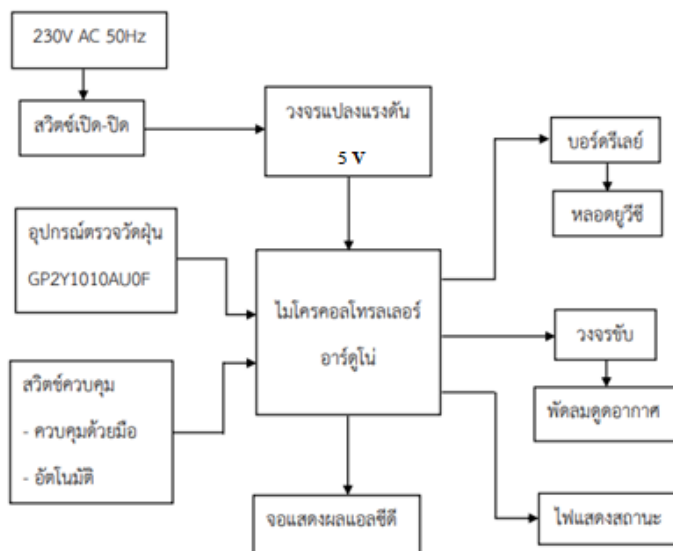
- ชิพไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560
- ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แนะนำ 7-12 โวลต์
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จำกัด 6-20 โวลต์
- พอร์ต Digital I/O 54 พอร์ต มีพอร์ต PWM 15 พอร์ต
- พอร์ต Analog Input 16 พอร์ต
- กระแสไฟฟ้ายรวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต 40 มิลลิแอมป์
- กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 V 50 มิลลิแอมป์
- พื้นที่โปรแกรมภายใน 256 KB แต่ 8 KB ถูกใช้โดย Bootloader
- พื้นที่แรม 8 กิโลไบต์
- พื้นที่หน่วยความจำถาวร EEPROM 4 กิโลไบต์
- ความถี่คริสตัล 16 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 1 บอร์ด Arduino Mega2560 R3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

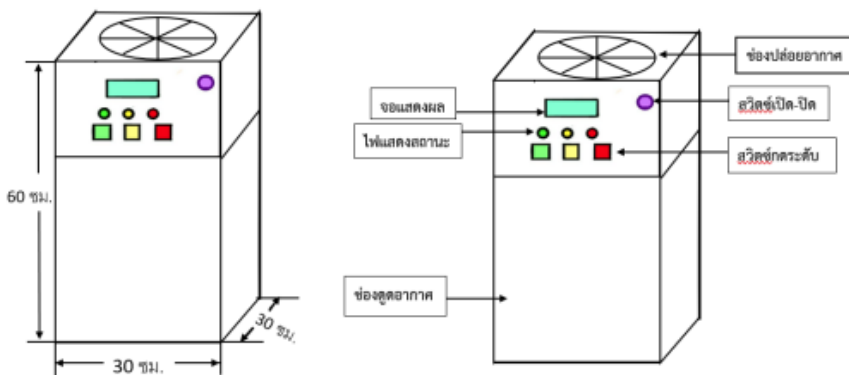


รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องกรองอากาศแบบอัตโนมัติ

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 2 เครื่องกรองอากาศควบคุมการทำงานและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้ โดยออกแบบให้มีการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดควบคุมด้วยมือการทำงานโหมดอัตโนมัติจะเริ่มจากรับค่าปริมาณฝุ่นจากอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น GP2Y1010AU0F ที่สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ในระดับ PM2.5 ค่าปริมาณฝุ่นที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นมาตรฐานที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

คือ ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (องค์การอนามัยโลกกำหนดมาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น 2.5 PM ไว้ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เมื่อค่าปริมาณฝุ่นมากกว่า 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พัดลมดูดอากาศและหลอดยูวีจะเริ่มทำงานและจะหยุดเมื่อค่าปริมาณฝุ่นต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนภาคแสดงผลใช้จอแอลซีดีแสดงค่าปริมาณฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับโหมดควบคุมด้วยมือนั้นเครื่องกรองอากาศจะทำงานทันทีที่เปิดสวิตช์

2. โครงสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3 โครงสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 4 โครงสร้างเครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ได้แบบอัตโนมัติที่ถ่ายจากภาพจริง

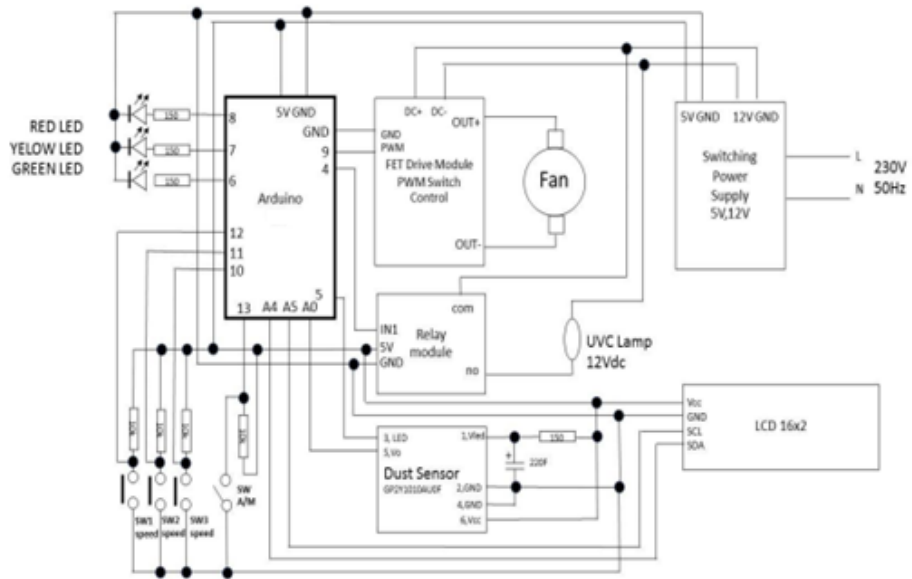
3. ส่วนกรองอากาศและหลอดยูวี

งานวิจัยนี้เลือกใช้ไส้กรองอากาศ Xiaomi รุ่นสีม่วงมีความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตจุลภาคที่ติดเข้าไปที่แผ่นกรองได้เป็นฟังก์ชันพิเศษเฉพาะแบรนด์ของ Xiaomi ไส้กรองประเภทนี้สำหรับคนที่ใช้เครื่องกรองอากาศของ Xiaomi รุ่นใดก็ตามที่บ้านนั้นมีคนป่วยอาศัยอยู่หรือมีเด็กเล็กที่อาจจะเป็นไข้หวัดได้ง่าย เพราะตัวสารด้านในของฟิลเตอร์นั้นทำมาจากเส้น Polyester ละเอียดเพื่อการกรองฝุ่นระดับ HEPA แล้วยังเป็นเส้นใยที่ผสมสารทำลายความมีชีวิตของแบคทีเรียและไวรัสด้วย เช่น พวกชิงออกไซด์ระดับนาโน เป็นต้น พวกนี้จะเข้าไปทำให้ไวรัสแบคทีเรียตายได้ และไม่สามารถเติบโตเมื่อเข้าไปติดกับฟิลเตอร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดโอกาสในการติดโรคกับคนอื่นๆเพิ่มเติมได้อีกรอบหนึ่งด้วย ถ้าหากว่าแบคทีเรียติดแล้วมันเติบโตในฟิลเตอร์แล้วพ่นออกมาโอกาสที่คนอื่นๆ ในบ้านจะติดโรคหรือป่วยก็อาจจะมามากขึ้นได้ ดังนั้น หากมีเด็กเล็กจึงแนะนำให้เลือกรุ่นนี้เป็นมาตรฐานเพื่อเอาไส้กรองนี้ไปใช้กับ Xiaomi Air purifier รุ่นใดๆที่มี (ใช้ได้ทุกรุ่น) นอกจากนี้ฟิลเตอร์สีม่วงนี้ด้านในก็จะมีตัวถ่านกัมมันต์เพื่อเอาไว้ดูดกลิ่นด้วยเช่นเดียวกัน ส่วนการเลือกใช้หลอดยูวีใช้หลอดตะเกียบยูวีซีซี G23 เพราะเป็นรุ่นที่มีสตาร์ทเตอร์ในตัวมีขนาด 25.5X4.3 เซนติเมตร วัสดุแก้วควอตซ์ เวลาที่แนะนำ 30 นาที (โดยประมาณ) พลังงาน 20 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220/50Hz อายุการใช้งาน 8,000 ชั่วโมง ช่วงรังสี 10-20 ตารางเมตร

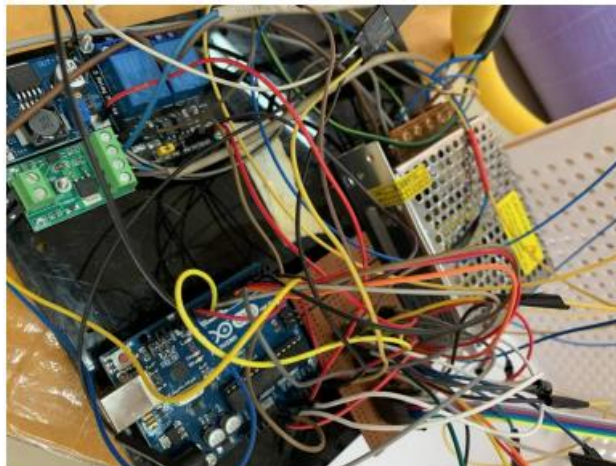
4. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าฝุ่น

GP2Y1010AU0F เป็นหนึ่งในรูปแบบเซ็นเซอร์วัดฝุ่นของชาร์ปที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานในเครื่องกรองอากาศในเชิงพาณิชย์เช่น GP2Y1014AU0F ซึ่งเบอร์ GP2Y1010AU0F เป็นเซ็นเซอร์วัดฝุ่นแบบเดียวกันให้อาชีพพหุทอนาล็อกสามารถใช้ได้กับ Arduino เซ็นเซอร์วัดฝุ่นชาร์ปทำงานบนหลักการของ light scattering ภาพเครื่องตรวจจับมี LED (Light Emitter Diode) ส่งแสงมาที่รูซึ่งมีฝุ่นไหลผ่านเข้ามา (Dust Throught Hole) ที่มุมภายในแพคเกจสี่เหลี่ยม เมื่ออากาศที่มีฝุ่นละอองไหลเข้าไปในห้องเซ็นเซอร์จะกระทบกับแสง LED (Light Emitter Diode) ที่จะตรวจจับโดย Photo detector ฝุ่นมีอยู่ในอากาศมากความเข้มของแสงวัดได้จะมากตาม เซ็นเซอร์ฝุ่นจะแสดงค่าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปตามความเข้มของแสงที่กระจัดกระจาย ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับของฝุ่นละอองในอากาศ ความหนาแน่นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจริง

5. วงจรควบคุมการทำงาน



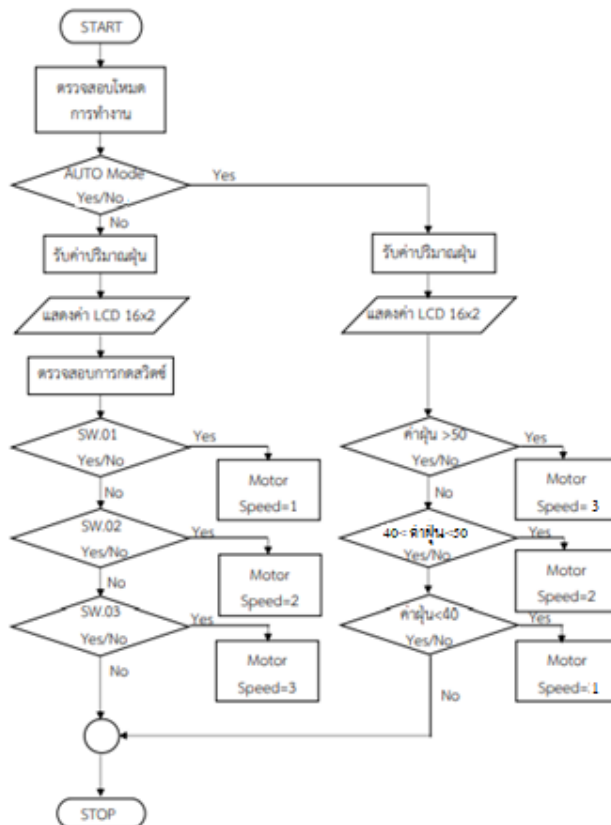
รูปที่ 5 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 6 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอัตโนมัติที่ถ่ายจากภาพจริง

จากรูปที่ 5 และ 6 Arduino MEGA2560 R3 จะทำหน้าที่เป็นสมองและออกคำสั่งให้แก่อุปกรณ์ต่างๆ เริ่มด้วยการกดสวิทช์พัลลคมูดอากาศเบอร์ 1 เพื่อดูอากาศมากหรือน้อย ฝุ่นละอองโดยวงจรขับมอเตอร์พัลลคมูดอากาศจะเป็นโมดูลขับมอเตอร์ L298N ซึ่งจะทำให้หน้าที่ปรับระดับความเร็วของมอเตอร์พัลลคมูดอากาศมี 3 ระดับ ได้แก่ เบอร์ 1 เบอร์ 2 และเบอร์ 3 ต่อมาลมที่ดูดเข้ามาจะผ่านไส้กรองอากาศ Xiaomi และมีหลอด UV เปิดเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียและลมจะผ่านไปเข้าอุปกรณ์ตรวจจับฝุ่นละอองรุ่น PM2.5 Dust sensor Sharp GP2Y1010AU0F และจะแสดงสถานะผ่านจอ LCD และหลอด LED มีไฟแสดงสถานะเมื่อเครื่องทำงานและมีไฟบอกสถานะของค่าอากาศ 3 สถานะ ได้แก่ สีเขียว สถานะดี (น้อยกว่า 25 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร) สีเหลือง สถานะปานกลาง (25 ถึง 75 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร) และสีแดง สถานะอันตราย (มากกว่า 75 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร)

6. โปรแกรมควบคุมการทำงาน



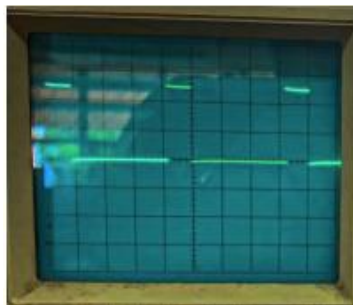
รูปที่ 7 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องกรองอากาศแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 7 เมื่อเริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มตรวจสอบการทำงานของโหมดทั้ง 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยมือ โดยโหมดอัตโนมัติเมื่อเริ่มการทำงานแล้วเครื่องกรองอากาศจะทำงานอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยมือจะทำงานด้วยการควบคุมระดับด้วยการกดสวิตช์ปรับระดับตามเบอร์ 1 เบอร์ 2 และเบอร์ 3 ทั้ง 2 โหมดนี้จะแสดงผลค่าฝุ่นผ่านจอแอลซีดี

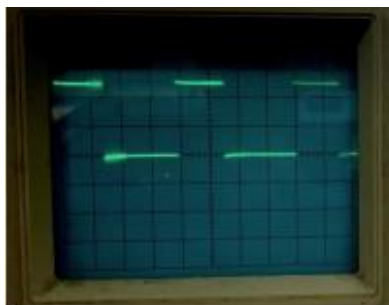
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การทดสอบวัดสัญญาณความกว้างพัลส์

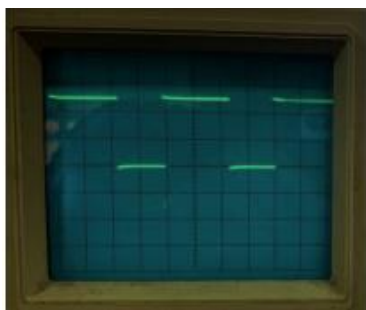
การทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศนี้โดยส่งคำสั่งจากสวิตช์เบอร์ต่างๆ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วใช้ออสซิลโลสโคปรุ่น LG OS-5040A 40 MHz ANALOG OSCILLOSCOPE วัดสัญญาณคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในตัวเครื่องกรองอากาศที่ความกว้างพัลส์ต่างๆ ที่ Volt/Div เท่ากับ 2 V และ Time/Div เท่ากับ 0.5 ms ดังแสดงในรูปที่ 8, 9 และ 10 ดังนี้



รูปที่ 8 สวิตช์เบอร์ 1 ที่ความกว้างพัลส์ 20 เพอร์เซ็นต์



รูปที่ 9 สวิตช์เบอร์ 2 ที่ความกว้างพัลส์ 40 เพอร์เซ็นต์



รูปที่ 10 สวิตช์เบอร์ 3 ที่ความกว้างพัลส์ 60 เปอร์เซ็นต์

2. การทดสอบความเร็วรอบของพัดลม

ทำการกดสวิตช์ตามเบอร์ที่ต้องการ เพื่อหาความเร็วรอบของพัดลม เริ่มจากเบอร์ 1 เบอร์ 2 และ เบอร์ 3 แล้วใช้เครื่องวัดความเร็วรอบวัดหาความเร็วรอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การทดสอบความเร็วรอบของพัดลม

เบอร์	ความเร็วรอบ (RPM)
1	1,496.4
2	2,132.0
3	2,555.3

3. การทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันของพัดลม

ตารางที่ 2 การทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันของพัดลม

เบอร์	กระแส (A)	แรงดัน (V)
1	1.05	5.08
2	1.82	7.64
3	2.43	9.38

จากการทดสอบ จะพบว่า โหมด Manual เบอร์ 1 จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 1,496.4 RPM เบอร์ 2 จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 2,132 RPM เบอร์ 3 จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 2,555.3 RPM วัดแรงดันของเบอร์ 1 เท่ากับ 5.08 V เบอร์ 2 เท่ากับ 7.64 V เบอร์ 3 เท่ากับ 9.38 V วัดกระแส เบอร์ 1 เท่ากับ 1.05 A เบอร์ 2 เท่ากับ 1.82 A เบอร์ 3 เท่ากับ 2.43 A ส่วน โหมด Auto เมื่อค่าฝุ่น 0-25 จะแสดงผลตามเบอร์ 1 25-75 จะแสดงผลตามเบอร์ 2 มากกว่า 75 จะแสดงผลตามเบอร์ 3 ดังแสดงในตารางที่ 2

4. การทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศโหมดควบคุมด้วยมือ



รูปที่ 11 โหมดควบคุมการทำงานด้วยมือ

ทำการนำรูปจุดแล้วตั้งกล้องถ่ายวิดีโอสังเกตการทำงานของเครื่องกรองอากาศและจับเวลาดูการทำงานว่าในแต่ละเบอร์จะใช้เวลานานเท่าไรดังแสดงในรูปที่ 11 ในการวัดปริมาณของค่าฝุ่นจนกระทั่งค่าฝุ่นเป็น $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยใช้โหมดควบคุมด้วยมือ งานวิจัยนี้ใช้วิธีสร้างฝุ่นโดยการจุดธูป จะพบว่า ค่าฝุ่นเริ่มต้นมีปริมาณ $312.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศเบอร์ 1 ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 14 นาที ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศเบอร์ 2 ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศเบอร์ 3 ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 การทดสอบการทำงานเครื่องกรองอากาศโหมตควบคุมด้วยมือ

เบอร์ 1		เบอร์ 2		เบอร์ 3	
เวลา (นาท)	ค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เวลา (นาท)	ค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เวลา (นาท)	ค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	312.53	0	309.63	0	302.48
2	210.08	2	259.94	2	220.36
4	198.72	4	135.45	4	105.25
6	153.35	6	79.01	6	64.18
8	135.45	8	24.36	8	0.00
10	110.57	10	0.00	10	0.00
12	56.20	12	0.00	12	0.00
14	0.00	14	0.00	14	0.00

5. การทดสอบการทำงานเครื่องกรองอากาศโหมตอัตโนมัติ



รูปที่ 12 โหมตควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ

ทำการนำรูปมาจัดรูปแล้วตั้งกล้องถ่ายวิดีโอสังเกตการทำงานของเครื่องกรองอากาศ และจับเวลาดูการทำงานว่าในแต่ละเบอร์จะใช้เวลานานเท่าไรดังแสดงในรูปที่ 12 ในการวัดปริมาณของค่าฝุ่นจนกระทั่งค่าฝุ่นเป็น $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยใช้โหมตอัตโนมัติ งานวิจัยนี้ใช้วิธีสร้างฝุ่นโดยการจุดธูป จะพบว่า ค่าฝุ่นเริ่มต้นมีปริมาณ $312.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศโหมตอัตโนมัติ ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 การทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศโหมดอัดโนมัต

เวลา (นาท)	เบอร์	ค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	3	312.53
2	3	279.84
4	2	99.64
6	1	40.27
10	0	0.00

6. การทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศเปรียบเทียบกับที่มีจำหน่ายทั่วไป

ทำการนำรูปมาจุดแล้วตั้งกล้องถ่ายวิดีโอสังเกตการทำงานของเครื่องกรองอากาศ และจับเวลาดูการทำงาน เปรียบเทียบระหว่างเครื่องกรองอากาศที่มีจำหน่ายทั่วไปและเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้นโดยเลือกใช้โหมดอัดโนมัต งานวิจัยนี้ใช้วิธีสร้างฝุ่นโดยการจุดธูป จะพบว่า เครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้น ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตซ์เครื่องกรองอากาศ โหมดอัดโนมัต ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ส่วนเครื่องกรองอากาศ Xiaomi ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตซ์เครื่องกรองอากาศโหมดอัดโนมัต ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที ดังนั้น การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้นกับเครื่องกรองอากาศ Xiaomi จะพบว่า เครื่องกรองอากาศ Xiaomi ทำการกรองอากาศได้เร็วกว่าเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 การทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศเปรียบเทียบกับที่มีจำหน่ายทั่วไป

เวลา (นาท)	ค่าฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	เครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้น	เครื่องกรองอากาศ Xiaomi 3C
0	305.56	300
2	250.08	139
4	191.46	75
6	96.52	21
8	20.27	0.00
10	0.00	0.00

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องกรองอากาศโดยออกแบบให้มีการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดควบคุมด้วยมือ จะพบว่า การทำงานโหมดอัตโนมัติจะเริ่มจากรับค่าปริมาณฝุ่นจากอุปกรณ์ตรวจวัดโมดูล GP2Y1010AU0F ที่สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ในระดับ PM 2.5 ค่าปริมาณฝุ่นที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณฝุ่นมาตรฐานที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (องค์การอนามัยโลกกำหนดมาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น 2.5 PM ไว้ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เมื่อค่าปริมาณฝุ่นมากกว่า 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พัดลมดูดอากาศและหลอดยูวีจะเริ่มทำงานและจะหยุดเมื่อค่าปริมาณฝุ่นต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนภาคแสดงผลใช้จอแอลซีดีแสดงค่าปริมาณฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับโหมดควบคุมด้วยมือนั้นเครื่องกรองอากาศจะทำงานทันทีที่เปิดสวิตช์ จากการทดสอบการแสดงผลและวงจรต่างๆ ที่ผ่านมาสรุปได้ว่าเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ การทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการแสดงผลที่ถูกต้องในการใช้งานและสามารถนำไปใช้กับชิ้นงานได้จริง โดยในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศโหมดอัตโนมัติ ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกรองอากาศ Xiaomi ที่มีจำหน่ายทั่วไป ในการทดสอบด้วยการเปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศโหมดอัตโนมัติ ฝุ่นในการทดสอบมีปริมาณฝุ่นเหลือ $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที ดังนั้น การทำงานเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้นกับเครื่องกรองอากาศ Xiaomi เครื่องกรองอากาศ Xiaomi จะทำการกรองอากาศได้เร็วกว่าเครื่องกรองอากาศที่สร้างขึ้นเพียง 2 นาทีเท่านั้น ทำให้อากาศบริสุทธิ์ ปราศจากฝุ่นละออง เชื้อโรค และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อมนุษย์อย่างมาก และสามารถใช้งานได้ตามพื้นที่ทั้งในครัวเรือน สถานศึกษา สถานประกอบการ และโรงพยาบาลอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย, ชัยพร อัดโดดดร และ กิตติศักดิ์ ดียา. (2562). *การออกแบบและสร้างเครื่องกรองเขม่าควันด้วยสนามไฟฟ้าสถิตที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์*. น. 1525-1534. ใน: การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7 CASNIC2019, 16 พฤศจิกายน 2562. วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย, ขอนแก่น.

- ศิริโรตม์ เกตุแก้ว. (2555). การพัฒนาเครื่องกรองอากาศอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ. *วารสารวิจัย*. 2(5), 58-65.
- โชคชัย วงศ์กำภู และ นิรัญ ชยางศุ. (ม.ป.ป.) *เทคโนโลยีการกรองอากาศในระบบปรับอากาศ, บทความวิชาการชุดที่ 7. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.*
- Abdullah, M. D. A., Leman, A. M., & Abdullah, A. H. (2014). *Air Filtration Study to Improve Indoor Air Quality: Proposed Study*. In: Proceedings of 3rd Scientific Conference on Occupational Safety and Health- Sci-Cosh 2014, 14-17 October, 2014, Johor Bahru, Johor, Malaysia.
<https://www.researchgate.net/publication/303691561>.
- Kumar, B. V., Naveen, M., Kalyan, P., Bhavana, P., & Nikhil, K. (2019). Design and Fabrication of Economical Air Filter. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 3(3), 1091-1095.

ผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและ
สมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จังหวัดอุดรธานี
SHORT TERM EFFECTS OF YOGA EXERCISE ON BODY COMPOSITION AND
PHYSICAL FITNESS AMONG PRIMARY SCHOOL OVERWEIGHT STUDENTS
IN UDON THANI PROVINCE

ธนุพร ลาภไธสง¹ และ ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ^{2,*}

Thanupron Lapthaisong¹ and Thanyawat Homsombat^{2,*}

¹ สาขาพลศึกษาและกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตอุดรธานี

² คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตอุดรธานี

¹ Physical education and Sports, Faculty of Education, Thailand National Sports University
Udonthani Campus

² Faculty of Sports and Health Science, Thailand National Sports University Udonthani Campus

Received: 8 August 2022

Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาแบบกึ่งทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะ
ในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพทางกายของนักเรียนระดับประถม
ศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนที่มีน้ำหนักเกิน (ดัชนีมวลกาย ≥ 23)
จำนวน 32 คน (10-12 ปี) สุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน วิธีการทดลองคือ
การออกกำลังกายด้วยโยคะเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (สัปดาห์ที่ 1-2 ออกกำลังกายด้วยโยคะเย็น
และสัปดาห์ที่ 3-4 ออกกำลังกายด้วยโยคะร้อน) วัดสมรรถภาพทางกายของนักเรียนและ
องค์ประกอบของร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะด้วยเครื่องมือมาตรฐาน
X-scan plus II สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เพื่อพรรณนาข้อมูลเพศและดัชนีมวลกาย และสถิติเชิงอนุมาน คือ paired t-test เพื่อหา

* Corresponding author: ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ

E-mail: cmu_kku@hotmail.com

ความแตกต่างขององค์ประกอบของร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกายสัปดาห์ที่ 4 และกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 10.90 ปี (เพศชาย 17 คน และเพศหญิง 15 คน) กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีดัชนีมวลกายอยู่ในระดับอ้วนระดับ 1 รองลงมาคืออ้วนระดับ 2 และน้ำหนักเกิน เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของร่างกายระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะ สัปดาห์ที่ 4 พบว่า องค์ประกอบของร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ดัชนีมวลกาย ($p=0.02$)

คำสำคัญ: ภาวะน้ำหนักเกิน, การออกกำลังกายด้วยโยคะ, องค์ประกอบของร่างกาย

Abstract

The quasi experimental study aimed to determine the short term effect of yoga exercise on body composition and physical fitness among primary school overweight students. The sample group consisted of 32 students who were overweight (Body Mass Index $\geq$ 23; 10-12 years old) by a multistage randomization method. The experimental procedure was 4 weeks of yoga exercise (week 1-2 with cold yoga exercise and 3-4 weeks with hot yoga exercise), using the standard X-scan Plus II instrument to measure body composition before and after yoga exercise. The descriptive statistics were percentage, mean, and standard deviation to describe the gender and body mass index. The inferential statistic was a paired t-test to compare the body composition before and after the fourth week of exercise and set the statistically significance at the 0.05 level.

The results showed that the subjects had an average age of 10.90 years old (17 males and 15 females). Most of them had a body mass index at the first level of obesity, followed by the second level of obesity, and overweight. When comparing body composition between before and after the 4th week of

yoga exercise, there was a statistically significant change in body composition, including Body mass index ($p = 0.02$)

Keywords: Overweight, yoga exercise, body composition

บทนำ

จากการสำรวจของสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข ปี พ.ศ.2562 กรมอนามัย (2562) พบว่า เด็กไทยทุกกลุ่มอายุมีความชุกของภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนเพิ่มมากขึ้น โดยเด็กอายุ 12-14 ปี มีความชุกของภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนรวมกันสูงสุด (ร้อยละ 15.3) รองลงมาเป็นเด็กอายุ 6-11 ปี (ร้อยละ 13.2) และเด็กอายุ 1-5 ปี (ร้อยละ 11.3) ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภูมิภาคขนาดใหญ่ที่มีประชากรจำนวนมากและจังหวัดอุดรธานี (เขตสุขภาพที่ 8) เป็น 1 ในจังหวัดขนาดใหญ่ที่มีประชากรอายุ 5-14 ปี จำนวน 187,334 คน (เพศชาย 95,565 คน และเพศหญิง 91,769 คน) ในจำนวนนี้มีเด็กที่มีน้ำหนักเกินร้อยละ 11.57 ซึ่งเป็นอันดับสองรองจากเขตสุขภาพที่ 9 (ร้อยละ 12.86) การออกกำลังกายนั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกคนไม่เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งของอายุแต่มีความจำเป็นตลอดชีวิต ซึ่งการออกกำลังกายแต่ละวัยมีความแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมและความต้องการของร่างกายในแต่ละบุคคล ดังนั้นอายุจึงเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเลือกวิธีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา ซึ่งการออกกำลังกายที่เหมาะสมสำหรับวัยเด็กคือการออกกำลังกายที่ไม่รุนแรง ไม่มีความหนักมากเกินไป โดยเฉพาะการออกกำลังกายด้วยโยคะ ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายที่ต้องปฏิบัติพร้อมกับกำหนดการหายใจ เป็นกระบวนการสำหรับฝึกกาย ฝึกการหายใจ และฝึกจิตใจให้มีความจดจ่อกับลมหายใจเข้า-ออก อันจะนำมาสู่การมีสมาธิที่ดีขึ้นเป็นการสร้างสมดุลของร่างกาย จิตใจและจิตวิญญาณ โดยการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆของร่างกายตามที่กำหนด โดยเน้นการหายใจเข้า-ออก ให้สอดคล้องกับท่าการออกกำลังกาย การทำสมาธิระหว่างการออกกำลังกาย และการออกกำลังกายด้วยโยคะสามารถเสริมสร้างสมรรถภาพร่างกาย ซึ่งส่งเสริมให้สภาพของร่างกายสามารถประกอบกิจกรรม หรือการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพโดยไม่เหนื่อยล้าจนเกินไป และในขณะเดียวกันก็สามารถจะถนอมกำลังให้เหลือไว้ใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นสำหรับชีวิต รวมทั้งกิจกรรมในเวลาว่างเพื่อความสนุกสนานในชีวิตประจำวันได้อีกด้วย (วรศักดิ์ เพียรชอบ, 2560)

สมรรถภาพทางกาย คือ สภาวะที่สมบูรณ์ของร่างกายซึ่งเป็นผลทำให้การปฏิบัติกิจกรรมของร่างกายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างเป็นสุข ซึ่งสมรรถภาพทางกายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ (skill-related physical fitness) เป็นสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนให้เกิดระดับความสามารถและทักษะในการแสดงออกของการเคลื่อนไหวและการเล่นกีฬามีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ ความเร็ว กำลังของกล้ามเนื้อ ความคล่องแคล่ว ว่องไว การทรงตัว เวลาปฏิกิริยา และการทำงานที่ประสานกัน และสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (Health-related physical fitness) เป็นสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสุขภาพและเพิ่มความสามารถในการทำงานของร่างกาย (สุพิตร สมบัติและคณะ, 2555) สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพมีทั้งหมด 5 ประการ ได้แก่ องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) คือสัดส่วนปริมาณไขมันในร่างกายกับมวลร่างกายที่ปราศจากไขมัน โดยการคำนวณหาดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI) เพื่อประเมินรูปร่างเบื้องต้น จากการศึกษาของ Chauhan et al. (2017) ได้ศึกษาการออกกำลังกายด้วยโยคะทุกวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ระยะเวลา 1 เดือน ในกลุ่มตัวอย่าง 64 คน อายุ 53.6 ปี พบว่า หลังจากการออกกำลังกายด้วยโยคะอาสนะส่งผลให้ค่าดัชนีมวลกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตรงข้ามกับการศึกษาของ Moliver et al. (2011) พบว่า การออกกำลังกายด้วยหะฐะโยคะในกลุ่มผู้หญิงที่มีอายุมากกว่า 45 ปี ส่งผลให้ดัชนีมวลกายเพิ่มขึ้น รวมทั้งบางการศึกษาพบว่า ก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะร้อน ค่าดัชนีมวลกายไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Hewett et al., 2017) สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพอีกด้านคือ ความอดทนของระบบหัวใจและระบบไหลเวียนเลือด เป็นสมรรถนะเชิงปฏิบัติของระบบไหลเวียนเลือด (หัวใจและหลอดเลือด) และระบบหายใจในการลำเลียงออกซิเจนไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้ร่างกายสามารถยืดหยุ่นที่จะทำงานหรือออกกำลังกายที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่เป็นระยะเวลายาวนานได้ซึ่งสามารถวัดความอดทนของระบบหัวใจและระบบไหลเวียนเลือดได้โดยการจับชีพจรขณะพัก จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การออกกำลังกายด้วยโยคะทุกวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในตอนเช้า ระยะเวลา 1 เดือน ในกลุ่มตัวอย่าง 64 คน มีอายุ 53.6 ปี และเปรียบเทียบกับคนที่มีความฟิต 26 คน พบว่า อายุ 53.6 ปี ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นของระบบไหลเวียนเลือด (Chauhan et al., 2017) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hewett et al. (2017) ได้ทำการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมโยคะร้อน จำนวน 16 สัปดาห์ ในกลุ่ม

ตัวอย่างอายุ 27- 47 ปี พบว่า กลุ่มการออกกำลังกายด้วยโยคะและกลุ่มควบคุมไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจและระบบไหลเวียนเลือด สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพด้านต่อไป คือ ความอ่อนตัว เป็นการเคลื่อนไหวสูงสุดเท่าที่จะทำได้ของกล้ามเนื้อ เอ็น และกลุ่มข้อต่อ จากการศึกษาของ Shafer (2018) ที่ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยโยคะผู้หญิงสุขภาพดี 15 คน อายุ 19-63 ปี ระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า มีความอ่อนตัวของร่างกายส่วนล่างดีขึ้น รวมทั้งบางการศึกษาพบว่า ผู้สูงอายุ 27 คน มีความอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ผู้สูงอายุ 6 คน ความอ่อนตัวลดลง และอีก 2 คน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Alverina et al., 2020) การออกกำลังกายด้วยโยคะเหล็กลสามารถเพิ่มความอ่อนตัวของแกนกลางลำตัวดีขึ้น (Selvaraja & Arumugam, 2018) นอกจากนั้น สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพยังมีด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) คือความสามารถของกล้ามเนื้อมัดใดมัดหนึ่งหรือกลุ่มกล้ามเนื้อในการหดตัวซ้ำๆ เพื่อด้านแรงหรือความสามารถในการคงสภาพการหดตัวครั้งเดียวได้เป็นระยะเวลายาวนาน จากการศึกษาที่ผ่านมา Hoy et al. (2020) ได้ทำการศึกษาการออกกำลังกายด้วยโยคะเพื่อลดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบประสาทของผู้สูงอายุ 60-79 ปี ใช้เวลาออกกำลังกาย 90 นาที ต่อ 2 สัปดาห์ รวมระยะเวลา 10 สัปดาห์ โดยมีกลุ่มทดลอง 18 คนและกลุ่มควบคุม 15 คน พบว่า กลุ่มควบคุมไม่มีผลต่อการรับรู้ของระบบประสาท ความอดทนของกล้ามเนื้อ ในขณะที่กลุ่มทดลองไม่มีผลต่อการรับรู้ของระบบประสาทแต่สามารถเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อได้ ส่วนการศึกษาของ Wooten et al. (2018) ศึกษาการออกกำลังกายด้วยโยคะสมาธิต่อการรับรู้และความอดทนของกล้ามเนื้อในผู้สูงอายุก่อนและหลังการออกกำลังกาย จำนวน 16 คน ครั้งละ 45 นาที เป็นเวลา 3 วัน/สัปดาห์ รวมทั้งหมด 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า หลังจากการออกกำลังกายด้วยโยคะสมาธิสามารถทำให้เกิดความอดทนของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นได้ และสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพด้านสุดท้าย คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) คือปริมาณสูงสุดของแรงที่กล้ามเนื้อมัดใดมัดหนึ่งหรือกลุ่มกล้ามเนื้อสามารถออกแรงต้านทานได้ (ในช่วงการหดตัว 1 ครั้ง) ซึ่ง Widjaja et al. (2021) ได้ศึกษาโปรแกรมโยคะไทยในสตรีที่มีน้ำหนักเกินจำนวน 22 คน อายุ 61-63 ปี ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 60 นาที สัปดาห์ละ 3 ครั้ง รวมระยะเวลาการออกกำลังกาย 8 สัปดาห์ พบว่า ทั้งสัปดาห์ที่ 4 และ 8 กลุ่มตัวอย่างมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของร่างกายส่วนล่างในผู้สูงอายุได้ และการศึกษาของ Lau et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกายด้วยหฐะโยคะในผู้ใหญ่ชาวจีนจำนวน 173 คน

อายุระหว่าง 44-59 ปี ทั้งหมด 12 สัปดาห์ โดยแบ่งกลุ่มการออกกำลังกายด้วยโยคะ 87 คน พบว่า ผู้ใหญ่ชาวจีนมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ผู้วิจัยทำการศึกษาการออกกำลังกายด้วยโยคะในกลุ่มผู้สูงอายุและในกลุ่มผู้ป่วย ในระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ แต่ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้น (4 สัปดาห์) ที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพทางกายมีจำนวนน้อย และจากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ายังเป็นที่ขัดแย้งว่าการออกกำลังกายด้วยโยคะสามารถลดน้ำหนักและองค์ประกอบของร่างกายได้ในเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน รวมทั้งเพื่อหารูปแบบการออกกำลังกายด้วยโยคะที่เหมาะสมสำหรับเด็กประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะสั้นที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาลัยเขตอุดรธานี เลขที่ TNSU-EDU 081-2564 วันที่ 16 เมษายน 2565

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คำนวณจากโปรแกรม G* Power 3.1.9.4 จากจำนวนนักเรียนที่มีภาวะน้ำหนักเกินในระดับประถมศึกษา ที่กำลังศึกษาอยู่ในปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนมหุทัยคริสเตียน สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน จังหวัดอุดรธานี จำนวน 388 คน เป็นนักเรียนชาย 189 คน และนักเรียนหญิง 199 คน ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 21 คน เพื่อป้องกันการถอนตัว (Drop out) ในระหว่างการออกกำลังกายด้วยโยคะ ผู้วิจัยจึงเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นอีกร้อยละ 30 รวมทั้งหมด 32 คน (ชาย 17 คน และหญิง 15 คน) และทำการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นลำดับขั้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ การออกกำลังกายด้วยโยคะ มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ท่าคีม นั่งตัวตรง เขยียดขาทั้ง 2 ข้าง พร้อมยกแขนทั้ง 2 ข้างขึ้นเหนือศีรษะ และมือทั้ง 2 ข้างจับที่ปลายเท้า โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.2 ท่าผีเสื้อ นั่งตัวตรง พับขาทั้ง 2 ข้าง ใช้มือจับที่ปลายนิ้วเท้าทั้ง 2 ข้าง และใช้ศอกดันเข้าให้อยู่ติดกับพื้น โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.3 ท่ายืนก้มตัวมืองว้างพื้น ยืนตัวตรง ขาทั้ง 2 ข้างชิดกัน พร้อมยกแขนทั้ง 2 ข้างขึ้น และก้มตัวไปข้างหน้ามือทั้ง 2 ข้างวางบนพื้น โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.4 ท่าคันไถครึ่งตัว นอนหงาย ขาเหยียดตรงชิดกันทั้ง 2 ข้าง คว่ำฝ่ามือลง และค่อขยักขาทั้ง 2 ข้างขึ้นพร้อมกัน โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

หลังจากปฏิบัติท่าโยคะ 4 ท่า เป็นเวลา 16 นาที จึงทำกิจกรรมนันทนาการ สัปดาห์ที่ 1 วิ่งซิกแซกอ้อมกรวย สัปดาห์ที่ 2 วิ่งส่งลูกบอล สัปดาห์ที่ 3 ก้าวกระโดดข้ามกรวย 1 สเต็ป และสัปดาห์ที่ 4 ก้าวกระโดดข้ามกรวย 2 สเต็ป ซึ่งในแต่ละสัปดาห์ใช้เวลา 8 นาที จากนั้นจึงทำการปฏิบัติท่าโยคะที่เหลือ 4 ท่า ใช้เวลา 16 นาที ปฏิบัติได้ดังนี้

1.5 ท่าเรือ นอนหงาย ยกขาทั้ง 2 ข้างขึ้นชิดกัน 45 องศาจากพื้นยกลำตัวช่วงหน้าอกขึ้น และมือทั้ง 2 ข้างแตะที่หน้าแข้ง โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.6 ท่าต้นไม้ ยืนตัวตรง ยกขาขวาพับขึ้น ให้ใช้ฝ่าเท้าขวาดันติดกับต้นขา ส่วนปลายเท้าขวาชี้ลงพื้น พร้อมยกแขนทั้ง 2 ข้างขึ้นพนมมือเหนือศีรษะ โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.7 ท่างู นอนคว่ำอยู่บนพื้น เท้าเหยียด มือวางไว้ข้างลำตัว มื่อยันพื้นและ

เหยียดข้อศอก ยกศีรษะ ไหล่ หน้าอก เอวให้สูงขึ้นเงยหน้าไปด้านหลัง โดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

1.8 ท่าดันพื้น นอนคว่ำ วางมือ ใช้ฝ่ามือดันพื้น งอข้อศอก เท้าทั้งสองชิดกัน ปลายนิ้วยันบนพื้น เหยียดข้อศอกให้ตึง ลำตัวเหยียดตรง คอยึดขึ้น ส่วนคอไหล่สะโพก และเท้าอยู่ในแนวเดียวกันโดยปฏิบัติทั้งหมด 3 เซต เซตละ 1 นาที พัก 1 นาที รวมเป็น 4 นาที

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย เครื่องมือมาตรฐาน X-scan plus II (Jawon, 2013) และแบบทดสอบสมรรถภาพทางกาย มีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การวัดองค์ประกอบของร่างกาย ด้วยเครื่องมือมาตรฐาน X-scan plus II (Jawon, 2013)

2.1.1 ดัชนีมวลกาย (Body mass index (BMI)) คือ ค่าดัชนีมวลกายที่ใช้ชี้วัดความสมดุลของน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และส่วนสูง (เซนติเมตร)

2.1.2 มวลน้ำหนักโดยไม่รวมไขมัน (Lean body mass: L.B.M) (เปอร์เซ็นต์)

2.1.3 มวลกล้ามเนื้อ (Soft lean mass: S.L.M) (เปอร์เซ็นต์)

2.1.4 มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก (Skeletal muscle mass: S.M.M) (เปอร์เซ็นต์)

2.1.5 มวลไขมัน (Body fat) มีหน่วยเป็น (เปอร์เซ็นต์)

2.1.6 เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (Percentage body fat: P.B.F) คือ สัดส่วนของไขมันในร่างกายที่คิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกาย

2.2 แบบทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนที่มีภาวะน้ำหนักเกินวัดความอ่อนตัว อัตราการเต้นของหัวใจ ความทนทานของกล้ามเนื้อ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (กรมพลศึกษา, 2562) มีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 ความอ่อนตัว (Flexibility) ทดสอบโดยการนั่งงอตัวไปข้างหน้า (Sit and reach test) มีหน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)

2.2.2 ความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด (Cardiorespiratory endurance) ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) มีหน่วยเป็น (ครั้งต่อนาที)

2.2.3 ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) ทดสอบโดยการลุก-นั่ง 60 วินาที (Sit-ups 60 seconds) มีหน่วยวัดเป็น

2.2.4 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) ทดสอบโดยการวัดการยืนกระโดดไกล (Standing board jump) มีหน่วยเป็น เมตร (m)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. กลุ่มตัวอย่างมายังห้องทดลองในวันแรกจะได้รับการวัดองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องมือมาตรฐาน X-scan plus II (Jawon, 2013) และทดสอบสมรรถภาพทางกาย

2. จากนั้นเข้าสู่การทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 1-2 ออกกำลังกายด้วยโยคะเย็น ภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส โดยทำการออกกำลังกายในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้เด็กคุ้นเคยกับการออกกำลังกายในระดับเบา หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3-4 ออกกำลังกายด้วยโยคะร้อน เนื่องจากการออกกำลังกายด้วยโยคะร้อนสามารถเผาผลาญพลังงานในร่างกายได้ดี โดยอยู่ภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที จึงเริ่มการออกกำลังกายด้วยท่าโยคะทั้งหมด 8 ท่า (สาลี สุภาภรณ์, 2544) และกิจกรรมนันทนาการระหว่างการออกกำลังกาย การคลายอุ่นเป็นเวลา 10 นาที รวมเป็น 60 นาที ระยะเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์ คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 09.00-10.00 น. ในขณะออกกำลังกายผู้ช่วยวิจัยจะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และบันทึกหลังการออกกำลังกายทันที ให้อยู่ในระดับร้อยละ 60-80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด โดยในแต่ละสัปดาห์อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระดับความหนักของการออกกำลังกายด้วยโยคะ (สัปดาห์ที่ 1-2 อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายร้อยละ 60-70 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด สัปดาห์ที่ 3-4 อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมายเพิ่มเป็น ร้อยละ 70-80 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย ร้อยละ 60 หมายถึงการออกกำลังกายด้วยโยคะในระดับเบาถึงปานกลาง (Light zone) และร้อยละ 80 หมายถึงการออกกำลังกายด้วยโยคะในระดับหนัก (Hard zone)

3. จากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการประเมินซ้ำอีกครั้งด้วยเครื่องมือมาตรฐาน X-scan plus II และทดสอบสมรรถภาพทางกาย

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบการแจกแจงของประชากรเป็นโค้งปกติ ด้วยสถิติ Shapiro-wilk test สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย Mean ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อพรรณนาข้อมูลเพศและดัชนีมวลกาย และสถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) ประกอบด้วย สถิติทดสอบ Paired t-test เพื่อหาความแตกต่างของผลการออกกำลังกายด้วยโยคะ ก่อนและหลังการออกกำลังกายสัปดาห์ที่ 4 กรณีทดสอบไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ friedman test และกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดสอบความแตกต่างของผลการออกกำลังกายด้วยโยคะ ก่อนการออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะในสัปดาห์ที่ 4 โดยใช้สถิติทดสอบ Dependent sample t-test ผู้วิจัยได้ทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติดังกล่าว ถ้าไม่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้นจะเปลี่ยนมาใช้สถิติ friedman test จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-wilk test พบว่า ข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติ ได้แก่ มวลน้ำหนักโดยไม่รวมไขมัน มวลกล้ามเนื้อ มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ($P=0.16$, $P=0.17$, $P=0.14$ และ $P=0.99$ ตามลำดับ) ในขณะที่ดัชนีมวลกายและมวลไขมัน มีการกระจายข้อมูลแบบไม่ปกติ ($P<0.001$ และ $P<0.001$ ตามลำดับ) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลพื้นฐาน

กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 32 คน มีอายุเฉลี่ย 10.90 ปี ($SD=0.87$) โดยแบ่งเป็นเพศชาย 17 คน (ร้อยละ 57.33) และเพศหญิง 15 คน (ร้อยละ 42.67) กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีดัชนีมวลกายอยู่ในระดับน้ำหนักเกิน (ร้อยละ 62.50) และอ้วน (ร้อยละ 37.50) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน (n=32)

ตัวแปร	จำนวน (ร้อยละ)
เพศ	
ชาย	17 (57.33)
หญิง	15 (42.67)
ดัชนีมวลกาย (กก.ม²)	
น้ำหนักเกิน (23-24.99)	20 (62.50)
อ้วน (25-40.61)	12 (37.50)
$\bar{X} = 28.69 (3.01)$ Min-max (23.10-40.60)	
อายุ (ปี)	
10	13 (40.63)
11	9 (28.13)
12	10 (31.25)
$\bar{X} = 10.91 (0.86)$ Min-max (10-12)	

2. การเปรียบเทียบองค์ประกอบของร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะสัปดาห์ที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะ สัปดาห์ที่ 4 พบว่า องค์ประกอบของร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ดัชนีมวลกาย ($p=0.02$) ในขณะที่มวลน้ำหนักโดยไม่รวมไขมัน ($p=0.53$) มวลกล้ามเนื้อ ($p=0.57$) มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก ($p=0.55$) มวลไขมัน ($p=0.13$) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ($p=0.13$) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะสัปดาห์ที่ 4 (n=32)

ตัวแปร		Paired-sample t-test					t	df	p-value
		value	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence				
					Interval of the				
					Difference				
		Lower	Upper						
ดัชนีมวลกาย (n=32)	ก่อน	28.69	1.54	0.27	0.07	1.19	2.32	31	0.02**
	หลัง	28.05							
มวลน้ำหนักโดยไม่วัสดุไขมัน (n=32)	ก่อน	44.80	1.69	0.29	-0.42	0.79	0.62	31	0.53*
	หลัง	44.61							
มวลกล้ามเนื้อ (n=32)	ก่อน	41.09	1.48	0.26	-0.38	0.68	0.56	31	0.57*
	หลัง	40.94							
มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก (n=32)	ก่อน	20.65	1.53	0.27	-0.39	0.71	0.59	31	0.55*
	หลัง	20.49							
มวลไขมัน (n=32)	ก่อน	20.42	2.69	0.47	-0.23	1.71	1.54	31	0.13**
	หลัง	19.69							
เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (n=32)	ก่อน	30.91	2.19	0.38	-0.19	1.39	1.54	31	0.13*
	หลัง	30.31							

** Paired t-test ** friedman test

3. การเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะสัปดาห์ที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะ สัปดาห์ที่ 4 พบว่า องค์ประกอบของร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความอ่อนตัว ($p < 0.001$) ระยะทางการกระโดดไกล ($p < 0.001$) และลูกนั่ง 60 วินาที ($p < 0.001$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการออกกำลังกายด้วยโยคะ
สัปดาห์ที่ 4 (n=32)

ตัวแปร		Paired-sample t-test			t	df	p-value
		value	Std. Deviation	Std. Error Mean			
ความอ่อนตัว (n=32)	ก่อน	0.89	2.07	0.36	-9.01	31	0.00 [*]
	หลัง	4.20					
ระยะทางกระโดดไกล (n=32)	ก่อน	92.18	6.67	1.18	-10.06	31	0.00 ^{**}
	หลัง	104.06					
ลุก-นั่ง 60 วินาที (n=32)	ก่อน	12.21	1.90	0.33	-14.90	31	0.00 [*]
	หลัง	17.25					

^{**} Paired t-test ^{**} friedman test

อภิปรายผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็นนักเรียนที่มีน้ำหนักเกิน จำนวน 32 คน มีอายุเฉลี่ย 10.90 ปี (SD = 0.87) เป็นเพศชาย 17 คน (ร้อยละ 57.33) และเพศหญิง 15 คน (ร้อยละ 42.67) กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีดัชนีมวลกายอยู่ในระดับน้ำหนักเกิน (ร้อยละ 62.50) และอ้วน (ร้อยละ 37.50) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเด็กนักเรียนในสมัยปัจจุบันเป็นเด็กในยุคเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งมีความสะดวกสบายมากขึ้น มีกิจกรรมทางกายหรือการเคลื่อนไหวน้อยลงจึงทำให้เด็กมีภาวะเสี่ยงที่จะมีน้ำหนักเกินได้ง่ายกว่าในอดีต และพบว่ามีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากวิถีชีวิตเปลี่ยนแปลงไป ทั้งค่านิยมในการรับประทานอาหาร และกิจกรรมที่เด็กทำ (Penedo & Dahn, 2016) ซึ่งสอดคล้องกับองค์การอนามัยโลกที่รายงานว่า เด็กสมัยนี้มีกิจกรรมทางกายน้อยลง คุ้ไม่กระฉับกระเฉง และมีการออกกำลังกายน้อยลง ทำให้เด็กเหล่านี้ปัจจุบันเสี่ยงเป็นโรคอ้วนมากขึ้น และจากความอ้วนจะส่งผลให้เกิดโรคตามมา ไม่ว่าจะเป็นโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด (กรมอนามัย, 2562)

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างก่อนการออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก 28.69 เหลือ 28.05 กิโลกรัม/ตารางเมตร (0.64 kg/m^2) เพราะท่าคนไถ่ครึ่งตัว ท่างู และท่าเรือซึ่งเป็นท่าที่สามารถลดไขมันที่สะสมบนเนื้อเยื่อไขมันได้ (Chauhan et al., 2017) ซึ่งดัชนีมวลกายลดลงมากกว่าการศึกษาที่ผ่านมาที่ลดลงเพียง 0.62 kg/m^2 และ 0.59 kg/m^2 Gokal et al., 2007; Telles et al., 2010 ซึ่งการศึกษาของ

Telles et al. (2010) ที่ศึกษาการออกกำลังกายด้วยโยคะร่วมกับโปรแกรมการกินอาหารที่มีไขมันต่ำและอาหารจำพวกพืชจึงส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินมีดัชนีมวลกายลดลง ถึงแม้จะไม่มีอาการจำกัดขนาดสัดส่วนของอาหารหรือปริมาณพลังงานที่กำหนดไว้ก็ตาม (Biolo et al., 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าโปรแกรม 1 สัปดาห์ที่ใช้อาหารไขมันต่ำ พลังงานต่ำ (แคลโต-โอโว-มังสวิรัต) และการออกกำลังกายในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากความเครียดยังช่วยลดน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย คอเลสเตอรอลในเลือด และปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่จะเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในอาสาสมัคร 1349 คนได้ (Slavicek et al., 2008) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ค่าดัชนีมวลกายลดลงทั้งในเด็กนักเรียนผู้ชายและผู้หญิง ในขณะที่มวลกล้ามเนื้อ มวลกล้ามเนื้อโดยรวมไขมัน มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก มวลไขมัน และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งตรงข้ามกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า ค่าดัชนีมวลกายจะลดลงพร้อมกับการลดลงของกล้ามเนื้อที่ปราศจากไขมัน และปริมาณมวลน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกาย (Telles et al., 2010) ซึ่งการออกแบบโปรแกรมการฝึกควรส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นประโยชน์ต่อองค์ประกอบของร่างกาย โดยเน้นให้มีการลดไขมันในร่างกายและเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ (Siani et al., 2003) ในการศึกษาสาเหตุที่มวลน้ำหนักเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าไม่มีการกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างจำกัดโปรแกรมการกินอาหารที่มีไขมันต่ำและอาหารจำพวกพืช ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่า การกินอาหารที่จำกัดปริมาณแคลลอรีส่งผลบวกต่อกระบวนการ แคแทบอลิซึม (Catabolism) ซึ่งเป็นการสลายสารอาหาร (สารชีวโมเลกุล) ให้เป็นโมเลกุลเล็กและป้อน ATP สารนำอิเล็กตรอน (NAD⁺, NADP⁺ และ FAD) และสารต้นตอสำหรับการสังเคราะห์ให้กับกระบวนการแอแนบอลิซึมเพื่อสร้างเป็นองค์ประกอบของร่างกายต่อไป ซึ่งจะทำให้มวลกล้ามเนื้อโดยรวมไขมันในร่างกายลดลง (Sahay, 2007) แต่ในบางการศึกษากลับพบว่า องค์ประกอบของร่างกายไม่มีความแตกต่างระหว่างผู้ที่รับประทานมังสวิรัตกับผู้รับประทานอาหารทั่วไป (Dhume & Dhume, 1991) นอกจากนี้ยังเป็นเหตุผลที่ไม่แน่ชัดว่ามวลน้ำหนักโดยรวมไขมันจะลดลงได้เพราะการฝึกโยคะ เพราะมีบางการศึกษาที่ศึกษาการฝึกโยคะในผู้ป่วยเบาหวานกลับพบว่าผู้ป่วยมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายลดลง แต่กลับมีมวลกล้ามเนื้อโดยรวมไขมันเพิ่มขึ้น (Yang et al., 2007) ซึ่งสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้มวลกล้ามเนื้อโดยรวมไขมันลดลงยังไม่สามารถสรุปได้ แต่การลดลงของดัชนีมวลกายอาจมีความสัมพันธ์กับเด็กนักเรียนเนื่องจากมีกิจกรรมการเล่นโยคะเพิ่มขึ้น แต่เหตุผลดังกล่าวก็ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า

การออกกำลังกายด้วยโยคะเหมาะสมสำหรับเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน เพราะผลการศึกษาก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่ชัดเจน แต่ที่แน่ชัดคือ ค่าดัชนีมวลกายลดลงหลังสัปดาห์ที่ 8

นอกจากนั้นผลการศึกษายังพบว่า หลังการออกกำลังกายด้วยโยคะในสัปดาห์ที่ 8 สมรรถภาพทางกายของเด็กนักเรียนที่มีน้ำหนักเกิน โดยเฉพาะค่าเฉลี่ยของความอ่อนตัว ค่าเฉลี่ยของระยะทางกระโดดไกล และค่าเฉลี่ยของลุก-นั่ง 60 วินาที เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$, $p < 0.001$ และ $p < 0.001$ ตามลำดับ) ซึ่งทุกท่าของการออกกำลังกายด้วยโยคะทั้งโยคะร้อนและโยคะเย็นล้วนเป็นท่าที่เน้นการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ รวมทั้งมีการเกร็งกล้ามเนื้อเป็นเวลานานๆ จึงทำให้กลุ่มตัวอย่างมีความอ่อนตัว และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทุกส่วนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุที่ได้ออกกำลังกายด้วยโยคะ 6 ท่าเป็นเวลา 8 สัปดาห์ในอุณหภูมิตั้ง 37 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีความอ่อนตัวและความแข็งแรงของร่างกายส่วนล่างเพิ่มมากขึ้น (Bucht & Donath, 2019) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระดับความหนักของการฝึกโยคะยังพบว่า ในการศึกษานี้มีระดับความหนักต่ำกว่าการศึกษาที่ผ่านมา รวมทั้งหลายการศึกษาที่แนะนำว่าการออกกำลังกายด้วยโยคะที่จะส่งผลต่อความอ่อนตัวและความแข็งแรง ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ (Schmid et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบว่า บางการศึกษาใช้เวลาในการออกกำลังกายด้วยโยคะแต่ละครั้งนานกว่าในการศึกษานี้ แต่ในการศึกษานี้กลับใช้เวลานานกว่าการออกกำลังกายด้วยโยคะร้อนที่ผ่านมา (Hunter et al., 2013a; Hunter et al., 2013b) โดยอุณหภูมิของโยคะร้อนอาจต้องสูงกว่าโยคะร้อนทั่วไปประมาณ 10 องศาเซลเซียส (Laukkanen et al., 2015)

สรุปผลการทดลอง

การออกกำลังกายด้วยโยคะเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สามารถส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายของเด็กนักเรียนที่มีน้ำหนักเกิน โดยเฉพาะความอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของระยะทางกระโดดไกลเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยของลุก-นั่ง 60 วินาทีเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามตัวแปรด้านสรีรวิทยายังไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น มวลกล้ามเนื้อโดยไม่รวมไขมัน มวลกล้ามเนื้อ มวลกล้ามเนื้อติดกระดูก มวลไขมัน และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะมีการวิเคราะห์ท่าโยคะที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาดังกล่าว และควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยโยคะในระยะยาวต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งนี้

1.1 ควรควบคุมปัจจัยอื่นๆที่จะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของร่างกายของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

1.2 ควรมีการศึกษาระยะยาวของการออกกำลังกายด้วยโยคะที่ส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกายของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติวิทยาเขตอุดรธานีและอาสาสมัครในการทำวิจัยทุกคน

เอกสารอ้างอิง

- กรมพลศึกษา. (2562). คู่มือแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของเด็กเยาวชน และประชาชนไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์กูดอิฟนิ่ง ดิงค์.
- กรมอนามัย. (2562). ร้อยละของเด็กวัยเรียน (6-14 ปี) ภาวะเริ่มอ้วนและอ้วน ระดับเขตสุขภาพ. ระบบสารสนเทศสนับสนุนด้านการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, กระทรวงสาธารณสุข. <https://nutrition2.anamai.moph.go.th/webupload/6x22caac0452648c8dd1f534819ba2f16c/filecenter/file/doc/2564-1.11-2.pdf>.
- กัลยา นุตระ. (2557). คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัดและญาติผู้ดูแล. วารสารการพยาบาลและการดูแลสุขภาพ, 36(4), 1496.
- จันทร์ดา บุญประเสริฐ. (2559). ผลของการออกกำลังกายแบบหฐะโยคะต่อสมรรถภาพทางกายในผู้สูงอายุ. วารสารพยาบาลสาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 43(1), 35-47.
- บุญใจ ศรีสถิตย่นรากร. (2547). ระเบียบวิธีการวิจัยทางพยาบาลศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรศักดิ์ เพียรชอบ. (2560). ปรัชญา หลักการ วิธีสอน และการวัดเพื่อประเมินผลทางพลศึกษา (ฉบับปรับปรุง) กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาลี สุภาภรณ์. (2544). ตำราไอเณกะโยคะ. นครนายก: บริษัท เฟื่องฟ้า ปริ้นติ้ง จำกัด.

- สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา. (2555). *แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับเด็กไทยอายุ 7-18 ปี*. กรุงเทพฯ. กรมพลศึกษา, กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.
- สุพิตร สมานิติ และคณะ. (2555). *แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับเด็กไทยอายุ 7-18 ปี*. กรุงเทพฯ: กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.
- Alverina, G., Wattimena, I., & Wulandari, Y. (2020). The Difference In Flexibility Of Lumbar Joints Before and After Yoga Gymnastics In Integrated Health Center (Posyandu) Yuswo Widodo Surabaya. *Journal of Widya Medika Junior*, 2(4), 257-262.
- Biolo, G., Ciochi, B., Stulle, M., Bosutti, A., Barazzoni, R., Zanetti, M., Antonione, R., Lebenstedt, M., Platen, P., Heer, M., & Guarnieri, G. (2007). Calorie restriction accelerates the catabolism of lean body mass during 2 wk of bed rest. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 86(2), 366–372.
- Bucht, H., & Donath, L. (2019). Sauna Yoga Superiorly Improves Flexibility, Strength, and Balance: A Two-Armed Randomized Controlled Trial in Healthy Older Adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3721. Doi:10.3390/ijerph16193721.
- Chauhan, A., Kumar, D., Prasad, S. S., and Badoni, M. R. (2017). Semwal 3 Yoga Practice Improves the Body Mass Index and Blood Pressure: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Yoga*, 10(2), 103-106.
- Dhume, R. R., & Dhume, R. A. (1991). A comparative study of the driving effects of dextroamphetamine and yogic meditation on muscle control for the performance of balance on balance board. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 35(3), 191–194.

- Gokal, R., Shillito, L., & Maharaj, S. R. (2007). Positive impact of yoga and pranayama on obesity, hypertension, blood sugar, and cholesterol: a pilot assessment. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 13(10), 1056–1057.
- Hewett, Z. L., Pumpa, K. L., Smith, C. A., Fahey, P. P., & Cheema, B. S. (2017). Effect of a 16-week Bikram yoga program on heart rate variability and associated cardiovascular disease risk factors in stressed and sedentary adults. A randomized controlled trial. *BMC Complement Medicine and Therapies*, 17(1), 226-230.
- Hoy, S., Östh, J., Pascoe, M., Kandola, A., & Hallgren, M. (2020). Effects of yoga-based interventions on cognitive function in healthy older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 58(1), 1-8.
- Hunter, S. D., Dhindsa, M. S., Cunningham, E., Tarumi, T., Alkatan, M., Nualnim, N., & Tanaka, H. (2013a). The effect of Bikram yoga on arterial stiffness in young and older adults. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 19(12), 930-4. Doi: 10.1089/acm.2012.0709.
- Hunter, S. D., Dhindsa, M., Cunningham, E., Tarumi, T., Alkatan, M., & Tanaka, H. (2013b). Improvements in glucose tolerance with Bikram Yoga in older obese adults: A pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(4), 404-7. Doi: 10.1016/j.jbmt.2013.01.002.
- Jawon, (2013). *Specializes in manufacturing and offering body composition analyzer, blood pressure monitor for hospital, and 30 kinds of other medical products*. Medical Co., Ltd.

- Lau, C., Yu, R., & Woo, J. (2015). Effects of a 12 Week Hatha Yoga Intervention on Cardiorespiratory Endurance, Muscular Strength and Endurance, and Flexibility in Hong Kong Chinese Adults. *Evid Based Complement Alternative Medicine. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-12. Doi: 10.1155/2015/958727.
- Laukkanen, T., Khan, H., Zaccardi, F., & Laukkanen, J. A. (2015). Association between sauna bathing and fatal cardiovascular and all-cause mortality events. *JAMA Internal Medicine*, 175(4), 542-8. Doi:10.1001/jamainternmed.2014.8187.
- Moliver, N., Mika, E. M., Chartrand, M. S., Burrus, S. W. M., Haussmann, R. E. & Khalsa, S. B. S. (2011). Increased Hatha yoga experience predicts lower body mass index and reduced medication use in women over 45 year. *International Journal of Yoga*, 4(2), 77–86.
- Penedo, F. J., & Dahn, J. R. (2016). Exercise and Well Being: A Review of Mental and Physical Health Benefits Associated With Physical Activity. *Current Opinion in Psychiatry*, 18(2), 189.
- Sahay, B. K. (2007). Role of yoga in diabetes. *Journal of the Association of Physicians of India*, 55, 21–26.
- Schmid, A. A., Puymbroeck, M. V., & Kocejka, D. M. (2010). Effect of a 12-week yoga intervention on fear of falling and balance in older adults: A pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(4), 576–583.
- Selvaraja, C., & Arumugam, S. (2018). Effect of iron yoga practices on core strength and flexibility among football players. *Ganesar College of arts and science*, 6(4), 596-599.
- Shafer, L. M. (2018). *Low-Impact Yoga Improves Flexibility, but Has No Effect on Heart Rate Variability in Sedentary Adult Women*. (A thesis of Master of Science, Department of Biological Sciences, Wright State University)

- Siani, V., Mohamed, E. I., Maiolo, C., Daniele, N. D., Ratiu, A., Leonardi, A., & Lorenzo, A. D. (2003). Body composition analysis for healthy Italian vegetarians. *Acta Diabetologica*, 40(Suppl.1), 297–298.
- Slavíček, J., Kittnar, O., Fraser, G. E., Medová, E., Konečná, J., Zizka, R., Dohnalová, A., & Novák, V. (2008). Lifestyle decreases risk factors for cardiovascular diseases. *Central European Journal of Public Health*, 16(4), 161–164.
- Telles, S., Naveen, V. K., Balkrishna, A., & Kumar, S. (2010). Short term health impact of a yoga and diet change program on obesity. *Medical Science Monitor*, 16(1), CR35–40.
- Widjaja, A. A., Chothani, S. P., & Cook, S. A. (2021). Different roles of interleukin and interleukin 11 in the liver: Implications for therapy. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 16(1), 2357–2362.
- Wooten, S. V., Signorile, J. F., Desai, S. S., Paine, A. K., & Mooney, K. (2018). Yoga meditation (YoMed) and its effect on proprioception and balance function in elders who have fallen: A randomized control study. *Complementary Therapies in Medicine*, 36(1), 129–136.
- Yang, Y., Verkuilen, J. V., Rosengren, K. S., Grubisich, S. A., Reed, M. R., Hsiao-Wecksler, E. T. (2007). Effect of combined Taiji and Qigong training on balance mechanisms: A randomized controlled trial of older adults. *Medical Science Monitor*, 13(8), CR339–348.

BIOSORPTION BEHAVIOR OF CD(II) IONS ONTO TAPIOCA PEEL: EQUILIBRIUM, KINETICS, THERMODYNAMICS AND DESORPTION STUDIES

Panumas Promthet^{1,*} and Weena Promthet²

¹ Program of Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University

² Program of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

Received: 1 November 2022

Accepted: 23 December 2022

Abstract

The biosorption behavior of Cd(II) from aqueous solution onto industrial waste such as tapioca peel was investigated as a function of influence parameters such as contact time, solution pH, initial concentration, temperature, desorption, and regeneration. Results showed that the biosorption was relatively fast, and equilibrium was achieved within 30 min. The tapioca peel exhibited good biosorption potential at pH 5. The experiment data was described better by the Langmuir than the Freundlich isotherm model, with a maximum biosorption capacity of 36.10 mg/g. The biosorption kinetics followed a pseudo-second-order model, and the thermodynamic behaviour indicated that the Cd(II) biosorption onto tapioca peel was an endothermic process. The results of FTIR spectroscopic analysis revealed that hydroxyl and carboxyl groups on the tapioca peel surface were involved in the biosorption of Cd(II). Desorption of Cd-loaded tapioca peel was desorbed by HCl, HNO₃, H₂SO₄, EDTA, MgCl₂, and NaCl as the desorbing agents. The results showed that more than 86% desorption of Cd(II) was attained with 0.1 M HCl. The regeneration experiments showed that the biosorption

* Corresponding Author: Panumas Promthet

E-mail: panumaspt@gmail.com

capacity of tapioca peel was a total slightly reduced 6%. Meanwhile, the recovery of Cd(II) was decreased from 88.74 to 70.91% in the sixth cycle.

Keywords: Biosorption, Desorption, Tapioca peel, Biosorbent, Cd(II)

Introduction

Water pollution by heavy metals has been an important ecological and environmental issue in Thailand. Cd(II) is one of the heavy metals that is regarded as an element of high toxicity. Cd(II) toxicity can lead to cancer, hypertension, renal dysfunction, hepatic injury, and lung insufficiency (Sari et al., 2008). Industrial effluents from electroplating, pigments, battery, solar cells, plastic stabilizers, mining, metallurgical, and fertilizer industries are the major sources of Cd(II) contaminants in water resources (Gupta et al., 2022). Conventional methods for the removal of Cd(II) from wastewater are ion exchange, ultrafiltration, adsorption, solvent extraction, chemical precipitation, reverse osmosis, and phytoremediation (Wattanakornsiri et al., 2022). However, the disadvantages of the methods include being extremely expensive and not effective, especially when the metal concentration is less than 100 mg/L (Volesky, 2007)

Biosorption is one alternative that should be considered; the advantages of this method over conventional methods include great efficiency for metal removal at low concentration, the possibility of metal recovery, and the low cost of biosorbent. Researchers have tested many materials such as rice husk, tea waste, coffee bean, coconut waste, peanut shell, sunflower stalk, orange peel, banana peel, mango peel, pomelo peel, sugarcane bagasse and melon peel for Cd(II) removal from wastewater (Kwikima et al., 2021; Ahmadi et al., 2022).

Tapioca is an annual tuber crop grown widely in tropical areas. Currently, Thailand is also the world's largest exporter of tapioca products with an average

of 7 million tons/year. However, the tapioca industry produces large quantities of wastes and creates environmental problems. Finding a use for large quantities of tapioca peel is one of the challenge tasks. The objective of the present work was to explore the potential of tapioca peel for the biosorption of Cd(II) from aqueous solution. The influence of various experimental parameters such as contact time, solution pH, initial concentration, temperature, desorption, and regeneration have been investigated. FTIR analysis, biosorption isotherms, kinetics, and thermodynamic model were used to evaluate the experimental data and to describe the possible biosorption mechanism.

Materials and methods

Biosorbent preparation

Tapioca peel was generated in the native tapioca starch production process from the J.Charoen Marketing Co., Ltd., in Chiangkan district, Loei Province, Thailand. The peels were washed 4-5 times with distilled water and dried in an oven at 80 °C for 48 hours, and then crushed and sieved through different sizes. 0.425-2.36 mm fraction was used in all experiments.

Fourier transform infrared analysis

The functional groups present on the surface of tapioca peel before and after Cd(II) biosorption were analyzed by FTIR spectroscopy (Bruker, Tensor 27). The analysis was carried out using KBr, and the spectra range varied from 4000 to 400 cm^{-1} .

Metal solutions

All chemicals used in the present work were analytical grade and were purchased from Loba Chemie (Mumbai, India). The stock solution of Cd(II) was prepared by dissolving the required amount of $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in distilled water. The pH of solutions was adjusted by pH meter (Mettler-Toledo, S20) using 0.1 M HNO_3 and 0.1 M NaOH.

Biosorption studies

The Cd(II) biosorption experiments to examine the effects of the parameters such as contact time, solution pH, initial concentration, and temperature were carried out in 250 mL Erlenmeyer flasks containing 100 mL metal solutions and 1 g of tapioca peel. The flasks were agitated at 200 rpm in the orbital shaker (Forma Scientific, model 420) at a temperature of 35°C. Tapioca peel was separated using fiberglass filter paper, and the Cd(II) concentration in solution was analyzed by AAS (Shimadzu, AA-6200) and operated at an analytical wavelength of 228.8 nm. The effect of contact time was studied at definite time intervals (5, 10, 20, 30, 60, 90, and 120 min). The effect of pH was determined in different pH solutions (2, 3, 4, 5, 6, and 7). The effect of initial concentration was varied over a range concentration (25, 50, 100, 200, 300, 400, and 500 mg/L), and the effect of temperature was incubated at different degrees (5, 15, and 55°C). All experiments were carried out in triplicate, and the results were presented as mean values. The amount of Cd (II) biosorption at equilibrium, q_e (mg/g), was calculated as follows:

$$q_e = \frac{V}{M}(C_0 - C_e) \quad (1)$$

Where: C_0 and C_e are the initial and equilibrium concentrations of Cd(II) in solution (mg/L). V and M are the volume of solution (L) and mass of tapioca peel (g).

Desorption and regeneration studies

Desorption experiments were carried out by treating 1 g of tapioca peel with 100 mL of 50 mg/L Cd(II) solution. After Cd(II) biosorption, the Cd-loaded tapioca peel was filtered, washed several times with distilled water to remove residual Cd(II), and desorbed with 100 mL of 0.1 M HCl, HNO₃, H₂SO₄, EDTA, MgCl₂, and NaCl. The mixtures were shaken in the orbital shaker for 30

minutes, and the filtrates were analyzed to determine the concentration of Cd(II) after desorption. The desorbed peel was washed, and the so regenerated biosorbent was used in six biosorption–desorption cycles to determine reusability of the peel. Desorption efficiency was calculated as follows:

$$\text{Desorption efficiency} = \frac{\text{Amount of Cd(II) desorbed}}{\text{Amount of Cd(II) adsorbed}} \times 100 \quad (2)$$

Results and discussion

Effect of contact time

Contact time is one of the important parameters that attributed to the success of the biosorbents in metals biosorption. The results showed that the biosorption of Cd(II) increased as the contact time was increased, and the figure showed two phases of rapid and slow rates (Fig.1). The biosorption capacity of Cd(II) increased rapidly during the first 5 minutes. After that, the capacity increased slowly until the equilibrium was reached at 30 minutes, when biosorption equilibrium was found to be 4.27 mg/g. The rapid phase is attributed to the highly porous structure and the large surface area of the tapioca peel, which provides ready access for the removal of Cd(II) on the active sites. With the gradual occupancy of these sites, the process becomes less efficient in the slower phase. Similar observations of two-rate biosorption were reported for the removal of Cd(II) by mungbean husk (Saeed et al., 2009), physic seed hull (Mohammad et al., 2010) and leaves waste (Gupta et al., 2022).

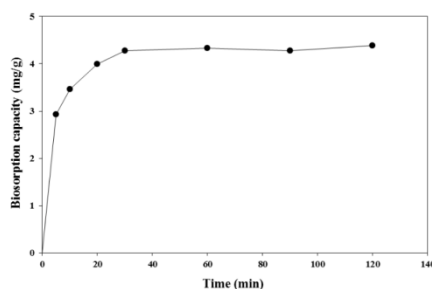


Fig. 1 Effect of contact time on the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel

Effect of solution pH

It is well known that solution pH is one of the major parameters controlling the biosorption of metals ions with biosorbents. The results showed that the biosorption capacity was increased with increasing solution pH (Fig.2). This can be explained by the fact that at low pH, the surface of the tapioca peel would also be surrounded by H^+ , which decreases the Cd(II) interaction with the active sites of the tapioca peel by greater repulsive force, while with an increase in pH, the total surface of the tapioca peel became negative; therefore, biosorption increased (Benaissa & Elouchdi, 2007; Ahmadi et al., 2022) and the maximum biosorption occurred at pH 5, when the capacity was found to be 4.29 mg/g. However, the decrease in biosorption efficiency at higher pH (>5) was due to the formation of soluble hydroxylated complexes and their competition with the active sites as a result, the retention would decrease again (Kumar et al., 2011).

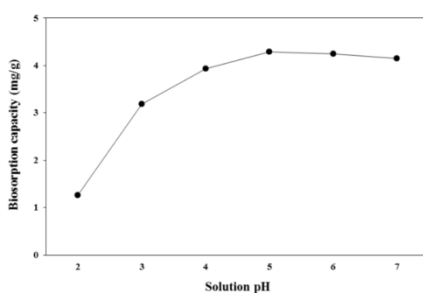


Fig. 2 Effect of pH on the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel

Biosorption isotherms

The biosorption isotherm is the relationship graph between the amounts of Cd(II) adsorbed onto the surface of tapioca peel at equilibrium (Fig.3). The results showed that the biosorption capacity increased with an increased concentration. When the initial concentration increased from 25 to 500 mg/l, the biosorption capacity increased from 2.36 to 31.87 mg/g. The biosorption

isotherms were studied using two models, namely the Langmuir and Freundlich isotherm. The Langmuir model assumes adsorption on a homogeneous surface and a monolayer adsorption, and the equation is expressed as follows:

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

Where: $q_{\max}$ and K_L are the maximum capacity (mg/g) and Langmuir constant (L/mg). The values of $q_{\max}$ and K_L can be calculated from the slope and intercept of the plot between C_e/q_e versus C_e .

The Freundlich isotherm assumes adsorption on a heterogeneous surface and a multilayer adsorption and the equation is expressed as follows:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

Where: K_F and $1/n$ are the biosorption capacity and biosorption intensity. The values of K_F and $1/n$ can be calculated from the slope and intercept of the plot between $\log q_e$ versus $\log C_e$.

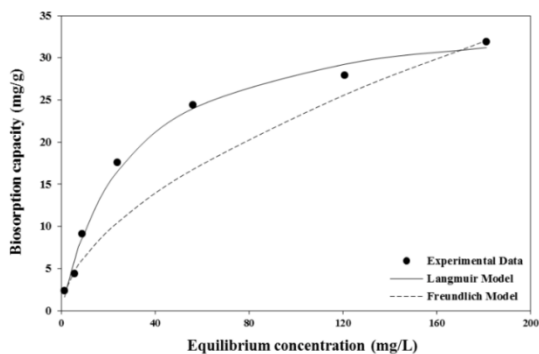
The results showed that (Fig. 4 and 5) the biosorption isotherm for the tapioca peel was described well by the Langmuir model ($R^2=0.9889$) as compared to the Freundlich model ($R^2=0.9492$). In other words, the biosorption process took place through a monolayer coverage of Cd(II) ions on the surface of tapioca peel, and the maximum capacity ($q_{\max}$) obtained in this study was 36.10 mg/g (Table 1). Moreover, the maximum biosorption capacity of tapioca peel in this work is higher than that of various biosorbents reported in the literature (Table 2).

Table 1 Isotherm parameters obtained from Langmuir and Freundlich model

Langmuir isotherm			Freundlich isotherm		
$q_{\max}$	K_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
36.10	0.0353	0.9889	2.21	0.553	0.9492

Table 2 Comparison of cadmium biosorption capacities of various biosorbents

Biosorbents	Capacity (mg/g)	Reference
Banana peel	2.18	(Anwar et al., 2010)
Physic seed hull	11.89	(Mohammad et al., 2010)
Corn stalk	12.73	(Zheng et al., 2010)
Wheat straw	14.80	(Dang et al., 2009)
Coffee grounds	15.65	(Azouaou et al., 2010)
Pomelo peel	21.83	(Saikaew et al., 2009)
Mungbean husk	35.41	(Saeed et al., 2009)
Tapioca peel	36.10	This work

**Figure 3** Biosorption isotherms of Cd(II) onto tapioca peel

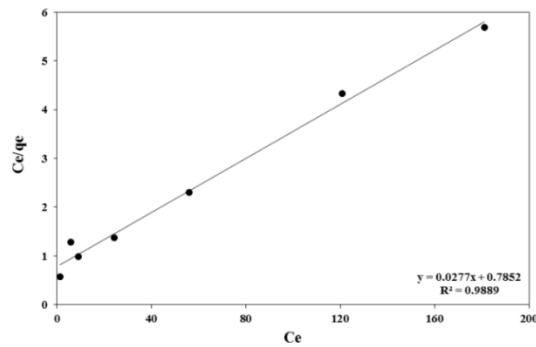


Figure 4 Langmuir isotherm plots of Cd(II) onto tapioca peel

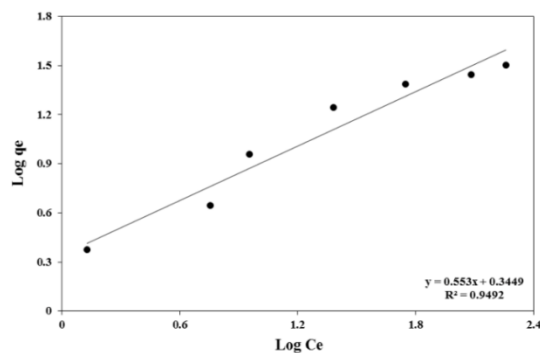


Figure 5 Freundlich isotherm plots of Cd(II) onto tapioca peel

Biosorption kinetics

To describe the possible biosorption mechanism of Cd(II) onto tapioca peel and rate the controlling steps, the kinetic models were studied using two models, namely pseudo-first-order and pseudo-second-order equations. The pseudo-first-order equation, which is also known as the Lagergren model and the linear form of the equation, is expressed as follows:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (6)$$

Where: q_t is the biosorption capacity at time t and k_1 is the first-order rate constant (min). The values of k_1 and q_e can be calculated from the slope and the intercept of plot between $\log(q_e - q_t)$ and t .

The pseudo-second-order, which is known as the Ho and McKey model and the linear form of the equation, is expressed as follows:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (7)$$

Where: k_2 is the second-order rate constant (g/mg/min). The values of q_e and k_2 can be calculated from the slope and intercept of plot between t/q_t versus t .

The value of biosorption capacity $q_{e(cal)}$ determined using the first-order model was far lower than the experimental $q_{e(exp)}$ value. On the other hand, the value of biosorption capacity $q_{e(cal)}$ obtained from the second-order model was approximate to the experimental value more than the value of the first-order model. A comparison of the regression coefficient (R^2) between the first-order and second-order (Table 3) showed that biosorption process closely followed the pseudo-second-order (Fig. 6) better than the pseudo-first-order. Therefore, the rate-controlling step of the biosorption process may be due to the chemisorption involving valency forces through the sharing or exchange of electrons between the tapioca peel and Cd(II) ions (Ho, 2006).

Table 3 Kinetic parameters of pseudo-first-order and pseudo-second-order

Experiment	Pseudo-first-order			Pseudo-second-order		
$q_{e(exp)}$	$q_{e(cal)}$	k_1	R^2	$q_{e(cal)}$	k_2	R^2
4.32	1.49	0.058	0.9506	4.55	0.079	0.9998

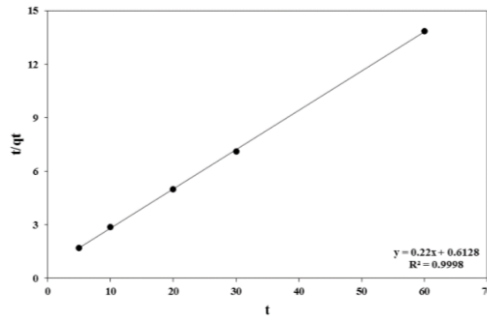


Figure 6 Pseudo-second order plots of Cd(II) onto tapioca peel

Biosorption thermodynamic

The effect of temperature is an important influencing factor in the biosorption process. The thermodynamic behaviour for biosorption of Cd(II) onto tapioca peel was mentioned at three different temperatures, viz., 15, 35, and 55 °C. The results showed that when the temperature increased from 15 to 55 °C, the biosorption capacity increased from 3.50 to 4.71 mg/g. The increases in capacity of Cd(II) with temperature may be due to the enlargement of pore size or the activation of some components available at the surface of tapioca peel that respond to Cd(II) biosorption (Ajmal et al., 2000). The thermodynamic distribution coefficient (KD) was expressed as in the following equation:

$$K_D = C_A/C_e \quad (8)$$

Where: C_A is the equilibrium concentration on the surface of tapioca peel (mg/L).

The value of free energy change (ΔG°) was calculated from the following equation:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_D \quad (9)$$

Where: R is the gas constant (8.314 J/mol/K) and T is the temperature (°K). The values of the entropy change (ΔS°) and enthalpy change (ΔH°) were obtained from the slope and intercept of the plot between $\ln K_D$ versus $1/T$.

$$\ln K_D = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (10)$$

The results showed that (Table 4) the value of ΔG° was calculated to be -1.99 , -4.77 , and -7.54 kJ/mol. The negative values of ΔG° confirm the spontaneous nature of Cd(II) biosorption. The values of ΔS° and ΔH° were found to be 138.9 J/mol and 38.03 kJ/mol. The positive value of ΔS° indicates that the freedom of Cd(II) ions is not too restricted in the tapioca peel. The positive value of ΔH° indicates that the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel was the endothermic process.

Table 4 Thermodynamic parameters for the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel

Temp (K)	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ/mol K)	R^2
288.15	-2.98			
308.15	-5.02	26.41	0.102	0.9871
328.15	-7.06			

Organic functional groups analysis

The FTIR spectra of tapioca peel before and after the biosorption of Cd(II) were used to determine the frequency changes of the organic functional groups in the tapioca peel and the spectra wave number varying from 400 to 4000 cm^{-1} . The FTIR spectrum of native tapioca peel (Fig. 7A) showed the presence of several functional groups. The adsorption peak at 3431 cm^{-1} was attributed to the stretching vibration of the O-H bond due to alcohols, and the peak at 2929 cm^{-1} was likely due to the presence of C-H bonds in the carboxyl group. The peak observed at 1760 cm^{-1} was due to the stretching vibration of the C=O bond due to carboxylic acids (Feng et al., 2011). The peak at 1652 cm^{-1} might be attributed to the stretching of the C=C and C=O bonds,

and the peak observed at 1031 cm^{-1} was attributed to the stretching of the C–O bond due to alcohols, carboxylic acids or esters. The FTIR spectrum of Cd-loaded tapioca peel (Fig. 7B), showed that the stretching vibration at 3431, 2929, 1760, 1652, and 1031 cm^{-1} were changed and shifted to 3421, 2925, 1745, 1631, and 1026 cm^{-1} , respectively. These shifts in the FTIR spectrum of tapioca peel after the biosorption of Cd(II) may be attributed to the chemical interactions, as the ion exchange between hydrogen atoms of hydroxyl and carboxyl groups of tapioca peel and Cd(II) ions were mainly involved in the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel (Sari et al., 2008).

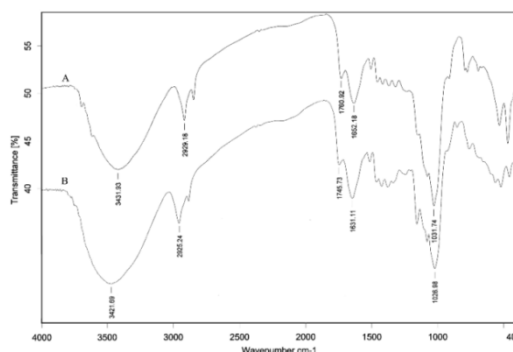


Figure 7 FTIR spectrum of tapioca peel (A) native tapioca peel
(B) Cd-loaded tapioca peel

Desorption and regeneration studies

The regeneration of biosorbent may be crucially important for keeping down the operating costs of heavy metal removal from wastewater. The results showed that the highest desorption efficiency of 86.73% was attained with 0.1 M HCl. Conversely, NaCl was less efficient than the other desorbing agents (Fig. 8). The inefficient desorption by NaCl was ascribed to the formation of alkaline metal complexes or metal precipitation at high pH (Saeed & Iqbal, 2003). The regeneration of tapioca peel was reused for up to six cycles using 0.1 M HCl as a desorbing agent (Fig. 9). In total, the biosorption capacity was slightly decreased

by 6% after a sequence of six cycles. Meanwhile, the recovery of Cd(II) decreased from 88.74 to 70.91% in the sixth cycle. There is a reduction in both percentage biosorption and desorption. It may be concluded that HCl has the potential to desorbent the metal ions due to H^+ biosorption and pH shift, however, in turn, this also changes the functional chemistry of the surface leading to reduction in the capacity of the bio-adsorbent in next cycle (Gupta et al., 2022).

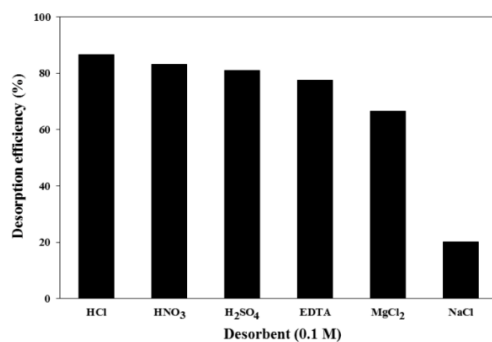


Figure 8 Effect of desorbent on the desorption of Cd(II) from tapioca peel

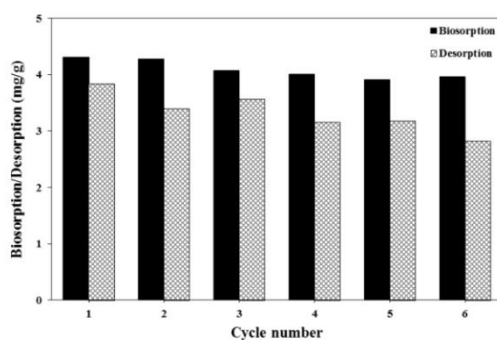


Figure 9 Six cycles of Cd(II) Biosorption-Desorption with 0.1 HCl

Conclusions

Cd(II) biosorption onto tapioca peel was found to be dependent on contact time, solution pH, initial concentration, and temperature. Langmuir isotherm described the biosorption of Cd(II) onto tapioca peel better than the Freundlich isotherm with a maximum biosorption capacity of 36.10 mg/g at an

optimum pH of 5. The pseudo-second-order equation well-fitted the biosorption kinetics, and the thermodynamic behaviour indicated that the Cd(II) biosorption onto tapioca peel was an endothermic process. FTIR analysis revealed that carboxyl and hydroxyl groups were mainly responsible for the biosorption of Cd(II). Desorption studies showed that more than 86% desorption of Cd(II) was attained with 0.1 M HCl. Tapioca peel in this work has been shown to be greatly efficient and an alternative biosorbent for the biosorption and desorption of Cd(II) from aqueous solution because of its reasonable high biosorption capacity, and this waste is available in large quantities from tapioca starch industry in Thailand.

Acknowledgement

The author(s) wish to acknowledge Chemical Laboratory, Science Center, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, for providing laboratory facilities and equipment for this research work.

References

- Ahmadi, H., Hafiz, S. S., Sharifi, H., Rene, N. N., Habibi, S. S., & Hussain, S. (2022). Low cost biosorbent (Melon Peel) for effective removal of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) ions from aqueous solution. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 1–7.
- Ajmal, M., Rao, R. A. K., Ahmad, R., & Ahmad, J. (2000). Adsorption studies on *Citrus reticulata* (fruit peel of orange): removal and recovery of Ni(II) from electroplating wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 79(1-2), 117–131.
- Anwar, J., Shafique, U., Zaman, W., Salman, M., Dar, A., & Anwar, S. (2010). Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology*, 101(6), 1752–1755.

- Azouaou, N., Sadaoui, Z., Djaafri, A., & Mokaddem, H. (2010). Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3), 126–134.
- Benaissa, H., & Elouchdi, M. A. (2007). Removal of copper ions from aqueous solutions by dried sunflower leaves. *Chemical Engineering and Processing*, 46(7), 614–622.
- Dang, V. B. H., Doan, H. D., Dang–Vu, T., & Lohi, A. (2009). Equilibrium and kinetics of biosorption of cadmium (II) and copper(II) ions by wheat straw. *Bioresource Technology*, 100(1), 211–219.
- Feng, N., Guo, X., Liang, S., Zhu, Y., & Liu, J. (2011). Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel. *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 49–54.
- Gupta, S., Garg, D., & Kumar, A. (2022). Cadmium biosorption using *Aloe. barbadensis* Miller leaves waste powder treated with sodium bicarbonate. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100032. DOI:10.1016/j.clwas.2022.100032.
- Ho, Y. S. (2006). Review of second-order models for adsorption systems. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3), 681–689.
- Kwikima, M.M., Mateso, S., & Chebude, Y. (2021). Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review. *Scientific African*, 13, 1–14.
- Kumar, P. S., Ramalingam, S., Kirupha, S. D., Murugesan, A., Vidhyadevi, T. & Sivanesan, S. (2011). Adsorption behavior of nickel(II) onto cashew nut shell: Equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design. *Chemical Engineering Journal*, 167(1), 122–131.
- Mohammad, M., Maitra, S., Ahmad, N., Bustam, A., Sen, T. K., & Dutta, B. K. (2010). Metal ion removal from aqueous solution using physic seed hull. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1), 363–372.

- Saeed, A., Iqbal, M., & Holl, W. H. (2009). Kinetics, equilibrium and mechanism of Cd^{2+} removal from aqueous solution by mungbean husk. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 1467–1475.
- Saeed, A., & Iqbal, M. (2003). Bioremoval of cadmium from aqueous solution by black gram husk (*Cicer arietinum*). *Water Research*, 37(14), 3472–3480.
- Saikaew, W., Kaewsarn, P., & Saikaew, W. (2009). Pomelo Peel: agricultural waste for biosorption of cadmium ions from aqueous solutions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 56(32), 287–291.
- Sari, A., Mendil, D., Tuzen, M., & Soylak, M. (2008). Biosorption of Cd(II) and Cr(III) from aqueous solution by moss (*Hylocomium splendens*) biomass: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, 144(1), 1–9.
- Volesky, B. (2007). Biosorption and me. *Water Research*, 41(18), 4017–4029.
- Wattanakornsiri, A., Rattanawan, P., Sanmueng, T., Satchawan, S., Jamnongkan, T., & Phuengphai, P. (2022). Local fruit peel biosorbents for lead(II) and cadmium(II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 306–317.
- Zheng, L., Dang, Z., Yi, X., & Zhang, H. (2010). Equilibrium and kinetic studies of adsorption of Cd(II) from aqueous solution using modified corn stalk. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), 650–656.

ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน

EFFECTS OF VERMICOMPOST COMBINED WITH CHEMICAL FERTILIZER APPLICATION ON GROWTH AND YIELD OF SWEET WAXY CORN

ดรุณี พวงบุตร* และ วชิราวุธ พิศยะไตร

Darunee Puangbut* and Wachirawut Phisayatrai

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Agriculture Program, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

Received: 10 November 2022

Accepted: 12 December 2022

บทคัดย่อ

ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีปริมาณอินทรีวัตถุและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมการลดการใช้ปุ๋ยเคมี อาจจะช่วยส่งเสริมให้ข้าวโพดข้าวเหนียวหวานมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีการใส่ปุ๋ย 6 อัตราที่แตกต่างกัน ดังนี้ ทริตเมนต์ที่ 1 ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 25 กิโลกรัมต่อไร่ (T1) ทริตเมนต์ที่ 2 ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน 3 ตันต่อไร่ (T2) ทริตเมนต์ที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ (T3) ทริตเมนต์ที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ (T4) ทริตเมนต์ที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ (T5) และทริตเมนต์ที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ (T6) จากการศึกษา พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใช้ปุ๋ยเคมี (T3-T6) มีผลทำให้ความสูงและค่าความเขียวใบไม้มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ นอกจากนี้พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ

* Corresponding author: ดรุณี พวงบุตร

E-mail: Darunee.pu@udru.ac.th

การลดการใส่ปุ๋ยเคมีทุกอัตราทำให้ผลผลิตฝักสดข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ยกเว้น ทรีตเมนต์ T4 จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ อาจจะใช้เป็นอัตราแนะนำให้เกษตรกร เนื่องจากทำให้การ เจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวานมีศักยภาพเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราแนะนำ

คำสำคัญ: ปุ๋ยมูลไส้เดือน, ค่าความเขียวใบ, ผลผลิตฝักสด

Abstract

Vermicompost is rich in organic matter and nutrient elements which are essential for plant growth. Therefore, using vermicompost combined with reducing the rate of chemical fertilizer may promote plant growth as a result improve yield of sweet waxy corn. This study aimed to investigate the effect of vermicompost combined with chemical fertilizer application on growth and yield of waxy corn. The study was performed in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. Six treatments consist of 1) chemical fertilizer at the rate 25 kg/Rai⁻¹ (control) 2) Vermicompost at the rate 3 t/Rai⁻¹ 3) Vermicompost at the rate 1 t/Rai⁻¹ + chemical fertilizer at the rate 12.5 kg/Rai⁻¹ 4) Vermicompost at the rate 2 t/Rai⁻¹ + chemical fertilizer at the rate 12.5 kg/Rai⁻¹ 5) Vermicompost at the rate 3 t/Rai⁻¹ + chemical fertilizer at the rate 12.5 kg/Rai⁻¹ and 6) Vermicompost at the rate 4 t/Rai⁻¹ + chemical fertilizer at the rate 12.5 kg/Rai⁻¹. The result revealed that the application of vermicompost combined with reduced chemical fertilizer (T3-T6) showed it was not significantly different between chemical fertilizer for SPAD chlorophyll meter reading and plant height. Furthermore, there was no significant difference between vermicompost integrated with chemical fertilizer and chemical fertilizer for fresh ear yield, excepting T4. The results indicated that application of vermicompost at the rate 1 t/Rai⁻¹ + chemical fertilizer at the rate 12.5 kg/Rai⁻¹ could be recommended

for farmer due to contributed growth and yield of waxy corn and resulted in yield potential equal to chemical fertilizer application at the rate of 25 kg/Rai⁻¹ (recommended rate)

Keywords: Vermicompost, SPAD chlorophyll meter reading, Fresh ear yield

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) เป็นข้าวโพดที่ได้รับความนิยมบริโภคในหลายประเทศของทวีปเอเชีย เช่น จีน เกาหลี ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเวียดนาม ในประเทศไทยสามารถปลูกและจำหน่ายได้ตลอดทั้งปี โดยเมล็ดของข้าวโพดข้าวเหนียว มีแป้งชนิด amylopectin สูง เมื่อสุกจึงมีเนื้อเหนียว นุ่ม มีรสหวานเล็กน้อยเหมือนข้าวเหนียว จึงทำให้เป็นที่นิยมรับประทานกันมาก (สตางค์ หัสนันท์, 2556)

ปัจจุบัน พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวมีการใช้ปุ๋ยจ่ยในการผลิตเป็นจำนวนมากได้แก่ ปุ๋ยเคมี สารเคมีในการเร่งการเจริญเติบโต และสารกำจัดศัตรูพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณมากและมีคุณภาพดี โดยไม่คำนึงถึงผลเสียที่เกิดขึ้นต่อผู้ปลูกผู้บริโภคและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมีพบว่าในปี 2563 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีเป็นจำนวนมาก คิดเป็นมูลค่า 46 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) โดยถ้ามีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากขึ้นและใช้เป็นระยะเวลานานติดต่อกันหลายปีในการปลูกพืชอาจจะส่งผลเสียต่อดิน โดยทำให้สภาพดินเสื่อมโทรม ขาดความอุดมสมบูรณ์ไม่สามารถเพาะปลูกพืชได้ และยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ (กรมวิชาการเกษตร, 2559; Liu et al., 2019) จากผลกระทบที่ได้กล่าวมาข้างต้นการผลิตพืชโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้หรือการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี จะเป็นการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลง ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ในขณะที่ยังให้ผลผลิตในปริมาณที่สูง (Guo et al., 2015) ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินให้สูงขึ้น และที่สำคัญเป็นการลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลเสียต่อผู้ผลิตโลก ปัจจุบัน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชมีหลากหลายชนิด ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยมูลไส้เดือน เป็นต้น

ปุ๋ยมูลไส้เดือน เป็นปุ๋ยหมักชีวภาพชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยธาตุอาหารเกือบทุกชนิดที่พืชต้องการ และอยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งมีสารที่มีคุณสมบัติคล้ายออกซิน (auxin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช คุณสมบัติต่างๆ ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตพืช และส่งผลทางอ้อมในการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเพาะปลูกพืช โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sigaye et al., 2021) โดยจากการศึกษาของ Zaman et al. (2018) ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวานได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียวในการปลูกผัก ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง

จากการศึกษาที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมการลดการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีในกระบวนการผลิตไม่เป็นการทำลายดิน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นอย่างมาก

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมีในข้าวโพดข้าวเหนียวหวานพันธุ์ขอนแก่น เป็นพันธุ์ลูกผสม ลักษณะฝักเป็นทรงกระบอก เมล็ดสีขาวครีม มีเมล็ดของข้าวโพดหวานแทรก อายุเก็บเกี่ยว 65-70 วัน เป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงพันธุ์โดยคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการวิจัยที่แปลงทดลองสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ระหว่างเดือนสิงหาคม 2564 ถึงเดือนตุลาคม 2564 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้ทรีตเมนต์ คือ อัตราการใส่ปุ๋ย 6 อัตราที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ 2) ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยเคมี

อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตัน/ไร่ 5) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ และ 6) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่

ปลูกข้าวโพดในถุงพลาสติกสีดำขนาด 10 x 20 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร บรรจุดินผสมกับแกลบดำอัตรา 3:1 ให้มีความสูงของดินเท่ากันทุกถุง รวมน้ำหนักดินในถุงพลาสติกสีดำ จำนวน 15 กิโลกรัม เมื่อข้าวโพดอายุ 15 วันหลังย้ายปลูก ในทรีตเมนต์ที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัม ส่วนทรีตเมนต์ที่ 2-6 มีการใส่ปุ๋ยตามทรีตเมนต์ที่กำหนด และเมื่อข้าวโพดอายุ 30 วันหลังย้ายปลูก มีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในทรีตเมนต์ที่ 1 โดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 เก็บข้อมูลค่าความเขียวของใบ โดยตรวจวัดเมื่อข้าวโพดที่อายุ 15, 30 และ 45 วันหลังจากย้ายปลูก โดยวัดจากใบที่ 2 หรือ 3 นับจากยอดของลำต้นหลัก ซึ่งแผ่ขยายเต็มที่ ด้วยเครื่อง SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) รุ่น 502Plus ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น ในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. และความสูงต้น โดยวัดจากโคนต้นจนถึงฐานใบจริง ที่อายุ 15, 30 และ 45 วันหลังจากย้ายปลูก ส่วนผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต เก็บข้อมูลที่อายุเก็บเกี่ยว ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละลักษณะ ตามแผนการทดลอง RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คุณสมบัติของดินปลูกและมูลไส้เดือน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินปลูกที่ใช้ในการทดลอง พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 7.3 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 5.05% และมีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียม อยู่ที่ 0.13%, 0.30% และ 0.39% ตามลำดับ ส่วนในปุ๋ยมูลไส้เดือน พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 7.1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 38.50% และมีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม อยู่ที่ 1.94, 2.49% และ 0.66% ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

จากการผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินปลูก ชี้ให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาดินเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกข้าวโพด และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง แต่มีปริมาณธาตุ

อาหารในดินค่อนข้างต่ำ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีอินทรีย์วัตถุสูง และปริมาณธาตุไนโตรเจนและโปแตสเซียม ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส มีปริมาณสูง เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการคือ ไนโตรเจน 0.995% ฟอสฟอรัส 0.669% และโปแตสเซียม 1.487% (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, 2560)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและปุ๋ยมูลไส้เดือน

คุณสมบัติดิน	ดินก่อนปลูก (%)	มูลไส้เดือน (%)
pH	7.3	7.1
อินทรีย์วัตถุ	5.05	38.50
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.13	1.94
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.30	2.49
โปแตสเซียมทั้งหมด (%)	0.39	0.66

2. ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต

จากการศึกษาการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวานในลักษณะของความสูง ค่าความเขียวของใบ ความกว้างฝัก และความยาวฝัก ที่อายุ 15, 30 และ 45 วันหลังย้ายปลูก ดังนี้

2.1 ลักษณะความสูงและค่าความเขียวของใบ

จากผลการทดลอง พบว่าผลของการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะความสูงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 15 วันหลังย้ายปลูก โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) มีความสูงมากที่สุด 39.1 เซนติเมตร รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ (T2) มีความสูง 36.5 เซนติเมตร ในขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T4) มีความสูงต่ำที่สุด 32.5 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าความสูงที่อายุ 30 และ 45 (ตารางที่ 2)

ในส่วนของลักษณะค่าความเขียวของใบ พบว่าผลของการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ การใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะค่าความเขียวใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 30 และ 45 วันหลังย้ายปลูก โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความเขียวของใบสูงกว่าทรีตเมนต์ที่มีการปุ๋ยมูลมูลไส้เดือนอย่างเดียว (T2) ส่วนที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูก พบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และการ ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความเขียวของใบสูงกว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ย มูลไส้เดือนอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าทรีตเมนต์ที่ T5 และ T4 มีค่าความเขียวใบสูงที่สุด (68.7 และ 65.7 ตามลำดับ) แต่มีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อลักษณะความสูงและค่าความ เขียวของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน ที่อายุ 15, 30 และ 45 วันหลังย้ายปลูก (days after transplanting; DAT)

ทรีตเมนต์	ความสูง (เซนติเมตร)			ค่าความเขียวใบ		
	15 DAT	30 DAT	45 DAT	15 DAT	30 DAT	45 DAT
Fertilizer (T1)	36.2 ab	120.8	182.0	51.9	49.3 a	61.2 ab
VM 3 t (T2)	36.5 ab	122.5	185.3	50.1	42.8 b	54.6 b
VM 1 t + F (T3)	36.7 ab	119.7	175.3	51.2	49.9 a	62.0 ab
VM 2 t + F (T4)	32.5 c	119.1	183.5	49.5	48.7 a	65.8 a
VM 3 t + F (T5)	39.1 a	125.2	185.6	49.5	49.1 a	68.7 a
VM 4 t + F (T6)	35.2 bc	124.6	180.0	52.1	49.2 a	61.0 ab
F-test	*	ns	ns	ns	*	*
C.V. (%)	6.80	6.11	5.16	7.28	6.28	11.32

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P = 0.05$

ns และ * = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติและแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามลำดับ

T1 = ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 25 กิโลกรัมต่อไร่

T2 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่

T3 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T4 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T5 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T6 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยไล่เดือนในอัตราที่ต่ำ (1 ตันต่อไร่) ร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี หรือการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนเพียงอย่างเดียว มีผลทำให้การเจริญเติบโตลักษณะความสูงของต้นข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการใส่ปุ๋ยไล่เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความสูงของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (Canatoy, 2018; Villaver, 2020) แต่อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนในอัตราที่สูงร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ส่งผลทำให้ข้าวโพดมีความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลส่งเสริมทำให้พืชมีค่าความเขียวใบเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Emamu & Wakgari (2021) พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้ข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงดีขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Sigaye et al. (2021) ที่ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้พืชมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

2.2 ลักษณะความกว้างฝักและความยาวฝัก

จากผลการทดลอง พบว่าของการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะความกว้างฝักก่อนปอกเปลือกมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อลักษณะความกว้างฝักหลังปอกเปลือก (ตารางที่ 3) โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) มีความกว้างฝักก่อนปอกเปลือกไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี โดยมีความกว้างฝัก 31.5 และ 33.0 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือน 3 ตันต่อไร่ มีความกว้างฝักน้อยที่สุด 26.5 เซนติเมตร

ส่วนลักษณะความยาวฝัก พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีความยาวฝักก่อนปอกเปลือกไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ในทุกอัตรา ยกเว้นทรีตเมนต์ที่ T4 และ T6 ในขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือน 3 ตันต่อไร่ มีความยาวฝักก่อนปอกเปลือกน้อยที่สุด 54.4 เซนติเมตร เช่นเดียวกับลักษณะความยาวฝักหลังปอกเปลือก พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีความยาวฝักหลังปอกเปลือกไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี และทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไล่เดือน มีความยาวฝักน้อยที่สุด

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดใส่ปุ๋ยเคมีมีผลทำให้ความกว้างฝักและความยาวฝักไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความกว้างฝักและความยาวฝักข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (Lazcano et al., 2010; Canatoy, 2018; Villaver, 2020)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อลักษณะความกว้างฝักและความยาวฝักของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน

ทรีตเมนต์	ความกว้างฝัก (เซนติเมตร)		ความยาวฝัก (เซนติเมตร)	
	ก่อนปลูกเปลือก	หลังปลูกเปลือก	ก่อนปลูกเปลือก	หลังปลูกเปลือก
Fertilizer (T1)	33.0 a	17.8	56.6 ab	44.6 ab
VM 3 t (T2)	26.5 c	16.0	50.3 d	42.3 b
VM 1 t + F (T3)	29.0 bc	17.8	56.5 ab	46. 6 a
VM 2 t + F (T4)	30.6 ab	17.5	54.4 c	42.8 b
VM 3 t + F (T5)	31.5 ab	18.0	57.6 a	44.9 ab
VM 4 t + F (T6)	28.7 bc	18.5	54.7 c	46.1 a
F-test	*	ns	**	*
C.V. (%)	7.46	6.60	2.63	4.41

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ P = 0.05

ns, * และ ** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติและแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับ

T1 = ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 25 กิโลกรัมต่อไร่

T2 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่

T3 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T4 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T5 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T6 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

2.3 ผลของการใส่ปุ๋ยไล่เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อลักษณะผลผลิตและค่าความหวาน

2.3.1 น้ำหนักฝักสดและค่าความหวาน

จากผลการทดลอง พบว่าผลของการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไส้เดือน และการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะน้ำหนักฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือกมีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) มีน้ำหนักฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือกสูงที่สุด (345.6 และ 207.0 กรัมต่อฝัก ตามลำดับ) และมีน้ำหนักฝักสดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ในขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน 3 ตันต่อไร่ มีขนาดฝักก่อนและหลังปอกเปลือกเล็กที่สุด (224.8 และ 140.9 กรัมต่อฝัก ตามลำดับ) ส่วนค่าความหวานพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไส้เดือน และการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยใส่มูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) และการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) มีแนวโน้มของค่าความหวานสูง (13.1 และ 12.3 brix°) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลของการใส่ปุ๋ยไล่เดือนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อลักษณะน้ำหนักฝักสดและค่าความหวาน

ทรีตเมนต์	น้ำหนักฝักสด (กรัมต่อฝัก)		ค่าความหวาน (brix°)
	ก่อนปอกเปลือก	หลังปอกเปลือก	
Fertilizer (T1)	329.7 a	182.9 ab	11.8
VM 3 t (T2)	224.8 c	140.9 c	11.1
VM 1 t + F (T3)	318.2 a	202.5 a	13.1
VM 2 t + F (T4)	278.5 b	161.6 bc	10.7
VM 3 t + F (T5)	345.6 a	207.0 a	12.3
VM 4 t + F (T6)	316.6 a	203.5 a	11.8
F-test	**	**	ns
C.V. (%)	7.11	9.93	10.76

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P = 0.05$

ns และ ** = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติและแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามลำดับ

T1 = ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 25 กิโลกรัมต่อไร่

T2 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่

T3 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T4 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T5 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T6 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ขนาดฝักสดเพิ่มขึ้น และขนาดฝักจะเพิ่มตามปริมาณปุ๋ยมูลไส้เดือนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่ชี้ชัดว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนในอัตราสูงร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้มีขนาดฝักสดของข้าวโพดใหญ่กว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวหรือการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอย่างเดียวมีขนาดฝักสดเล็กกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี (Canatoy, 2018; Villaver, 2020; Öktem & Öktem, 2020)

นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน ทำให้มีค่าความหวานของข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี เช่นเดียวกับศึกษาของ Lazcano et al. (2010) ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนมีคุณสมบัติช่วยทำให้ข้าวโพดมีคุณภาพฝักที่ดีเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี

2.3.2 ลักษณะผลผลิตฝักสด

จากผลการทดลอง พบว่าผลของการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะผลผลิตก่อนและหลังปอกเปลือก มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยพบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) มีผลผลิตฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือกสูงที่สุด (4,007 และ 2,004 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) ในขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ (T2) มีผลผลิตฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือกน้อยที่สุด (2,607 และ 1,634 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ)

ตารางที่ 5 ผลของการใช้มูลไส้เดือนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตผักสดก่อนปอกเปลือก และผลผลิตผักสดหลังปอกเปลือกของข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน

ทรีตเมนต์	ผลผลิตก่อนปอกเปลือก (กิโลกรัม/ไร่)	ผลผลิตหลังปอกเปลือก (กิโลกรัม/ไร่)
Fertilizer(T1)	3,822 a	2,120 ab
VM 3 t (T2)	2,607 c	1,634 c
VM 1 t + F (T3)	3,689 a	2,348 a
VM 2 t + F (T4)	3,229 b	1,873 bc
VM 3 t + F (T5)	4,007 a	2,400 a
VM 4 t + F (T6)	3,671 a	2,360 a
F-test	**	**
C.V. (%)	7.1	9.9

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P = 0.05$

** = มีแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

T1 = ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 25 กิโลกรัมต่อไร่

T2 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่

T3 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T4 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 2 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T5 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 3 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

T6 = ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 4 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ลักษณะผลผลิตผักสดไม่แตกต่างการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะในทรีตเมนต์ T3 (ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตรา 1 ตันต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่) เป็นทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนอัตราต่ำสุด แต่ยังคงให้ผลผลิตเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ เนื่องจากในปุ๋ยมูลไส้เดือน มีปริมาณอินทรีวตสูง (38.50%) และปริมาณไนโตรเจน (1.94%) ที่เหมาะสม ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุที่เป็นประโยชน์ได้ดีและเหมาะสมกับความต้องการของพืช ซึ่งเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของพืช ประกอบกับการได้รับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่เพียงพอจากการใส่ปุ๋ยเคมี ส่งผลทำให้ข้าวโพดมีผลผลิตผักสดที่สูงเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Villaver (2020) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไส้เดือนมีผลทำให้ผลผลิต

และคุณภาพของข้าวโพดสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sharma & Banik (2014) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนทำให้พืชได้รับปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนช่วยในเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ส่งผลทำให้สร้างอาหารได้มากขึ้น ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดี (Vos et al., 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าในปุ๋ยมูลไส้เดือน มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสสูง ซึ่งช่วยให้ข้าวโพดมีการติดเมล็ดที่ดีและมีเมล็ดเต็มฝัก ทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น (Singh et al., 2003) แต่อย่างไรการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียว ทำให้มีผลผลิตต่ำสุดเนื่องจากในมูลไส้เดือนมีปริมาณธาตุโปแตสเซียมที่ต่ำซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชที่จะนำไปใช้ในการสร้างผลผลิต ทำให้ข้าวโพดมีขนาดฝักที่เล็ก ส่งผลทำให้มีผลผลิตฝักสดต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียวในการปลูกข้าวโพด มีปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการสร้างผลผลิต (Chimdessa & Sori, 2020)

สรุปผลการวิจัย

การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับการลดการใส่ปุ๋ยเคมี ส่งผลทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวหวานขอนแก่น มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และมีค่าความเขียวของใบสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนเพียงอย่างเดียว ซึ่งส่งผลทำให้มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 1 ตันต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) อาจจะใช้เป็นอัตราแนะนำให้เกษตรกร เนื่องจากทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวหวานดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราแนะนำ ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุนสาขาวិชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2559). *การพัฒนาระบบเติมอากาศในการผลิตปุ๋ยหมักเพื่อการผลิตพืชระบบเกษตรอินทรีย์*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. (2560). *การจัดการดิน ปุ๋ยและเศษซากพืชในการผลิตข้าวโพด*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2560, จาก <http://tet2school.blogspot.com>.
- สตางค์ หัสนันท์. (2556). *การตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์จำนวน 4 รอบของปริมาณสารแอนโทไซยานินในเมล็ดของประชากรข้าวโพดข้าวเหนียว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2565, จาก <https://www.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH>.
- Canatoy, R. (2018). Effects of vermicompost on the growth and yield of sweet corn in Bukidnon, Philippines. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 3(2), 1-8.
- Chimdessa, D., & Sori, G. (2020). Integrated effects of vermi-compost and NPS fertilizer rates on soil chemical properties and maize production in Bedele district, Western Oromia. *Plant*, 8(4), 115-121.
- Emamu, T., & Wakgari, T. (2021). The effect of integrated application of vermicompost and NPS fertilizer on soil physicochemical properties and yield of maize (*Zea May L.*) crop at Toke Kutaye district, Western Ethiopia. *Stechnolock Journal of Plant Biology and Research*, 6, 2-15.
- Guo, L., Wu, G., Li, C., Liu, W., Yu, X., Cheng, D & Jiang, D. (2015). Vermicomposting with maize increases agricultural benefits by 304%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1149-1155.
- Lazcano, C., Sampedro, L., Zas, R., & Dominguez, J. (2010). Vermicompost enhances germination of the maritime pine (*Pinus pinaster ait.*). *New Forests*, 39, 387-400.

- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang B., & Li, H. (2009). Effects of long-term organic amendments on soil organic carbon in a paddy field: a case study on red soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 1-5.
- Öktem. A. G., & Öktem, A. (2020). Impact of vermicompost to dent corn (*Zea mays* L. indentata). *International Journal of Innovations in Agricultural Sciences*, 4(1), 48-55.
- Sharma, R. C., & Banik, P. (2014). Effect of integrated nutrient management on baby corn-rice cropping system: economic yield, system productivity, nutrient-use efficiency and soil nutrient balance. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 82(3), 220–224.
- Sigaye, M.H., Mekuria, R., Kebeden, K., Nigyssei, A., & Lulie B. (2021). Integrated use of organic and inorganic fertilizers on maize (*Zea mays* L.) yield and soil fertility in andisols soil of sidama, , Ethiopia. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 11(1), 10-18.
- Singh, R.N., Sutaliya, R., Ghatak, R., & Sarangi, S.K. (2003). Effect of higher application of nitrogen and potassium over recommended level on growth, yield and yield attributes of late sown winter maize (*Zea mays* L.). *Crop Research*, 26(1), 71-74.
- Villaver, P. (2020). Response of sweet corn (*Zea mays* L. var. saccharata) to vermicompost and inorganic fertilizer application. *International Journal of Humanities and Social Science*, 12(6), 17-27.
- Vos, J., Van der Putten, P.E.L., & Birch, C.J. (2005). Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*, 93, 64-73.
- Zaman. M. M., Rahman, M. A., Chowdhury, T., & Chowdhury, A. H. (2018). Effects of combined application of chemical fertilizer and vermicompost on soil fertility, leaf yield and stevioside content of stevia. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 16(1), 71-81.

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.10 Issue.3 (2022)

ISSN 2287-0083

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>
เว็บไซต์: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>
อีเมล: scjournal@udru.ac.th

