



Vocational Education Innovation and Research Journal

VE-irj

วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา



TCI Tier 2

ปีที่ 7 เล่มที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2566
VOL.7 NO.2 JULY-DECEMBER 2023

วารสารวิจัยและนวัตกรรม การอาชีวศึกษา

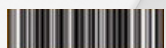
บทความวิจัย/วิชาการ

บทความพิเศษ

การเดินทางสู่ความเป็นเลิศของอาชีวศึกษา :

การสร้างนโยบายที่ยั่งยืนที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศ

- การออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและกัชสกรีน
- การพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi
- การสร้างและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์
- การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษาบริษัทผลิตกล่องกระดาษ
- การศึกษาขนาดและอัตราส่วนผสมเกลือกับไม้มะม่วงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน
- การพัฒนาชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 โดยใช้เทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน
- การพัฒนาสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล่องวงจรปิดตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน
- การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู
- การพัฒนาคุกกี้เคลือบสูงด้วยการเสริมผงกระดูกปลา
- แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย
- การสกัดปริมาณน้อยด้วยการประยุกต์วิธีแคชเชอร์สำหรับวิเคราะห์อะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
- พฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างอสัณฐาน



ISSN : xxxx-xxxx (Online)



ISSN : xxxx-xxxx (Print)



<https://www.tci-thaijo.org/index.php/ve-irj>

เจ้าของที่ปรึกษา		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา	
	นายยศพล เวนโกเศศ		เลขาธิการคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
	เรืออากาศโท สมพร ปานดำ		รองเลขาธิการคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
	ดร.นิรุจน์ บุตรแสนลี		ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา
	ดร.พีระพล พูลทวี		นายกสภาสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
	ดร.เฉลิมศักดิ์ นามเชียงใต้		นายกสภาสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3
	นายสถิตย์ สาราณสุข		ผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2
	นายสมใจ เขาวพานิช		ผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3
	นายลิขิต พลเหลา		ผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4
	ดร.สำเริง วงศ์ศักดิ์		ผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
บรรณาธิการอาวุโส		ศ.ดร.อลงกลด แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองบรรณาธิการอาวุโส		ศ.ดร.มนต์ชัย เทียนทอง	คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ศ.พล.ต.ดร.เกียรติพงษ์ มีเพียร		มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
	รศ.ดร.ไพโรจน์ สติธการ		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	รศ.ดร.ธเนศ ธนียธีรพันธ์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
บรรณาธิการ		ดร.รววิทย์ ศรีตระกูล	ผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
รองบรรณาธิการ		รศ.ดร.บัณฑิต สุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	นายอุดมภูเบศวร์ สมบูรณ์เรศ		รองผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
	นายพงษ์วิวัฒน์ ฮงทอง		รองผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
	ดร.สุนทรพไท จันทระ		ทำหน้าที่ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
ผู้ช่วยบรรณาธิการ		ดร.อนิรุทธิ์ จันทมูล	ผู้อำนวยการอาชีวศึกษามณฑล สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3
	นายถาวร ราชธรมเมือง		ผู้อำนวยการอาชีวศึกษามณฑล สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
	นายชัชวาล ปูนจันทร์		ผู้อำนวยการสำนักพัฒนายุทธศาสตร์และความร่วมมืออาชีวศึกษา สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
กองบรรณาธิการ		รศ.ดร.กฤตติกา แสนโกชน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
	รศ.ดร.ศิริ ถิอาสนา		มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
	รศ.ดร.บงอร เหม้ง		มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
	รศ.ดร.ชญาดา สุระวนิชกุล		มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
	ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวกุล		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	ผศ.ดร.กนกอร บุญมี		มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
	ผศ.ดร.สมชาย อินทะตา		มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
	ผศ.ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์		มหาวิทยาลัยบูรพา
	ผศ.ลือพงษ์ ลือนาม		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	ดร.เดชาวิชัย พิมพ์โคตร		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1
	ดร.จักรี ต้นเชื้อ		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2
	ดร.ถาวร อู่ทรัพย์		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3
	ดร.รุ่งสว่าง บุญหนา		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4
	ดร.กาญจนา เจื่อนกลาง		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5
	ดร.สนิท หลุทธรรวสิน		สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
	ดร.อาทิตย์ จิรวินผล		วิทยาลัยการอาชีพหนองคาย
เลขานุการกองบรรณาธิการ		นางกรรณิกา สายสิญจน์	ทำหน้าที่ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา
ผู้ช่วยเลขานุการกองบรรณาธิการ		นางปวีณา สมบูรณ์เรศ	ทำหน้าที่ ผู้อำนวยการศูนย์ยกระดับความสามารถด้านภาษา
	นางปภาภัทร แสงแก้ว		ทำหน้าที่ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนานักศึกษานักศึกษาและกิจการพิเศษ
ที่อยู่กองบรรณาธิการ 306 หมู่ 5 ต.โพธิ์ชัย อ.เมืองหนองคาย จ.หนองคาย 43000			
ผู้ประสานงาน		นางอนุสรณ์ พฤกษ์ศรี	สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 โทร. 042-411447 มือถือ 084-6029320
	นายขจรศักดิ์ วิเศษสุนทร		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 โทร. 042-411445 มือถือ 098-2629714
	นางสาวชไมพร ไมรา		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 โทร. 042-411445 มือถือ 094-5058558
	นางสาวมนทกานต์ ศรีตระกูล		สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 โทร. 042-411445 มือถือ 080-7584343

Website : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/ve-irj/index>

E-mail : ivene1journal@gmail.com

กำหนดออก ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)

เริ่มตีพิมพ์ มกราคม - มิถุนายน 2560



	หน้า
➤ การเดินทางสู่ความเป็นเลิศของอาชีวศึกษา : การสร้างนโยบายที่ยั่งยืนที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศ ยศพล เวณโกเศศ	1-11
➤ การออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิก คอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน คมกริช แสงสุรินทร์	12-22
➤ การพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi อารียา จิตกระเสริม, ชีรฉวัลย์ ปานกลาง, รัตนสุตา สุกตัญญู และ อมรรัตน์ คำบุญ	23-30
➤ การสร้างและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ชญญพัฒน์ กิตติโพธิกลาง	31-40
➤ การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษาบริษัทผลิตกล่องกระดาษ มนินทรา ใจคำปัน, ปรีชา ขานใหญ่, สุทธิพงษ์ ต๊ะพันธ์, สุเมธ ปะละใจ และ พงศกร สุรินทร์	41-48
➤ การศึกษาขนาดและอัตราส่วนผสมเกลกับไม้มะม่วงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน ลือพงษ์ ลือนาม และ ถาวร ราชรองเมือง	49-54
➤ การพัฒนาชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 โดยใช้เทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ธีระพล บุญธรรม	55-65
➤ การพัฒนาสื่อบทเรียนออนไลน์มัลติมีเดียคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล่องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน ชลดา ปานสง, เกียรติศักดิ์ สมฤทธิ์, จิรพงษ์ จิตตะโคตร, พัชรารรณ พูลใจ, ศิวกร รัตนวราหะ และ ธนพล แก้วคำแจ้ง	66-75
➤ การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู จิรัชญา ทศศรี, ทองใหม่ สุธรรม, พุทธิรัตน์ ถาบุญเรือง, เนตรนภา เขตใจ และ กฤติญา ศักดิ์สุริยมงคล	76-83
➤ การพัฒนาคุกกี้แคลเซียมสูงด้วยการเสริมผงกระดูกปลา นันทิยา นวลงาม, บังอร เหม้ง และ ณชยุต จันทิชาติกุล	84-89
➤ แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทาน สำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย อรรถพล จันทรสมุทร และ ทศนีย์ ลักษณะณิกชนชัย	90-97
➤ การสกัดปริมาณน้อยด้วยการประยุกต์วิธีเคสเซอร์สำหรับวิเคราะห์ครีลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร พิรยา กันตา, วรรัตน์ บุญตา และ วรพรรณ พรหมศิลา	98-105
➤ พฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างอสัณฐาน อดิศร บุณวงค์ และ นิรันดร์ วิทอนันต์	106-115

การเดินทางสู่ความเป็นเลิศของอาชีวศึกษา : การสร้างนโยบายที่ยั่งยืน ที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศ
A Study on the Vocational Education Commission: Enhancing Professional Excellence
through Sustainable Policies for National Development.



นายศพล เวณโกเศศ
เลขาธิการคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

บทคัดย่อ

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มีนโยบายในการขับเคลื่อนการผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษา สมรรถนะสูง เพื่อการพัฒนาประเทศ โดยยึดหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง มีแนวคิดในการจัดการอาชีวศึกษา โดยการส่งเสริมศักยภาพครูและบุคลากรอาชีวศึกษา มุ่งพัฒนาคุณภาพผู้เรียน และสร้างความเข้มแข็งให้กับประชาชน มีแนวทางการทำงานแบบ “OVEC ONE Team” คือ สานงานต่อ ก่อเริ่มงานใหม่ ด้วยหัวใจเดียวกัน ภายใต้นโยบาย “เรียนดี มีความสุข” ของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ พลตำรวจเอกเพิ่มพูน ชิดชอบ ได้กำหนดนโยบาย การพัฒนาอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 โดยได้มาจากการวิเคราะห์นโยบาย การศึกษางานวิจัย ที่เกี่ยวข้องนำมาสู่ นโยบายที่ยั่งยืน ที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศ “8 วาระงานพัฒนาอาชีว (8 Agenda)” ได้แก่ ส่งเสริมการเรียนรู้อาชีวศึกษาทุกที่ทุกเวลา (Anywhere Anytime) พัฒนาทักษะวิชาชีพเพื่อลดภาระ ของผู้เรียนและผู้ปกครอง (Skill Certificate) ยกระดับคุณภาพการจัดการอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง พัฒนาระบบ การเทียบระดับการศึกษาและคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา (Credit Bank) พัฒนาทักษะทางภาษาเพื่อการศึกษา และทำงาน (Language Skills) สร้างช่างชุมชน เพื่อให้ประชาชนมีอาชีพเสริม (1 วิทยาลัย 1 ศูนย์ช่างชุมชน) เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารงานบุคคลและการบริหารจัดการ และเสริมสร้างภาพลักษณ์อาชีวศึกษายุคใหม่ สามารถนำมาบริหารจัดการ เพื่อพัฒนาสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา รวมทั้งหน่วยงานในสังกัด

และภาคีเครือข่ายให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผล และเพิ่มศักยภาพของกำลังคนอาชีวศึกษา เพื่อการแข่งขันของตลาดโลก เป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อน และพัฒนาประเทศต่อไป

คำสำคัญ อาชีวศึกษา นโยบายการผลิตและพัฒนากำลังคน

Abstract

Based on economic theory, the Office Vocational Education commission develops, nurtures, and advances highly skilled persons to advance the nation. The goal of improving teacher and staff capacities in educational administration is to improve student outcomes and social well-being. The "OVEC ONE Team" follows the Ministry of Education's "Good Study, Be Happy" guideline and maintains a continual dedication to their job. A thorough policy was created in 2024 using policy analysis, pertinent research, and research findings. This policy promotes sustainable development in line with national development goals. This includes promoting ubiquitous learning and professional competencies to reduce burdens. He has a Skill Certificate in high-performance professional management and system development. Credit banks promote language learning in education. The goal of this effort is to improve language skills among community professionals, preparing them for career advancement. Individuals will have many personal and professional growth opportunities in this college and community center program. Improve individual and organizational performance and modern professional reputes. This measure can help the office, professional committee, and agency grow. Collaboration with networking partners to boost efficiency, productivity, and professional progress is essential for the country's success in the competitive worldwide market.

Keyword : Vocational Education, Human Power Development Policy

เรียนดี มีความสุข

กระทรวงศึกษาธิการ
Ministry of Education

ลดภาระครู และบุคลากรทางการศึกษา

- ▶ ปรับวิธีการประเมินวิทยฐานะครู และบุคลากรทางการศึกษา ลดขั้นตอนมุ่งผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน
- ▶ ครูและบุคลากรทางการศึกษาค้นค้น (โยกย้ายกลับภูมิลำเนา ด้วยความโปร่งใส ไม่มีการซื้อขายตำแหน่ง)
- ▶ แก้ไขปัญหานิสินครูและบุคลากรทางการศึกษา
- ▶ จัดหาอุปกรณ์การสอนและสวัสดิการ (1 ครู 1 Tablet)

ลดภาระนักเรียน และผู้ปกครอง

- ▶ เรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (Anywhere Anytime) เรียนฟรี มีงานทำ **"ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง"** มีระบบหรือแพลตฟอร์มการเรียนรู้ โดยผู้เรียนไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย เพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา (1 นักเรียน 1 Tablet)
- ▶ 1 อำเภอ 1 โรงเรียนคุณภาพ
- ▶ ระบบแนะแนวการเรียน (Coaching) และเป้าหมายชีวิต
- ▶ การจัดทำระบบวัดผลรับรองมาตรฐานวิชาชีพ (Skill Certificate) ผู้เรียนสามารถเรียนเพิ่มเพื่อรับประกาศนียบัตรในการประกอบอาชีพ
- ▶ การจัดทำระบบวัดผลเทียบระดับการศึกษา และประเมินผลการศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนที่มีความสามารถเป็นเลิศไม่ต้องเสียเวลาในระบบประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย
- ▶ มีรายได้ระหว่างเรียน จบแล้วมีงานทำ (Learn to Earn)

“จับมือไว้ แล้วไปด้วยกัน”

พลตำรวจเอก เพิ่มพูน ชิดชอบ
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ

ภาพที่ 1 นโยบายการศึกษา “เรียนดี มีความสุข”

ที่มาและความสำคัญ

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นหนึ่งในหน่วยงานหลักที่ขึ้นตรงต่อกระทรวงศึกษาธิการ ตามระเบียบบริหารราชการกระทรวงศึกษาธิการ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2562 มาตรา 10 เรื่อง การแบ่งส่วนราชการ ในส่วนกลางของกระทรวงศึกษาธิการ [1] มีหน้าที่รับผิดชอบกำกับดูแลงานการศึกษาในด้านการอาชีวศึกษาทั้งภาครัฐ และเอกชนทั่วประเทศ [2] มีการขับเคลื่อนหน่วยงานตามนโยบายของกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 กระทรวงศึกษาธิการได้กำหนดนโยบายการศึกษา “เรียนดี มีความสุข” โดยมีแนวทางการทำงาน “จับมือไว้ แล้วไปด้วยกัน” มีจุดเน้นหลักในการทำงาน คือ ลดภาระครูและบุคลากรทางการศึกษา 4 ด้าน ได้แก่ (1) ปรับวิธีการประเมินวิทยฐานะครูและบุคลากรทางการศึกษา ลดขั้นตอน มุ่งผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน (2) ครูและบุคลากรทางการศึกษาค้นถิ่น (โยกย้ายกลับภูมิลำเนาด้วยความโปร่งใส ไม่มีการซื้อขายตำแหน่ง) (3) แก้ไขปัญหาหนี้สินครูและบุคลากรทางการศึกษา และ (4) จัดหาอุปกรณ์การสอนและสวัสดิการ นอกจากนี้ ยังมีนโยบายที่ต้องเร่งดำเนินการ ลดภาระนักเรียนและผู้ปกครอง 6 ด้าน ได้แก่ (1) เรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (Anywhere Anytime) เรียนฟรี มีงานทำ “ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง” มีระบบหรือแพลตฟอร์มการเรียนรู้ โดยผู้เรียนไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย เพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา (2) 1 อำเภอ 1 โรงเรียนคุณภาพ (3) ระบบแนะแนวการเรียน (Coaching) และ เป้าหมายชีวิต (4) การจัดทำระบบวัดผลรับรองมาตรฐานวิชาชีพ (Skill Certificate) ผู้เรียนสามารถเรียนเพิ่มเพื่อรับ ประกาศนียบัตรในการประกอบอาชีพ (5) การจัดทำระบบวัดผลเทียบระดับการศึกษา และประเมินผลการศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนที่มีความสามารถเป็นเลิศ ไม่ต้องเสียเวลาเรียนในระบบ ประหยัดเวลาประหยัดค่าใช้จ่าย (6) มีรายได้ ระหว่างเรียนจบแล้วมีงานทำ (Learn to Earn) [3]

ในส่วนของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยสำนักนโยบายและแผนการอาชีวศึกษา ได้วิเคราะห์ นโยบายกระทรวงศึกษาธิการ จำแนกและประเมินทางเลือกของนโยบายหรือแผนงานที่ต้องการ ใช้บรรเทาหรือแก้ไขปัญหา สอดคล้องกับที่ Carl V. Patton ชาวอเมริกัน ซึ่งเป็นนักวิเคราะห์นโยบายชั้นนำกล่าวในหนังสือ “วิธีการ พื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์นโยบายและการวางแผน (Basic Methods of Policy Analysis and Planning)” 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ยืนยันและกำหนดรายละเอียดของปัญหา (2) กำหนดหลักเกณฑ์การประเมินผล (3) กำหนด ทางเลือกของนโยบาย (4) ประเมินทางเลือกของนโยบาย (5) แสดงและสร้างความแตกต่างระหว่างทางเลือก ของนโยบาย และ (6) ติดตามนโยบายที่นำไปปฏิบัติ (เชิญ ไกรนรา: สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคกลาง สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สืบค้นจาก <https://www.researchgate.net> เมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2566)

วิสัยทัศน์ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

“ผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง เพื่อการพัฒนาประเทศ โดยยึดหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง”

พันธกิจ ที่มุ่งเป้าหมายการพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษา เพื่อพัฒนาประเทศ

1. ผลิตและพัฒนากำลังคนสายอาชีพ ให้เป็นกำลังคนที่มีคุณภาพและสมรรถนะสูง ตอบโจทย์การพัฒนาประเทศ
2. เพิ่มโอกาสและลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงระบบการเรียนรู้วิชาชีพ ด้วยรูปแบบวิธีการที่ยืดหยุ่นหลากหลาย ตอบสนองต่อความต้องการในการเรียนรู้และพัฒนาอาชีพของคนทุกช่วงวัย
3. เสริมสร้างและขยายภาคีเครือข่ายความร่วมมือเพื่อการระดมทรัพยากร และยกระดับคุณภาพการอาชีวศึกษาและการฝึกอบรมวิชาชีพ
4. ยกระดับคุณภาพหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ ให้มีความทันสมัย ตอบโจทย์การศึกษาแห่งอนาคต และเชื่อมโยงกับมาตรฐานอาชีพหรือมาตรฐานการปฏิบัติงานทั้งในระดับชาติและระดับสากล
5. ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพครูและบุคลากรอาชีวศึกษาให้มีสมรรถนะสูงขึ้น
6. พัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้และการบริหารจัดการด้วยระบบเทคโนโลยีดิจิทัล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนโยบาย “8 วาระงานพัฒนาอาชีวะ (8 Agenda)”

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา วิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหา นำไปสู่การกำหนดนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา เป็นการเดินทางสู่ความเป็นเลิศของอาชีวศึกษา การสร้างนโยบายที่ยั่งยืน ที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องผ่านกระบวนการคิดวิเคราะห์อย่างมีระบบ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาได้กำหนดนโยบายในการขับเคลื่อน ประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2567 ภายใต้ นโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ (พลตำรวจเอก เพิ่มพูน ชิดชอบ) ให้สอดคล้องและสนับสนุนต่อนโยบายรัฐบาล ยุทธศาสตร์ชาติ แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ แผนปฏิรูปประเทศ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และแผนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีวิสัยทัศน์ “ผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง เพื่อการพัฒนาประเทศ โดยยึดหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง” มุ่งส่งเสริมศักยภาพครูและบุคลากรอาชีวศึกษา มุ่งพัฒนาคุณภาพผู้เรียน และสร้างความเข้มแข็งให้กับประชาชน โดยมีแนวทางการทำงานแบบ “OVEC ONE Team” และมีการขับเคลื่อนการดำเนินงานผ่าน 8 วาระงานพัฒนาอาชีวะ (8 Agenda) [4] ซึ่งเป็นแนวทางในการขับเคลื่อนที่มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาวิจัยแล้วว่าสอดคล้อง และสัมพันธ์กับแนวทางในการขับเคลื่อน เป็นการพัฒนาอาชีวศึกษาให้ก้าวหน้าต่อไปในอนาคต

1. การศึกษาแนวทางการส่งเสริมการเรียนรู้อาชีวศึกษาทุกที่ทุกเวลา (Anywhere Anytime)

โดยการพัฒนาแพลตฟอร์มและสื่อการเรียนรู้อาชีวศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลการพัฒนานวัตกรรมส่งเสริมการเรียนรู้สังคมพหุวัฒนธรรมในวิถีความปกติใหม่ [5] ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สื่อการเรียนรู้อาชีวศึกษามีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเรียนรู้อาชีวศึกษา และมีการขยายโอกาสในการเข้าถึงการศึกษาอาชีวศึกษา (Vocational for All) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกลยุทธ์การบริหารสถานศึกษาด้วยระบบสารสนเทศเพื่อรองรับยุคโลกพลิกผัน (VUCA World) การนำกลยุทธ์การบริหารสถานศึกษาด้วยระบบสารสนเทศเพื่อรองรับยุคโลกพลิกผันเป็นเส้นทางที่จะนำให้การอาชีวศึกษา มุ่งสู่เป้าหมายในการพัฒนากำลังคนในปัจจุบัน ด้วยกระบวนการ

(1) การพัฒนาระบบสารสนเทศ (Information System) เพื่อการบริหารสถานศึกษายุคโลกพลิกผัน (2) ส่งเสริมสนับสนุนการจัดการความรู้แบบ Team Learning สู่การเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ (Learning Organization) (3) ส่งเสริมสนับสนุนให้ครูและบุคลากรมีวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นเลิศ (Best Practice) และ (4) ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานสร้างอาชีพสู่ชุมชน [6]

2. การศึกษาแนวทางการพัฒนาทักษะวิชาชีพเพื่อลดภาระของผู้เรียนและผู้ปกครอง (Skill Certificate) โดยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารวิชาการเพื่อพัฒนาทักษะอาชีพของผู้เรียน [7] พบว่า นอกจากการบริหารจัดการเรียนรู้ทางด้านวิชาการต้องมีการพัฒนาทักษะในด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน โดยเฉพาะทักษะทางด้านอาชีพและการดำรงชีวิต ซึ่งเป็นทักษะสำคัญ โดยอาจมีการจัดทำผ่านการกำหนดคุณลักษณะที่พึงประสงค์ กำหนดนโยบาย ยุทธศาสตร์ และเป้าหมายในการพัฒนา จัดทำแผนพัฒนา สร้างระบบและกลไกในการพัฒนา ฯลฯ เพื่อให้พร้อมรับต่อการเปลี่ยนแปลง และควรที่จะมีการพัฒนาทักษะอาชีพในด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จและบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ พร้อมเสริมสร้างทักษะที่ตอบสนองความต้องการในการประกอบอาชีพ ทั้งทักษะการเข้าสังคม การทำงาน การแก้ปัญหา และทักษะอาชีพ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เสริมสร้างให้บุคคลมีความเข้าใจ ความต้องการในตนเองมากขึ้น มีการวางแผนและจัดการชีวิตของตนเองได้อย่างเหมาะสม พร้อมสำหรับการประกอบอาชีพหรือวางแผนในการศึกษาเพื่อประกอบอาชีพในอนาคต

3. การศึกษาแนวทางการยกระดับคุณภาพการจัดการอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง โดยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปัญหาและความต้องการ ในการบริหารจัดการเพื่อพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูงตามบริบทวิทยาลัยขนาดเล็ก เพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศ กรณีศึกษาวิทยาลัยการอาชีพอุดรธานี [8] ผลการวิจัยพบว่า พบว่า มีปัญหาในการบริหารจัดการเพื่อพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง ตามบริบทวิทยาลัยขนาดเล็ก เพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศ กรณีศึกษา วิทยาลัยการอาชีพอุดรธานี โดยรวมในระดับมากที่สุด และมีความต้องการในการบริหารจัดการเพื่อพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง ตามบริบทวิทยาลัยขนาดเล็ก เพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศ กรณีศึกษา วิทยาลัยการอาชีพอุดรธานี โดยรวมในระดับมากที่สุด ทั้งนี้ เพื่อเป็นการยกระดับคุณภาพการจัดการอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง ควรมีการขยายและยกระดับอาชีวศึกษาระบบทวิภาคียกระดับการขับเคลื่อนความร่วมมือกับภาคเอกชน พัฒนาคุณภาพและทักษะชีวิตผู้เรียนอาชีวศึกษาในทุกมิติ ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning และส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนานวัตกรรม การวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ อีกด้วย

4. การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบการเทียบระดับการศึกษาและคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา (Credit Bank) โดยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบการประเมินคุณภาพระดับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพของสถานศึกษาตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิอาชีวศึกษา [9] ผลการวิจัยพบว่า การดำเนินงานเกี่ยวกับประเมินคุณภาพระดับหลักสูตรฯ มีองค์ประกอบสำคัญที่ต้องพัฒนา คือ การบริหารและการจัดการศึกษา หลักสูตรการเรียนการสอน และการประเมินผู้เรียน ผู้สอน และสิ่งสนับสนุนการเรียนการสอน นอกจากนี้ควรมีการพัฒนาระบบการวัดผล เทียบระดับการศึกษาและประเมินผลการศึกษา พัฒนาระบบคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา ตั้งศูนย์เทียบโอนผลการเรียนในระดับจังหวัด และส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนหลักสูตรทวิศึกษาเพิ่มเติม เพื่อส่งเสริมพัฒนาระบบการเทียบระดับการศึกษาและคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษาอีกทางหนึ่งด้วย

5. การศึกษาแนวทางการพัฒนาทักษะทางภาษาเพื่อการศึกษาและทำงาน (Language Skills)

โดยการพัฒนาทักษะด้านภาษาให้กับผู้เรียน ส่งเสริมทักษะด้านภาษาเพื่อการทำงานให้กับประชาชน พัฒนาหลักสูตรสองภาษา ทั้งภาษาอังกฤษ และภาษาจีน ซึ่งสอดคล้องกับ วลจิลิน จันทรวิโรจน์ พบว่าการพัฒนาทักษะด้านการสื่อสารภาษาอังกฤษ โดยในมุมมองของผู้ประกอบการ มองว่าการมีทักษะการสื่อสารภาษาอังกฤษจะช่วยเปิดโอกาสให้กับธุรกิจของตนเอง ในขณะที่นักศึกษา มองว่าตนเองพอมีทักษะการสื่อสารภาษาอังกฤษ แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ กอปรกับความไม่มั่นใจในความรู้ที่ตนเองมี ทำให้ไม่มีการพัฒนาเท่าที่ควร โดยเฉพาะภาษาจีน ซึ่งเป็นภาษาที่มีความสำคัญในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากการลงทุนจากประเทศจีนสูงขึ้นโดยลำดับ ทำให้ขยายโอกาสการมีงานทำของกำลังพลอาชีวศึกษา เช่นที่ สอศ.ร่วมมือศูนย์อาชีวศึกษา Bishan และ BYD ประเทศจีนผลิตกำลังคนอาชีวศึกษายานยนต์ไฟฟ้าสู่โลกอุตสาหกรรมใหม่ [10] เมื่อเดือนพฤษภาคม 2566 ที่ผ่านมา

6. การศึกษาแนวทางการสร้างช่างชุมชน เพื่อให้ประชาชนมีอาชีพเสริม (1 วิทยาลัย 1 ศูนย์ช่างชุมชน)

พัฒนาทักษะอาชีพช่างและสร้างอาชีพเสริม (หลักสูตรช่างชุมชน) และพัฒนา Application ช่างชุมชน ก่อให้เกิดการสร้างรายได้และอาชีพเสริมแก่คนในชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัยของบุญรุ่ง โนใจ [11] สรุปได้ว่า รูปแบบการส่งเสริมอาชีพช่างฝีมือระดับชุมชน องค์กรปกครองท้องถิ่นควรจะเป็นเจ้าภาพหลักในด้านการสนับสนุนงบประมาณ ดำเนินการ มีการจัดทำโครงการส่งเสริมอาชีพให้กับช่างชุมชนอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ช่างฝีมือระดับชุมชนมีงานอย่างต่อเนื่อง สามารถพึ่งพาตนเองได้ ซึ่งทุกวิทยาลัยในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาควรมุ่งเน้นการส่งเสริมอาชีพให้กับช่างชุมชน สร้างช่างชุมชนตัวอย่าง เสริมศักยภาพพื้นที่ทุนมนุษย์และสร้างโอกาสด้วยการฝึกฝีมือช่างชุมชนและเพิ่มรายได้

7. การศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารงานบุคคลและการบริหารจัดการ โดยได้ศึกษา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการเสริมสร้างองค์กรแห่งความสุขของสถาบันการอาชีวศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทย [12] ผลการวิจัยพบว่า การเป็นองค์กรแห่งความสุขของสถาบันการอาชีวศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทยมี 10 องค์ประกอบ 60 ตัวบ่งชี้ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าตัวบ่งชี้มีความเที่ยงตรงตามสภาพจริง ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเสริมสร้างองค์กรแห่งความสุขของสถาบันการอาชีวศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อให้สามารถบริหารจัดการสถาบันการอาชีวศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพและเป็นองค์กรแห่งความสุข

8. การศึกษาแนวทางการเสริมสร้างภาพลักษณ์อาชีวศึกษายุคใหม่ โดยการเสริมสร้างสถานศึกษา

อาชีวศึกษาแห่งความสุขและปลอดภัย ยกระดับการประชาสัมพันธ์และการสื่อสารองค์กร “ภาพลักษณ์องค์กร” (Corporate Image) มีความสำคัญยิ่ง เพื่อสร้างความโดดเด่น สร้างความมั่นใจ ส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่ผู้เรียนอาชีวศึกษายุคใหม่ โดยแนวคิดของ Gregory และ Wiechmann สถาบันพัฒนาผู้บริหารการศึกษา เน้นให้ได้รับการปรับปรุงแก้ไขที่ดี ให้เกิดขึ้นต่อไป การศึกษาการรับรู้ของกลุ่มเป้าหมายในส่วนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาพลักษณ์ของสถาบัน ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เครื่องมือเพื่อสอบถามเพื่อจะได้ทราบข้อมูล และนำมาพัฒนาหน่วยงานให้มีความเจริญก้าวหน้า (วิทยานิพนธ์เรื่องภาพลักษณ์สถาบันพัฒนาผู้บริหารการศึกษาตามการรับรู้ของผู้บริหารการศึกษาระดับสูง 2536) เชิดชูเกียรติศิษย์เก่าดีเด่น / สร้างต้นแบบรุ่นพี่อาชีวะ (Senior Idol) และส่งเสริม Soft Power อาชีวศึกษา (1 วิทยาลัย 1 Soft Power/อัตลักษณ์) เป็นวิธีการประชาสัมพันธ์องค์กร

จากการศึกษาแนวทาง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างแผนนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงานของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ด้วย 8 วาระงานพัฒนาอาชีววะ (8 Agenda) ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวาระงานทั้ง 8 วาระงานมีความสำคัญ และจำเป็นอย่างมากในการเร่งพัฒนา เพื่อเป็นการส่งเสริม และสนับสนุนการเรียนรู้ให้กับนักเรียนนักศึกษา รวมไปถึงครู บุคลากรทางการศึกษา ชุมชน และสังคม อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาประเทศชาติ ต่อไป



ภาพที่ 2 นโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา

นโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษาที่ยั่งยืน ที่มุ่งเป้าหมายเพื่อการพัฒนาประเทศ

ขับเคลื่อนการดำเนินงานด้วย 8 วาระงานพัฒนาอาชีววะ (8 Agenda) ดังนี้

วาระงานพัฒนาที่ 1 ส่งเสริมการเรียนรู้อาชีวศึกษาทุกที่ทุกเวลา (Anywhere Anytime)

- 1.1 พัฒนาแพลตฟอร์มและสื่อการเรียนรู้อาชีวศึกษา
- 1.2 ขยายโอกาสในการเข้าถึงการศึกษาอาชีวศึกษา (Vocational for All)

วาระงานพัฒนาที่ 2 พัฒนาทักษะวิชาชีพเพื่อลดภาระของผู้เรียนและผู้ปกครอง (Skill Certificate)

- 2.1 พัฒนาทักษะและสมรรถนะวิชาชีพ (Up-Skill, Re-Skill)
- 2.2 พัฒนาระบบวัดผลรับรองมาตรฐานวิชาชีพ
- 2.3 พัฒนาหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพเฉพาะ (ปวพ.)
- 2.4 ส่งเสริมการมีรายได้ระหว่างเรียน จบแล้วมีงานทำ (Learn to Earn)

วาระงานพัฒนาที่ 3 ยกระดับคุณภาพการจัดการอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง

- 3.1 ขยายและยกระดับอาชีวศึกษาระบบทวิภาคี (DVE for All)
- 3.2 ยกระดับการขับเคลื่อนความร่วมมือกับภาคเอกชน (Active MOU/MOA)
- 3.3 พัฒนาคูณภาพและทักษะชีวิตผู้เรียนอาชีวศึกษาในทุกมิติ
- 3.4 ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning
- 3.5 ส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนานวัตกรรม การวิจัย และสิ่งประดิษฐ์

วาระงานพัฒนาที่ 4 พัฒนาระบบการเทียบระดับการศึกษาและคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา (Credit Bank)

- 4.1 พัฒนาและปรับปรุงหลักสูตร ปวช./ปวส./ป.ตรี
- 4.2 พัฒนาระบบการวัดผล เทียบระดับการศึกษาและประเมินผลการศึกษา
- 4.3 พัฒนาระบบคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา
- 4.4 ตั้งศูนย์เทียบโอนผลการเรียนในระดับจังหวัด (77 ศูนย์)
- 4.5 ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนหลักสูตรทวิศึกษา

วาระงานพัฒนาที่ 5 พัฒนาทักษะทางภาษาเพื่อการศึกษาและทำงาน (Language Skills)

- 5.1 พัฒนาทักษะด้านภาษาให้กับผู้เรียน
- 5.2 ส่งเสริมทักษะด้านภาษาเพื่อการทำงานให้กับประชาชน
- 5.3 พัฒนาหลักสูตร 2 ภาษา (อังกฤษ/จีน)

วาระงานพัฒนาที่ 6 สร้างช่างชุมชน เพื่อให้ประชาชนมีอาชีพเสริม (1 วิทยาลัย 1 ศูนย์ช่างชุมชน)

- 6.1 สร้างศูนย์ช่างชุมชน 433 แห่ง
- 6.2 พัฒนาทักษะอาชีพช่างและสร้างอาชีพเสริม (หลักสูตรช่างชุมชน)
- 6.3 พัฒนา Application ช่างชุมชน

วาระงานพัฒนาที่ 7 เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารงานบุคคลและการบริหารจัดการ

- 7.1 แก้ไขปัญหาหนี้สินครูและบุคลากรทางการศึกษา

- 7.2 แก้ไขปัญหาความขาดแคลนครูผู้สอนอาชีวศึกษา (จัดหาครูอัตราจ้าง)
- 7.3 ส่งเสริมให้ครูปฏิบัติงานในภูมิลำเนาของตนเองตามแนวทางของ ก.ค.ศ.
- 7.4 พัฒนาศักยภาพครูและบุคลากรอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง
- 7.5 ส่งเสริมข้าราชการครู คณาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาให้มีวิทยฐานะ และตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้น
- 7.6 ขับเคลื่อนและบริหารงานโดยยึดหลักธรรมาภิบาล (Good Governance)
- 7.7 ป้องกันและปราบปรามการทุจริตคอร์รัปชันอย่างมีประสิทธิภาพ
- 7.8 นำระบบเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้ในการบริหารจัดการ
- 7.9 ปรับปรุงกฎ ประกาศ ระเบียบ ข้อบังคับ คำสั่ง

วาระงานพัฒนาที่ 8 เสริมสร้างภาพลักษณ์อาชีวศึกษายุคใหม่

- 8.1 เสริมสร้างสถานศึกษาอาชีวศึกษาแห่งความสุขและปลอดภัย
- 8.2 ยกกระตือรือร้นการประชาสัมพันธ์และการสื่อสารองค์กร
- 8.3 เชิดชูเกียรติศิษย์เก่าดีเด่น / สร้างต้นแบบรุ่นพี่อาชีววะ (Senior Idol)
- 8.4 ส่งเสริม Soft Power อาชีวศึกษา (1 วิทยาลัย 1 Soft Power/อัตลักษณ์)

แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ

1. ให้ถือว่านโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ฉบับนี้ เป็นนโยบายการปฏิบัติราชการของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ตามความในมาตรา 16 วรรคสอง แห่งพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 และที่แก้ไขเพิ่มเติม
2. ให้หน่วยงานระดับสำนัก/ศูนย์/กลุ่ม/หน่วย ในส่วนกลางของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ขับเคลื่อนบทบาทภารกิจของหน่วยงานให้สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ในทุกประเด็นที่เกี่ยวข้อง ตามที่สำนักนโยบายและแผนการอาชีวศึกษา กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา (Action Plan)
3. ให้สถานศึกษาของรัฐ ทั้งวิทยาลัยและสถาบันการอาชีวศึกษา ในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษานำนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ไปเป็นกรอบแนวทางในการปฏิบัติราชการตามบทบาทภารกิจของสถานศึกษา และดำเนินการตามแนวทางหรือแผนการดำเนินงานที่หน่วยงานส่วนกลางผู้รับผิดชอบการขับเคลื่อนนโยบายกำหนด สำหรับสถานศึกษาของเอกชนพิจารณาร่วมขับเคลื่อนการดำเนินงานตามนโยบายในส่วนที่เกี่ยวข้อง และเป็นประโยชน์ต่อการจัดการศึกษาของสถานศึกษา
4. ให้มีกลไกการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ในรูปแบบคณะกรรมการประกอบด้วย คณะกรรมการกำหนดและกำกับทิศทางการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา คณะกรรมการขับเคลื่อนวาระงานพัฒนาที่ 1 – 8 และคณะกรรมการติดตามและประเมินผลการขับเคลื่อนนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา เพื่อให้การขับเคลื่อนการดำเนินงานตามนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เป็นไปด้วยความเรียบร้อย

มีประสิทธิภาพ มีประสิทธิผล บังเกิดผลสัมฤทธิ์เชิงบทบาทภารกิจที่เป็นรูปธรรม และสอดคล้องกับนโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ รวมถึงสอดคล้องและสนับสนุนต่อนโยบายของรัฐบาล ยุทธศาสตร์ชาติ แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ แผนปฏิรูปประเทศ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และแผนระดับชาติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5. สำหรับภารกิจของหน่วยงานและสถานศึกษาที่ปฏิบัติในลักษณะงานในเชิงหน้าที่ (Function) งานในเชิงยุทธศาสตร์ (Agenda) และงานในเชิงพื้นที่ (Area) ซึ่งได้ดำเนินการอยู่ก่อนแล้ว หากมีความสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ข้างต้น ให้ถือว่าภารกิจนั้นเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายนี้ และเป็นหน้าที่ที่หน่วยงานและสถานศึกษาในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจะต้องขับเคลื่อนดำเนินการให้บังเกิดผลสัมฤทธิ์อย่างเป็นรูปธรรม

สรุป

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นหน่วยงานที่สำคัญในการผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง เพื่อการพัฒนาประเทศ โดยยึดหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ที่กระทรวงศึกษาธิการ และรัฐบาลให้ความสำคัญ และคาดหวังในการผลิตกำลังคนเพื่อพัฒนาประเทศ ดังนั้น นายศพล เวณโกเศศ รองปลัดกระทรวงศึกษาธิการ รักษาการแทน เลขาธิการคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จึงได้กำหนดวิสัยทัศน์ พันธกิจ แนวคิดในการจัดการอาชีวศึกษา แนวทางการทำงาน และนโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ขึ้นตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เรื่อง นโยบายการพัฒนาอาชีวศึกษา ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ลงวันที่ 31 ตุลาคม 2567 โดยยึดแนวนโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ (พลตำรวจเอก เพิ่มพูน ชิดชอบ) “เรียนดี มีความสุข” ออกมาในรูปวาระงานพัฒนาอาชีวฯ 8 วาระ (8 Agenda) ประกอบด้วย

- วาระงานพัฒนาที่ 1 ส่งเสริมการเรียนรู้อาชีวศึกษาทุกที่ทุกเวลา (Anywhere Anytime)
- วาระงานพัฒนาที่ 2 พัฒนาทักษะวิชาชีพเพื่อลดภาระของผู้เรียนและผู้ปกครอง (Skill Certificate)
- วาระงานพัฒนาที่ 3 ยกระดับคุณภาพการจัดการอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง
- วาระงานพัฒนาที่ 4 พัฒนาระบบการเทียบระดับการศึกษาและคลังหน่วยกิตอาชีวศึกษา (Credit Bank)
- วาระงานพัฒนาที่ 5 พัฒนาทักษะทางภาษาเพื่อการศึกษาและทำงาน (Language Skills)
- วาระงานพัฒนาที่ 6 สร้างช่างชุมชน เพื่อให้ประชาชนมีอาชีพเสริม (1 วิทยาลัย 1 ศูนย์ช่างชุมชน)
- วาระงานพัฒนาที่ 7 เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารงานบุคคลและการบริหารจัดการ
- วาระงานพัฒนาที่ 8 เสริมสร้างภาพลักษณ์อาชีวศึกษายุคใหม่

การปฏิบัติงานตามวาระงานพัฒนาอาชีวฯ 8 วาระ (8 Agenda) นั้น จะต้องส่งเสริมศักยภาพครูและบุคลากรอาชีวศึกษา มุ่งพัฒนาคุณภาพผู้เรียน สร้างความเข้มแข็งให้กับประชาชน ภายใต้การสานงานต่อ ก่อเริ่มงานใหม่ด้วยหัวใจเดียวกัน “OVEC ONE Team” เพื่อพัฒนาการอาชีวศึกษา และพัฒนาคนในชาติ สืบไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ, “โครงสร้างกระทรวงศึกษาธิการ”, สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ[ออนไลน์]. เว็บไซต์: www.ops.moe.go.th. (เข้าถึงเมื่อ: 2 พฤศจิกายน 2566).
- [2] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, “รายงานสถานศึกษาจำแนกตามประเภทสถานศึกษา”, สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา[ออนไลน์]. เว็บไซต์: www.vec.go.th. (เข้าถึงเมื่อ: 2 พฤศจิกายน 2566).
- [3] บัลลังก์ โรหิตเสถียร, “รณว.ศธ.แถลงนโยบายการศึกษา “เรียนดี มีความสุข””, ศธ.360องศา[ออนไลน์]. เว็บไซต์: <https://moe360.blog> (เข้าถึงเมื่อ: 2 พฤศจิกายน 2566).
- [4] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, “นโยบายจุดเน้น สอศ. ปีงบประมาณ 2567”, สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา[ออนไลน์]. เว็บไซต์: www.vec.go.th. (เข้าถึงเมื่อ: 2 พฤศจิกายน 2566).
- [5] สาวิตรี มูลเพย, เชษฐภูมิ วรรณไพศาล และนันทน์ภัส แสงฮอง, “การพัฒนานวัตกรรมส่งเสริมการเรียนรู้สังคมพหุวัฒนธรรมในวิถีความปกติใหม่ สำหรับนักศึกษาชาติพันธุ์ในสถาบันอาชีวศึกษา จังหวัดเชียงใหม่,” *วารสารวิชาการธรรมทศวรรษ*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 1, หน้า 87-98, มกราคม-มีนาคม, 2566.
- [6] สายสิริ สายยศ, “กลยุทธ์การบริหารสถานศึกษาด้วยระบบสารสนเทศเพื่อรองรับยุคโลกพลิกผัน (VUCA World) วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุรินทร์,” *วารสารสหวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, หน้า 141-158, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2565.
- [7] ทศน์พล แก้วเพชรบุตร และวิภาดา ประสารทรัพย์, “การบริหารวิชาการเพื่อพัฒนาทักษะอาชีพของผู้เรียน,” *การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 4 “GRADUATE SCHOOL CONFERENCE 2022 iHappiness: ความสุขและคุณภาพชีวิตที่ดีอย่างยั่งยืนในยุคสังคมดิจิทัล”*, จังหวัดสมุทรสงคราม, 1372-1378, สิงหาคม, 2565.
- [8] อิทธิพัทธ์ สมจูง และคณะ, “ปัญหาและความต้องการในการบริหารจัดการเพื่อพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาสมรรถนะสูง ตามบริบทวิทยาลัยขนาดเล็ก เพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศ กรณีศึกษาวิทยาลัยการอาชีพอุดรธานี,” *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 107-113, มกราคม-มิถุนายน, 2566.
- [9] สุพรรณษา อเนกบุญ, “การพัฒนาระบบการประเมินคุณภาพระดับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพของสถานศึกษาตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิอาชีวศึกษา,” *ดุชนิพนธ์* ปร.ด. (วิจัย วัดผลและสถิติการศึกษา), มหาวิทยาลัยบูรพา, 2560.
- [10] สำนักข่าว EDUNEWSSIAM ONLINE, “สอศ.ร่วมมือศูนย์อาชีวศึกษาBishan และ BYD ประเทศจีนผลิตกำลังคนอาชีวะด้านยานยนต์ไฟฟ้าสู่โลกอุตสาหกรรมใหม่”, สำนักข่าว EDUNEWSSIAM ONLINE [ออนไลน์]. เว็บไซต์: <https://www.edunewssiam.com/th/articles/283483> (เข้าถึงเมื่อ: 3 พฤศจิกายน 2566).
- [11] Boonrung Nojai บ. โ. and (Dr.Weerakul Chaiphar) ด. ช., “รูปแบบการส่งเสริมอาชีพช่างฝีมือระดับชุมชนในท้องถิ่นจังหวัดขอนแก่น (Model of Career Promotion for Local Community Skill Workers in Khonkaen Province)”, *GS KKU HS*, vol. 2, no. 3, pp. 14-22, Feb. 2015.
- [12] พงษ์ศักดิ์ ผกามาต, ปภาภัทร แสงแก้ว และปรานทิพย์ เสยกระโทก, “แนวทางการเสริมสร้างองค์กรแห่งความสุขของสถาบันการอาชีวศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทย,” *วารสารวิจัยและนวัตกรรมอาชีวศึกษา*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 78-88, มกราคม-มิถุนายน, 2566.

**การออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับ
โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน**
**The Design and Construction of a 3-Phase Motor Control System with an Inverter in
Conjunction with a Programmable Logic Controller can be Remotely Controlled Through
the Internet of Things System and Touch Screen**

คมกริช แสงสุรินทร์
Komgrit Sangsurin

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 เชียงราย 57000
*Field of Electrical Technology, Chiangrai Technical College, Institute of Vocational education :
Northern Region 2, Chiangrai 57000*

Received : 2023-04-28 Revised : 2023-05-24 Accepted : 2023-06-27

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาประสิทธิภาพระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน เพื่อสร้างสื่อ นวัตกรรมจัดการการเรียนรู้ในรายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม รหัส 30104-2006 เรื่องระบบเครือข่าย และเพื่อหาความพึงพอใจระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน วิธีดำเนินการวิจัย ออกแบบวางอุปกรณ์หน้าตู้และภายในตู้ควบคุมโดยใช้โปรแกรมออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ เขียนโปรแกรมควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรม MELSOFT Series GX Work 2 ควบคุม ทัชสกรีนด้วยโปรแกรม Sktool และทำการเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Smart Life เข้ากับตัวบอร์ด Smart Switch เพื่อควบคุมระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือ ซึ่งอินเวอร์เตอร์มีขนาด 0.1 kW มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 0.20 kW ผลการวิจัยพบว่า การหมุน (Forward : FWD) และการกลับทางหมุน (Reverse : REV) ความถี่ที่ 10 Hz, 25 Hz, 30 Hz และ 35 Hz

จะมีกระแสไฟฟ้าที่โหลดและแรงดันไม่แตกต่างกันมาก การสั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Life ทัชกรีน และโทรศัพท์มือถือ ระบบสามารถสั่งการทำงานได้ตามเงื่อนไข ช่วงโอเวอร์โหลดของอินเวอร์เตอร์จะอยู่ที่ความถี่ 35 Hz ขึ้นไป ความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยภาพรวมทั้งหมดอยู่ในระดับที่ดี ($\bar{X}$ = 4.20)

คำสำคัญ : ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส, อินเวอร์เตอร์, โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

Abstract

The objectives of this research were to: 1) find out the efficiency of a 3-phase motor control system with an inverter, in conjunction with a remote controlled programmable logic controller through the Internet of Things and touch screen system; 2) create an innovative media for learning management in the course on control systems in industry, code 301 04-20 06, on network systems; and 3) to verify the user's satisfaction of using a 3-phase motor control system. The research was designed to place the equipment in the front of and inside the control cabinet, using a computer design program. A program was written to control the Programmable Logic Controller with the

คมกริช แสงสุรินทร์

E-mail address: komgrit.ete@gmail.com

MELSOFT Series GX Work 2 program, control the touch screen with the Sktool program, and connect the Smart Life application to the Smart Switch board for remote control via a mobile phone. The inverter size used in the test was 0.1 kW, and the motor used was 0.20 kW. The results showed that there was not much difference in load current and voltage for both forward and rotational reversal frequencies at 10 Hz, 25 Hz, 30 Hz, and 35 Hz. The system could be operated according to the conditions via smart Life application, touch green, and mobile phone. The overload range of the inverter was at a frequency of 35 Hz and above. The overall satisfaction was good with an average of ($\bar{X}$ = 4.20.)

Keywords : 3- Phase Motor Control System, Inverter, Programmable Logic Controller

1.บทนำ

สภาพปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) ได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำรงชีวิตมากขึ้น ทั้งด้านอุตสาหกรรม และด้านการเกษตร ในการสามารถที่จะนำอุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมโยงหรือรับส่งข้อมูลซึ่งกันและกันได้โดยผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เราสามารถควบคุม และตรวจสอบจัดการอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ทั้งแบบอัตโนมัติ หรือกึ่งอัตโนมัติได้ รวมถึงการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการในอุตสาหกรรม นอกจากนั้น เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งยังได้ถูกนำมาปรับประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดการใช้พลังงาน เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานรวมถึงผู้บริหารสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาธุรกิจและองค์กรได้ การใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ จึงมีความสำคัญในการควบคุมหรือตรวจสอบ และสั่งการควบคุมระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือ การควบคุมความเร็วกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้าไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งการทำงานในปัจจุบันมักจะเกิดปัญหาในด้านการควบคุมหรือตรวจสอบ และการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ควบคุมระบบนั้นทำได้ค่อนข้างยากและในปัจจุบันก็ได้

มีงานวิจัยอย่างหลากหลายที่ให้ความสนใจพยายามแก้ปัญหาเหล่านี้ การใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และทัชสกรีนในการควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้าไฟฟ้า 3 เฟสจึงมีความจำเป็น อีกทั้งการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เข้าด้วยกันจึงมีความสำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าว

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีนในการควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้าไฟฟ้า 3 เฟสโดยผ่านแอปพลิเคชันควบคุมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และผ่านโทรศัพท์มือถือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผู้ควบคุมระบบให้สูงขึ้น

2.วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อสร้างและประเมินผลประสิทธิภาพระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน

2.2 เพื่อสร้างสื่อวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม รหัส 30104-2006 เรื่องระบบเครือข่าย

2.3 เพื่อหาความพึงพอใจผู้ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน

3.สมมุติฐานงานวิจัย

3.1 การควบคุมการหมุน (FWD) และการกลับทางหมุน (REV) ความถี่ที่ 10 Hz, 25 Hz, 30 Hz และ 35 Hz มีกระแสไฟฟ้าที่โหลดและแรงดันไม่แตกต่างกัน

3.2 ความพึงพอใจผู้ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลอยู่ในระดับดีขึ้นไป

4.ขอบเขตการวิจัย

4.1ขอบเขตด้านเนื้อหา

ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลสามารถเชื่อมกับอินเวอร์เตอร์และพีแอลซี สั่งการทำงานไปยังโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์และอินเวอร์เตอร์เพื่อการควบคุมการกลับทางหมุนและความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า ร่วมกับ IoT Smart Switch ที่สั่งการผ่านเครือข่ายไร้สาย

4.1ด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากรคือนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ระดับชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย โดยมีการเลือกและกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 24 คน ด้วยแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

4.2ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้นคือการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน

ตัวแปรตามคือประสิทธิภาพและความพึงพอใจการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน

4.3เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งต่อการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน ประกอบด้วย

4.3.1ชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน

4.3.2แบบประเมินความพึงพอใจ มีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามแนวของเบสท์ (Best) มี 5 ระดับ คือ

4.50 - 5.00 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

3.50 - 4.49 ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

2.50 - 3.49 ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

1.50 - 2.49 ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

1.00 - 1.49 ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

4.4.1 สถิติที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

1)ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (1)$$

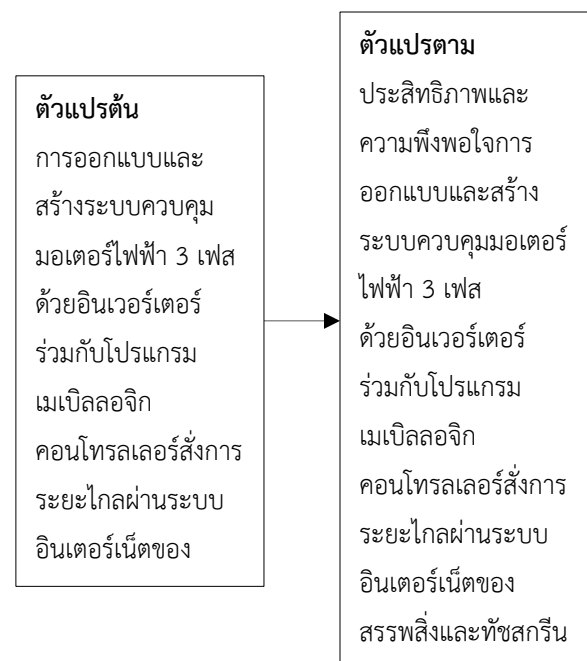
2)การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

4.4ด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2565 ในระหว่างเดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือน มีนาคม 2566

5.กรอบแนวคิดการวิจัย

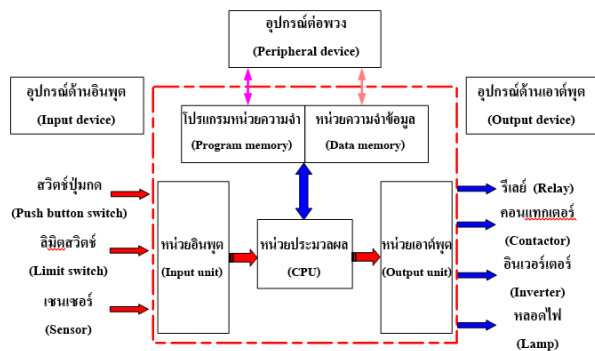


รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

6.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างชุดทดลองการควบคุมมอเตอร์สามเฟสด้วยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ชุดทดลองนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นต่อการควบคุมมอเตอร์ อาทิ เช่น เซอร์กิตเพรกเกอร์ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ โอเวอร์โวลต์รีเลย์ ไทม์เมอร์ รวมถึงจุดต่อเอาต์พุตรับคำสั่งจาก PLC [4]

ระบบอัตโนมัติมีส่วนช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้ เช่น มีความถูกต้องแม่นยำ รวดเร็ว เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานและชนิดของระบบอัตโนมัติซึ่งมีหลายสาขาจึงเป็นเรื่องจำเป็น โครงสร้างภายในของ พีแอลซีแต่ละส่วนนั้นจะประกอบกันทำงานเป็นระบบควบคุม หรือที่เราเรียกว่าพีแอลซี ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญคือ ยูนิททั้ง 5 ส่วน เมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วก็จะกลายเป็นพีแอลซีชุดหนึ่งที่สามารถทำงานได้แต่ละยูนิทจะมีหน้าที่และคุณสมบัติดังนี้ [1] และ [8]



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างภายในของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VSD (Variable Speed Drive) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ให้ได้ตามที่เรากำลังต้องการ ซึ่งหลักการทำงานภายในคือจะมิกซ์กระแสตรง ทำหน้าที่แปลงจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และก็แปลงกลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกที เป็นเพราะว่าเนื่องจากการแปลงจาก AC ไปเป็น AC โดยตรงเลยนั้น ความถี่ทางด้านเอาต์พุตจะได้สูงสุดไม่เกินความถี่ทางด้านอินพุต เช่น บ้านเราใช้ไฟฟ้าความถี่ที่ 50HZ เราก็จะปรับความถี่ได้ไม่เกิน 50HZ เช่นกัน แต่ถ้าแปลงจาก AC ไปเป็น DC และแปลงกลับมาเป็น AC อีกครั้งจะทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างความถี่ที่สูงกว่าความถี่เดิมทางด้านอินพุต อันนี้ต้องขึ้นอยู่กับสเปคของอินเวอร์เตอร์ของแต่ละยี่ห้อว่าจะสามารถปรับความถี่ได้เท่าไร [2]

การควบคุมมอเตอร์คือการทำให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่ง และมีความปลอดภัยต่อตัวมอเตอร์ต่ออุปกรณ์ในระบบและต่อ

ผู้ปฏิบัติงาน โดยระดับของการควบคุมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ [2]

1)การควบคุมด้วยมือ (Manual Control)

การควบคุมด้วยมือ หมายถึง การควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงาน สั่งให้อุปกรณ์ควบคุมทำงาน ควบคุมการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์การควบคุมจึงถูกสั่งงานด้วยมือ ผ่านอุปกรณ์ใด ๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิตช์ (Toggle Switch) เซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch) ดรัมสวิตช์ (Drum Switch) ตัวควบคุมแบบหน้างาน (Face Plate Control) เป็นต้น ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ นิยมใช้กับระบบเดี่ยว มอเตอร์ขนาดเล็กที่มีฟังก์ชันแตกต่าง ๆ เช่น มอเตอร์พิกัดไม่เกิน 5 แรงม้า จำพวกเครื่องเจาะ เครื่องเจียระไน เป็นต้น จึงนิยมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยวิธีการสตาร์ทโดยตรง (Direct Starter)

2)การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Control)

การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ เป็นการควบคุมโดยการใช้สวิตช์ปุ่มกด (Push Button) ใช้ควบคุมระยะไกล (Remote Control) ทำการเริ่มเดิน (Start) การหยุดเดิน (Stop) มอเตอร์โดยการใส่รีเลย์หรือคอนแทกเตอร์เป็นตัวกลางการควบคุมสั่งงานที่สวิตช์ปุ่มกด เพื่อสั่งให้คอนแทกเตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน แล้วจึงนำหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ไปควบคุมมอเตอร์อีกต่อหนึ่ง

3)การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control)

การควบคุมอัตโนมัติเป็นการควบคุมที่อาศัยอุปกรณ์ชิ้น (Pilot Device) มาตรวจจับการเปลี่ยนแปลงใดๆ เช่น โฟโตสวิตช์ (Photo Switch) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) ตรวจจับตำแหน่งของวัตถุเพื่อสั่งให้อุปกรณ์เอาต์พุตใดๆทำงานหรือหยุดทำงานตามเงื่อนไขวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มเดินในครั้งแรกเท่านั้น จากนั้นวงจรจะทำงานเองเป็นอัตโนมัติต่อเนื่องไป

PLC BOARD FX3U-24 MR 24 Input 16 Output Relay (สามารถขับโหลด 220 VAC หรือโหลดที่มีกระแสสูง ๆ ได้) มีพอร์ต RS485 รองรับการสื่อสาร Modbus RTU Analog Input Voltage 0-10 V 2 ช่องสัญญาณ Analog Input Current 0-20 mA 2 ช่องสัญญาณ Analog Output Voltage 0-10 V 2 ช่องสัญญาณมีฐานเวลาในตัว RTCRS232 [3]

การสร้างตู้ควบคุมและระบบแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าเกินในมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ ออนไลน์ และหาประสิทธิภาพของตู้ควบคุมและระบบแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าเกินในมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ

ออนไลน์ การออกแบบและสร้างตู้ควบคุม ออกแบบวงจรคอนโทรล ทดสอบการใช้งาน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อประสิทธิภาพของตู้ควบคุมและระบบแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าเกินในมอเตอร์ไฟฟ้าแบบออนไลน์ จากการทดสอบกับมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 3 แรงม้า กระแสไฟฟ้า 0.8 แอมแปร์ ตั้งค่ากระแสเกินที่ 1 แอมแปร์ จากการทดสอบพบว่าเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานปกติจะไม่มีการแจ้งเตือนการใช้กระแสเกินมายังโทรศัพท์มือถือแต่อย่างใด เมื่อทำการสตาร์ทมอเตอร์เพิ่มอีก 1 ตัว ทำให้การใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 แอมแปร์ จะมีการแจ้งเตือนการใช้กระแสไฟฟ้าเกินมายังโทรศัพท์อย่างต่อเนื่อง เมื่อจากโทรศัพท์มือถือการแจ้งเตือนก็หยุดทันที [5]

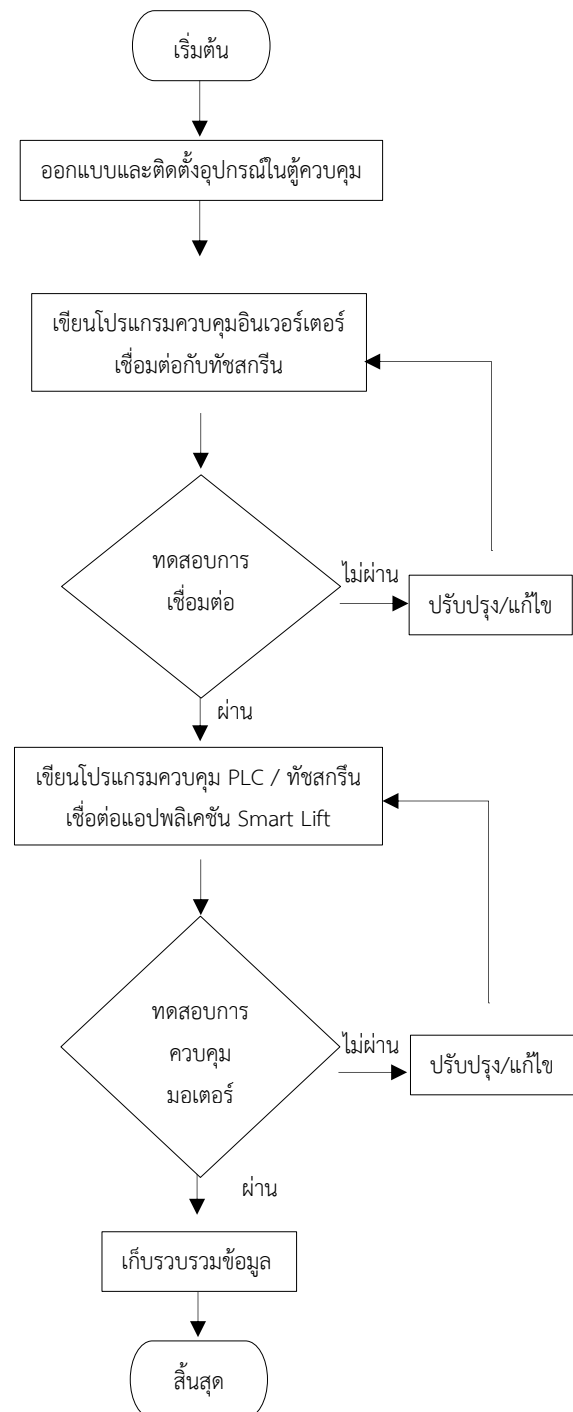
ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า แสดงผลผ่านระบบไร้สายของการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า สามเฟส ศึกษาการส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลผ่านระบบเน็ตเวิร์ก การดำเนินการวิจัยนำอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถวัดค่าวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง ได้บันทึกค่าลง Data Logger ในระยะเวลา 7 วัน และดูค่าทางไฟฟ้า ณ เวลา นั้น โดยการแสดงผลผ่านระบบเน็ตเวิร์ก ผลการวิเคราะห์อุปกรณ์ จากการวัดพลังงานเทียบกับเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานที่มีราคาสูงกว่า พบว่า เปอร์เซนต์ความผิดพลาดจากการทดสอบมีค่าแรงดันไฟฟ้า 0.0003% กระแสไฟฟ้า 0.0032% และกำลังไฟฟ้า 0.1372% สามารถบันทึกข้อมูลเก็บลงใน Micro SD Card เป็นสถิติของทุก ๆ วันได้และสามารถใช้งานบนอินเทอร์เน็ตในรูปแบบต่าง ๆ ได้ [6]

การปรับจูนค่าที่พีไอที่เหมาะสมสำหรับการขับเคลื่อนความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งได้ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเชิงตัวเลข DSP รุ่น C2000 เบอร์ TMS320F28335 เป็นบอร์ดคอนเนกประสงค์มีความสามารถประมวลผลได้รวดเร็วเหมาะสมสำหรับการใช้งานควบคุมมอเตอร์ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งได้ออกแบบการควบคุมระบบเป็นแบบลูปปิด หลักการโดยใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้สอดคล้องกันโดยได้ทำการเปรียบเทียบความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าอ้างอิงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจริงของตัวควบคุมแบบพีไอที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมครั้งนี้ ผลการทดสอบนี้ทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีผลตอบสนองทางด้านไดนามิกส์

ได้ดีขึ้น ซึ่งความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้า ขณะที่มิโหลครบวงวนนั้น ยังสามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่รอบต่ำไปจนถึงความเร็วรอบที่พิกัดสูงได้ตามความต้องการ [7]

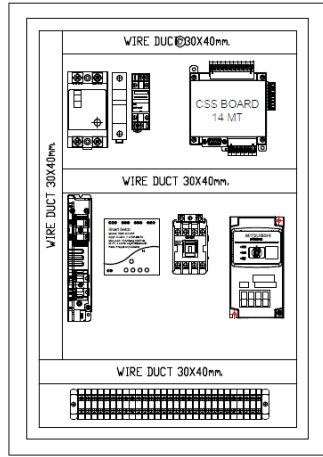
7.วิธีการดำเนินการวิจัย

7.1แผนผังการดำเนินงาน

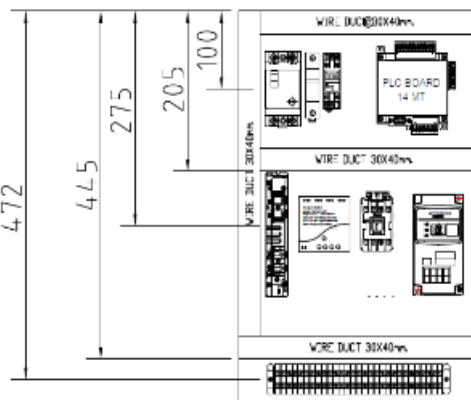


รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

7.1.1 ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ในตู้ควบคุม
วางตำแหน่งอุปกรณ์หน้าตู้และภายในตู้ควบคุมโดยใช้
โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4, 5, 6 และ 7

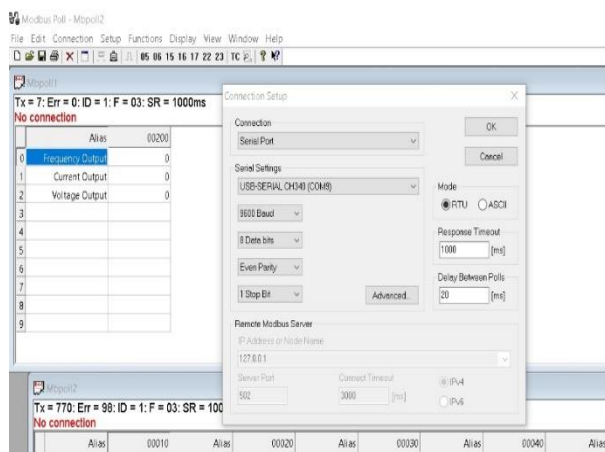


FRONT VIEW

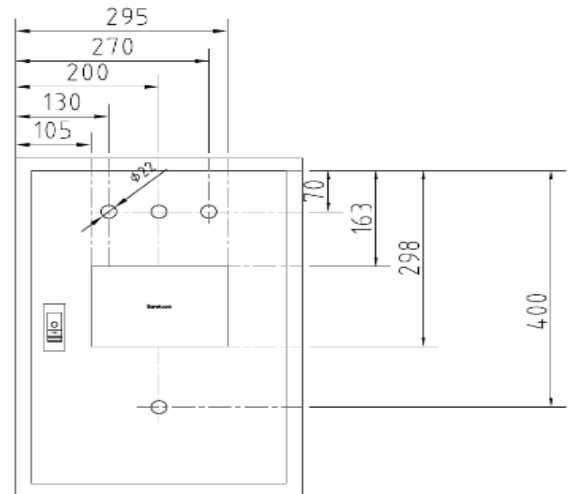


INNER VIEW

รูปที่ 4 วางตำแหน่งอุปกรณ์หน้าตู้และภายในตู้ควบคุม



รูปที่ 5 อุปกรณ์หน้าตู้ควบคุม

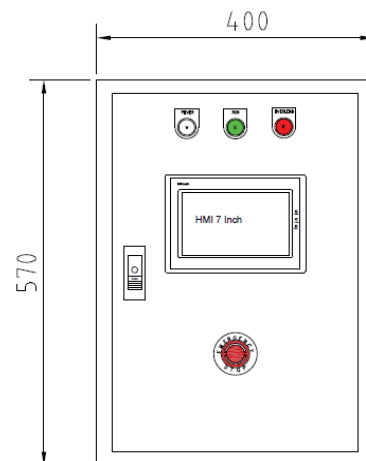


รูปที่ 6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม



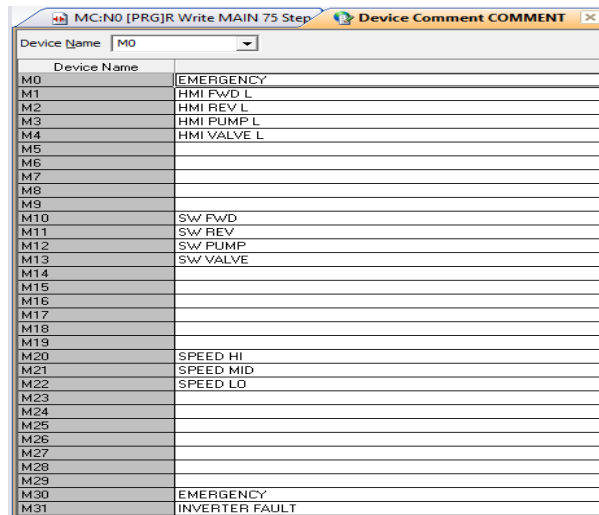
รูปที่ 7 วางอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

7.1.2 เขียนโปรแกรมควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้เชื่อมต่อ
กับที่ชกกรีน โดยตั้งค่า MODBUS RS485 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตั้งค่า MODBUS RS485

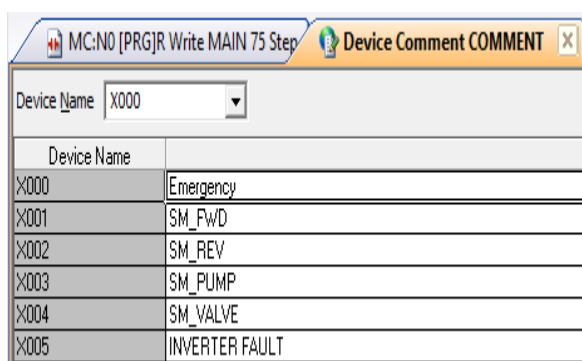
7.1.3ทดสอบการเชื่อมต่อ หลังจากตั้งค่า MODBUS RS485 บัณค่า Connection Setup ใน Communication Port Properties ของทัชกรีนให้ตรงกันเพื่อให้อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับทัชกรีน ดังรูปที่ 9



Device Name	Comment
M0	EMERGENCY
M1	HMI FWD L
M2	HMI REV L
M3	HMI PUMP L
M4	HMI VALVE L
M5	
M6	
M7	
M8	
M9	
M10	SW FWD
M11	SW REV
M12	SW PUMP
M13	SW VALVE
M14	
M15	
M16	
M17	
M18	
M19	
M20	SPEED HI
M21	SPEED MID
M22	SPEED LO
M23	
M24	
M25	
M26	
M27	
M28	
M29	
M30	EMERGENCY
M31	INVERTER FAULT

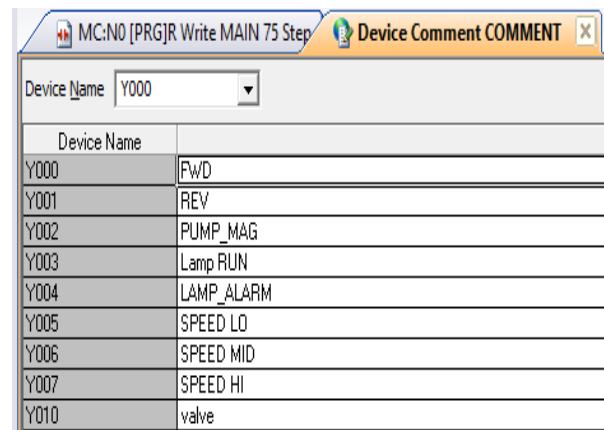
รูปที่ 9 บัณค่า Connection Setup ใน Communication Port Properties

7.1.4เขียนโปรแกรม PLC และทัชกรีนเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Smart Life โดยใช้โปรแกรม MELSOFT Series GX Work2 โดยกำหนดตำแหน่ง IO อินพุตและเอาต์พุตของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 10, 11, 12, 13, 14 และ 15



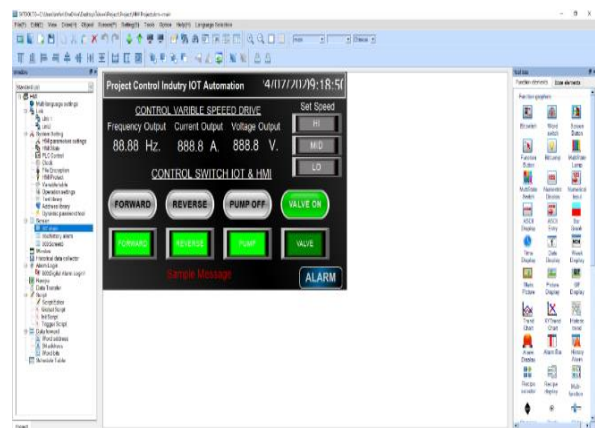
Device Name	Comment
X000	Emergency
X001	SM_FWD
X002	SM_REV
X003	SM_PUMP
X004	SM_VALVE
X005	INVERTER FAULT

รูปที่ 10 กำหนดตำแหน่ง IO อินพุต

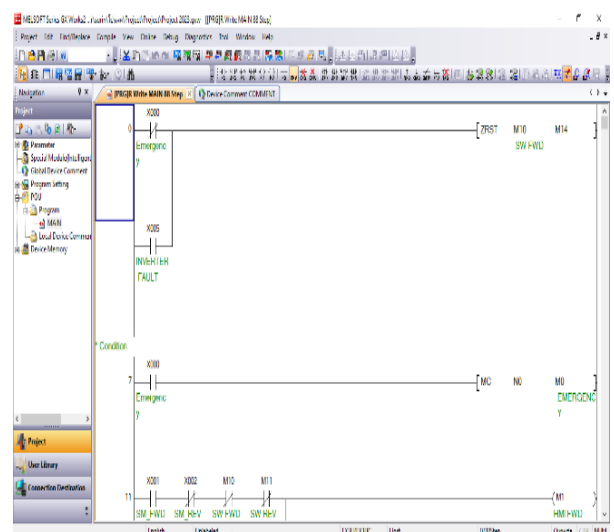


Device Name	Comment
Y000	FWD
Y001	REV
Y002	PUMP_MAG
Y003	Lamp RUN
Y004	LAMP_ALARM
Y005	SPEED LO
Y006	SPEED MID
Y007	SPEED HI
Y010	valve

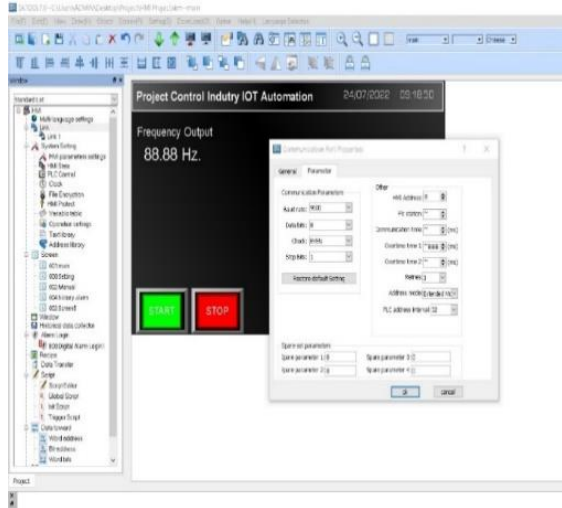
รูปที่ 11 กำหนดตำแหน่ง IO เอาต์พุต



รูปที่ 12 กำหนดMemory bit



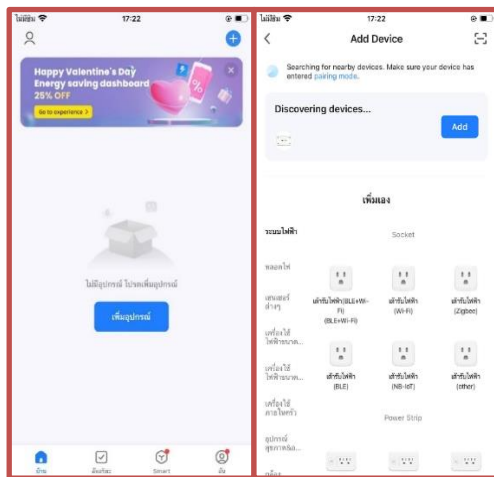
รูปที่ 13 Ladder Diagram



รูปที่ 14 เขียนโปรแกรมหน้าจอตักกรีน



รูปที่ 16 ทดสอบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 15 แอปพลิเคชัน Smart Life

7.1.5 ทดสอบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Smart Life ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และควบคุมด้วยมือด้วยทัชสกรีน ดังรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 17 หน้าจอตักกรีน

7.1.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูล ดังนี้

1) เก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบการทดสอบการหมุน (FWD) และกลับทาง หมุน (REV) กระแสไฟฟ้า แรงดันด้านเอาต์พุต และความเร็วรอบ ควบคุมระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Smart Life ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และควบคุมด้วยมือด้วยทัชสกรีน

2) เก็บรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นความพึงพอใจการหมุน (FWD) และกลับทางหมุน (REV) ควบคุมทางกายภาพและการใช้งาน ระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Smart Life ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และควบคุมด้วยมือด้วยทัชสกรีน

8.ผลการวิจัย

8.1 ประสิทธิภาพระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สำหรับการระยยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและ ทัชสกรีน

ตารางที่ 1 การทดสอบการหมุน (FWD) และกลับทางหมุน (REV)

การหมุนมอเตอร์ไฟฟ้า	ความถี่ (Hz)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (V)	สั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Lift	สั่งผ่านทัชสกรีน
FWD	10	0.77	615	67.0	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	25	0.52	1250	129.3	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	30	0.50	1743	148.4	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	35	0.53	-	172.5.4	โอเวอร์โหลด	โอเวอร์โหลด
REV	10	0.81	615	67.7	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	25	0.55	1250	129.1	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	30	0.52	1743	150.1	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ
	35	0.53	-	161.5	โอเวอร์โหลด	โอเวอร์โหลด

จากตารางที่ 1 ผลจากการทดสอบพบว่ากระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต และความเร็วรอบ ควบคุมระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Smart Life ร่วมกับ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และควบคุมด้วยมือด้วยทัชสกรีนย่านความถี่ที่แตกต่างกัน สามารถควบคุมการหมุน (FWD) และการกลับทางหมุน (REV) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการสั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Lift และทัชสกรีน

การหมุนมอเตอร์ไฟฟ้า	จำนวนครั้งในการทดสอบ	ความถี่ (Hz)	การสั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Lift	การสั่งผ่านทัชสกรีน
FWD	1	10	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	2	25	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	3	30	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	4	35	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	5	40	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
REV	1	10	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	2	25	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	3	30	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	4	35	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้
	5	40	สั่งผ่านได้	สั่งผ่านได้

จากตารางที่ 2 การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบการหมุน (FWD) และการกลับทางหมุน (REV) โดยการทำการทดสอบสั่งการ จำนวน 5 ครั้ง พบว่าสามารถสั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Lift และทัชสกรีนได้ ซึ่งคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

8.2 ความพึงพอใจผู้ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สำหรับการระยยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและ ทัชสกรีน

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจทางกายภาพ

ลำดับ	รายการ	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
ด้านลักษณะทางกายภาพ				
1	โครงสร้างมีความแข็งแรง	4.00	0.77	ดี
2	ความปลอดภัยของผู้ใช้งาน	4.20	0.74	ดี
3	วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ มีคุณภาพ	4.20	0.74	ดี

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจทางกายภาพ

ลำดับ	รายการ	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
4	สะดวกต่อการใช้งาน		0.78	ดี
	ค่าเฉลี่ย	4.17	0.76	ดี
ด้านลักษณะการใช้งาน				
1	สามารถสั่งงานผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว	4.50	0.50	ดีมาก
2	ทักษะกรีนสั่งงาน FWD และ REV ได้	4.20	0.74	ดี
3	หน้าจอทัชสกรีนสามารถปรับความถี่ได้	4.50	0.50	ดีมาก
4	สามารถใช้งานได้ง่าย	4.50	0.50	ดีมาก
5	ช่วยประหยัดเวลาการทำงาน	4.00	0.77	ดี
	ค่าเฉลี่ย	4.34	0.06	ดี
	ค่าเฉลี่ยรวม	4.20	0.68	ดี

จากตารางที่ 3 พบว่าภาพรวมด้านลักษณะทางกายภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.17$) และภาพรวมด้านลักษณะการใช้งานอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.34$) ค่าเฉลี่ยภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.20$)

9.สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

9.1สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน สรุปผลการวิจัยดังนี้

1) ประสิทธิภาพระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีนภาค การศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2565 ในระหว่างเดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือน มีนาคม 2566 จากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ระดับชั้นปีที่ 2 จำนวน 24 คน วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย โดยเลือกแบบเจาะจงพบว่าการหมุน (FWD) และการกลับทางหมุน (REV) ความถี่ที่ 10 Hz, 25 Hz, 30 Hz และ 35 Hz จะมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลและแรงดันไม่แตกต่างกันมาก การสั่งผ่านแอปพลิเคชัน Smart Life ทัชสกรีน และโทรศัพท์มือถือ ระบบสามารถสั่งการทำงานได้ตามเงื่อนไข ช่วงโอเวอร์โหลดของอินเวอร์เตอร์จะอยู่ที่ความถี่ 35 Hz ขึ้นไป

2) ความพึงพอใจที่มีต่อผู้ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีนภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2565 ในระหว่างเดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือน มีนาคม 2566 จากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ระดับชั้นปีที่ 2 จำนวน 24 คน วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย โดยเลือกแบบเจาะจงพบว่าความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยภาพรวมทั้งหมดอยู่ในระดับที่ดี ($\bar{X} = 4.20$)

9.2การอภิปรายผล

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทัชสกรีน ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ อินเวอร์เตอร์ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 0.20 kW ในความถี่ที่ไม่เกิน 35 Hz เพราะจะทำให้อินเวอร์เตอร์โอเวอร์โหลด พบว่าหากต้องการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขนาดใหญ่ขึ้นต้องเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ขนาดกำลังวัตต์ที่เพิ่มขึ้นตาม ในส่วนของแอปพลิเคชัน Smart Life จะสามารถสั่งเอาต์พุตในการหมุน (FWD) และกลับทางหมุน (RVE) ระยะไกลได้โดยผ่านโทรศัพท์มือถือตัวแอปพลิเคชัน Smart Lift ร่วมกับ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แต่จะไม่สามารถแสดงสถานะของสภาวะการทำงานต่าง ๆ เมื่อเกิดกรณีโอเวอร์โหลดหรือข้อบกพร่องกรณีอื่น ๆ และสามารถสั่งการหมุน (FWD) และกลับทางหมุน (RVE) ควบคุมด้วยมือที่จอทัชสกรีน ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมสั่งการจากโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

9.3 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สั่งการระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและทซ์สกรีน มีข้อเสนอแนะดังนี้

1) เพื่อให้ระบบการทำงานมีความเสถียรมากขึ้นควรเปลี่ยนแมกนีติกคอนแทกเตอร์เป็นโซลิตสเตตรีเลย์เนื่องจากแมกนีติกคอนแทกเตอร์การทำงานเป็นลักษณะแมกคาณิกส์ทำให้การตัดต่อของคอนแทกเตอร์ช้าเมื่อได้รับสัญญาณจากโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

2) การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแอปพลิเคชัน Smart Lift การตอบสนองของการทำงานค่อนข้างช้า และไม่สามารถแสดงผลเมื่อเกิดข้อผิดพลาดของการทำงานของระบบ เช่น เมื่อเกิดโอเวอร์โหลดจะไม่มีการแจ้งเตือน ดังนั้นจึงควรเพิ่มระบบแสดงผลเมื่อเกิดข้อผิดพลาด แจ้งเตือนผ่านระบบมือหรืออื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ชั้นปีที่ 2 ทุกคน วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินการครั้งนี้ คุณประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมไปถึงบุคคลที่เกี่ยวข้อง และรวมทั้งที่ได้กล่าวถึง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, แมคคาทรอนิกส์เบื้องต้น, สำนักพิมพ์ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 147 – 174, 2522.
- [2] สิทธิพงศ์ ยุวจิตติ, การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าและการโปรแกรม, ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา, หน้า 83 – 96, 2539.
- [3] สุพรรณ กุลพาณิชย์, Programmable control เทคนิคและการใช้งานเบื้องต้น, บริษัทอมรอนทรอนิกส์, หน้า 56 - 89, 2533.

- [4] สรศักดิ์ คำภูและคณะ, “การออกแบบและสร้างชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยแมกนีติกคอนแทกเตอร์และพีแอลซี ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสยาม, 2564.
- [5] นพรัตน์ งามพ้อง, อนุวัฒน์ คำน้อยและคมกริช แสงสุรินทร์, “ผู้ควบคุมและแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าเกินมอเตอร์ไฟฟ้าแบบออนไลน์”, การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาชีวศึกษา ครั้งที่ 4, หน้า 315-323, 2563.
- [6] คมกริช แสงสุรินทร์, ธนภฤต จิระยาและวีระเดช จงสุริยภาส, “การออกแบบและสร้างเครื่องวัดบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าแสดงผลผ่านระบบไร้สาย”, การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาชีวศึกษา ครั้งที่ 4, หน้า 170-179, 2563.
- [7] คมกริช แสงสุรินทร์, บัญญัติ พรหมเลขและวิภพ ใจแข็ง, “การปรับจูนค่าแบบพีไอที่เหมาะสมที่สุดเพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิด”, การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 11, หน้า 564-570, 2562.
- [8] คมกริช แสงสุรินทร์, ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม, สำนักพิมพ์: ศูนย์ส่งเสริมอาชีวฯ, หน้า 63, 2560.

การพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi The Development of a Simple and Low-Cost Pendulum Clock Experimental Set via Wi-Fi System

อารียา จิตกระเสริม¹, อีรธวัลย์ ปานกลาง², รัตนสุดา สุกदनัยสร³ และ อมรรัตน์ คำบุญ^{4*}
Areeya Jitkasroem¹, Theerathawan Panklang², Rattanasuda Supadanaison³ and Amonrat Khambun^{4*}

^{1,2,3,4*} สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600

^{1,2,3,4*} Physical Program, Faculty of Sciences and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University 10600

Received : 2023-08-10 Revised : 2023-09-18 Accepted : 2023-11-16

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย (1) ชุดลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (2) เซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ (3) ชุดสื่อสารไร้สาย ระบบ Wi-Fi (4) Arduino board และ (5) คอมพิวเตอร์ การทดลองเริ่มจากทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่แล้วจับเวลาการแกว่งด้วยเซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ จากนั้นส่งข้อมูล (เวลา) ที่วัดได้ไปยัง Google Sheet ผ่านระบบ Wi-Fi เพื่อคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) งานวิจัยนี้ใช้ความยาวของลูกตุ้มนาฬิกา 5 ค่าเพื่อวัดคาบการเคลื่อนที่ (T) โดยค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 9.87 m/s^2 . ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อความเข้าใจ เหมาะสำหรับการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน

คำสำคัญ: ฟิสิกส์, ลูกตุ้มนาฬิกา, บอร์ดอาduino

Abstract

The objective of research was to create a simple and low-cost pendulum clock experimental set by using wireless fidelity as follow: (1) a simple pendulum clock set, (2) a motion sensor, (3) wireless fidelity set, (4) Arduino board, and (5) a computer. The experiment began by making a pendulum clock move and monitoring its oscillation with motion detector. After that, employing a Wi-Fi for transferring the data (time)

to a google sheet to determine the acceleration due to Earth's gravity (g).

This research applied the length of five pendulum clocks to measure the period of movement (T) by g -value obtained from the experimental set created was equal to 9.87 m/s^2 . The experimental set was created simply at a fair price. Moreover, It is a suitable learning material for the Fundamental Physics subject. by make a pendulum clock move and monitoring its oscillation with motion detector next, using Wi-Fi, transfer the data (time) to a Google Sheet to determine the acceleration due to Earth's gravity (g).

Keywords: Physics, simple pendulum, Arduino board

1.บทนำ

ฟิสิกส์จัดเป็นวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สำคัญที่เน้นศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติและยังถูกจัดให้เป็นหนึ่งในวิชาหลักในการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิชาฟิสิกส์ยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติผ่านการสังเกต การวัดและการคำนวณค่าต่าง ๆ จากการทดลอง ทั้งนี้ โดยทั่วไปการสอนวิชาฟิสิกส์แบบดั้งเดิมมักใช้วิธีบรรยายซึ่งบางเนื้อหาอาจมีความยากและซับซ้อนต่อการทำความเข้าใจของผู้เรียน นอกจากนี้การสอนด้วยวิธีบรรยายยังไม่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิด วิเคราะห์และแยกแยะด้วยตัวเองในการศึกษาปรากฏการณ์ในธรรมชาติและแก้ปัญหาต่าง ๆ

* อมรรัตน์ คำบุญ

E-mail address: amonrat.kh@bsru.ac.th

อย่างไรก็ตามการสอนวิชาฟิสิกส์แบบดั้งเดิมในบางหัวข้ออาจจัดให้มีการทดลองประกอบเพื่อเสริมเนื้อหาในส่วนบรรยาย โดยการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นลักษณะที่ผู้เรียนต้องลงมือทำการทดลองด้วยตัวเอง จะทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียน ซึ่งช่วยเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การให้ผู้เรียนมีโอกาสลงมือทำการทดลองหรือการศึกษาด้วยตัวเอง ยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาและสามารถจดจำกฎทางฟิสิกส์ได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดทางฟิสิกส์ช่วยพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย [1,2]

ช่วงเวลาที่ผ่านมามีนักวิชาการจำนวนมากได้ออกแบบสร้างชุดทดลองทางฟิสิกส์ที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นส่วนประกอบ เช่น อมรรัตน์ คำบุญ [3] ได้พัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ด้วยระบบปรับมุมอัตโนมัติที่สามารถเลือกปรับมุมการยิงมวลที่ใช้ทดลองได้มากถึง 8 ระดับ ส่วน มณี จันทะรัง และจินดาพร สืบขันเพชร [4] พัฒนาชุดทดลองการตกแบบอิสระโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์การควบคุมการทำงานของชุดทดลองหรือสมพร บัวประทุม [5] พัฒนาตัวตรวจวัดระยะเวลาการตกของวัตถุจากความสูงต่าง ๆ แบบอัตโนมัติอย่างง่ายที่ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดระยะและเวลาตกของวัตถุพร้อมแสดงค่าผ่านทางสมาร์ตโฟน ทำให้ผู้ทดลองสามารถอ่านค่าเวลาที่ตรวจวัดได้และนำค่าที่ได้จากการทดลองมานำเสนอแบบกราฟ เพื่อคำนวณหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ได้ด้วยตัวเอง ชุดทดลองเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาทางฟิสิกส์มากขึ้น

นอกจากชุดทดลองที่ใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบแล้ว การใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหลักในชุดทดลองก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจ เนื่องจากชุดทดลองลักษณะนี้จะช่วยเสริมและกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจเนื้อหาทางฟิสิกส์มากขึ้น รวมถึงยังช่วยให้ผู้เรียนคุ้นชินกับการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาทางฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยพัฒนาแนวคิดและทักษะการวิจัยแก่ผู้เรียนอีกด้วย [6,7]

ทั้งนี้ในวิชาฟิสิกส์ “การเคลื่อนที่” จัดว่าเป็นหัวข้อพื้นฐานสำคัญของการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในทุกระดับ โดยเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับแนวคิดสำคัญของ ตำแหน่ง เวลา ความเร็วและความเร่ง โดยมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) ซึ่งเป็น

ปริมาณทางฟิสิกส์สำคัญที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทั้งนี้การทดลองสำคัญเรื่องหนึ่งที่สามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุและคำนวณหาค่า g ได้ คือ การทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (simple pendulum) โดยมีนักวิชาการและนักวิจัยจากหลายสถาบันได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายแบบใช้คอมพิวเตอร์ร่วมหลายเรื่อง เช่น ภาณุกร วัฒนจิงและวีระ บุญผุด [8] ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายด้วยอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่แบบอินฟราเรด และ ใช้ NodeMCU ESP8266 สำหรับเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยการแสดงผลคาบเวลาเฉลี่ยและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกที่ได้ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยผลการทดลองพบว่าค่าการวัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูงกว่าการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาของผู้เรียน นอกจากนี้ยังมี กฤษฎา สังกรณี และรัชณู กัดมัน [9] ได้พัฒนาชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยใช้เซนเซอร์ฮอลล์ ตรวจวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและนำไปคำนวณหาค่าแรงโน้มถ่วงอัตโนมัติและส่งค่าที่ได้จากการทดลองมาแสดงผลการทดลองผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองพบว่าค่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.82%

บทความวิจัยนี้เป็นรายงานผลการพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหลัก โดยชุดทดลองประกอบด้วยลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็กที่ผูกติดเชือกคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาจะแปรตามความยาวของเชือกและใช้ Arduino board ร่วมกับอินฟราเรดเซนเซอร์ (infrared sensors) ตรวจจับการเคลื่อนที่ จากนั้นจึงส่งค่าเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาผ่าน Wi-Fi เพื่อบันทึกในกูเกิลชีต (Google sheet) ซึ่งมีโค้ด (code) สำหรับคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) โดยแสดงผลข้อมูลทั้งหมดด้วยเว็บแอปพลิเคชัน ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจเหมาะสำหรับใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานทุกระดับ

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 หลักการของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

ชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยมวล m ทำจากลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็ก ผูกติดกับเชือกเบายาว L ปลายอีกด้านหนึ่งตรึงอยู่กับที่ให้เป็นจุดหมุน

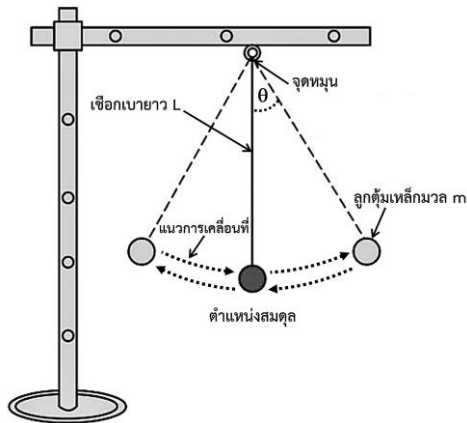
เมื่อดึงลูกตุ้มออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นมุม θ แล้วปล่อย ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ไป-มารอบตำแหน่งสมดุล คาบการแกว่ง (T) ของลูกตุ้มนาฬิกา ที่มุม θ ค่าน้อย ๆ (น้อยกว่า 10 องศา) จะแปรค่าตามความยาวเชือกเบา (L) และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของ ที่ติดตั้งชุดทดลอง ตามสมการที่ (1)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

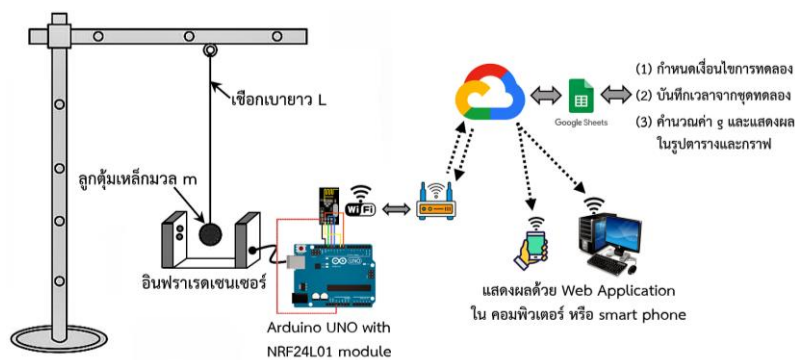
เมื่อ T คาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา (s)

L ความยาวเชือกเบา (m)

g ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (m/s^2)



รูปที่ 1 ไดอะแกรมหลักการของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย



รูปที่ 2 ผังแนวคิดของชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่สร้างขึ้นในงานวิจัย

2.3 การทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

การคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดลอง และ (2) การคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การทดลอง เป็นการเก็บข้อมูลคาบการแกว่งของลูกตุ้มเมื่อใช้ความยาวเชือกต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

2.2 การออกแบบและสร้างชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

ชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่สร้างในงานวิจัยนี้มีแนวคิดดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้ลูกตุ้มเหล็กมวล m ผูกติดกับเชือกเบายาว L ปลายอีกด้านหนึ่งติดกับจุดหมุน ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดนับจำนวนรอบการเคลื่อนที่และเวลาในการแกว่ง ซึ่งต่อกับบอร์ดอาดุยโน จากนั้นส่งข้อมูลที่ผ่านระบบ Wi-Fi ขึ้นอินเทอร์เน็ต ไปเก็บที่ Google Sheet ซึ่งจะเขียนชุดคำสั่งด้วย Google Apps Script เพื่อการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง และใช้รับค่าจากชุดทดลองรวมถึงคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) โดยมีการแสดงผลในรูปตารางและกราฟ ทั้งนี้ผู้ทดลองสามารถดูข้อมูลหรือผลการชุดทดลองได้ด้วยเว็บแอปพลิเคชันผ่านคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

1) กำหนดค่าเริ่มต้นในการทดลองโดย ให้ความยาวเชือกของลูกตุ้มเท่ากับ 0.5 m มุมการแกว่งเท่ากับ 5° และจำนวนรอบการแกว่งเท่ากับ 20 รอบ

2) จากนั้นแกว่งลูกตุ้ม (ให้ผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์) เมื่อลูกตุ้มแกว่งเคลื่อนที่ครบตามที่กำหนด ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งจากบอร์ดอาดุยโน ผ่านระบบ Wi-Fi ไปเก็บที่ Google Sheet

3) เปลี่ยนความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย โดยเพิ่มความยาวครึ่งละ 0.1 m แล้วทำซ้ำ ข้อ 1 และ ข้อ 2 จนความยาวเชือกเท่ากับ 0.9 m

2.3.2 การคำนวณ เป็นการคำนวณค่า g ด้วยข้อมูลที่เก็บใน Google Sheet จากชุดคำสั่งที่เขียนด้วย Google Apps Script มีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลคาบ (T) ของการแกว่งเมื่อใช้ความยาวของเชือก (L) ต่าง ๆ จากชุดทดลอง โดยคาบ คือ เวลาและจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเหล็ก หรือ $T = \text{จำนวนรอบ/เวลา}$ และ ข้อมูลความยาวเชือก (L)

2) สมการที่ใช้คำนวณค่า g ซึ่งเขียนเป็นชุดคำสั่งด้วย Google Apps Script จากสมการที่ (1) เมื่อจัดรูปสมการเพื่อหาค่า g จะได้สมการที่ (2)

$$g = \frac{4 L \pi^2}{T^2} \quad (2)$$

ถ้า นำข้อมูลจากชุดทดลอง (ความยาวเชือก L และคาบ T) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวเชือก (L) และคาบยกกำลังสอง (T^2) จะทำให้สมการที่ (2) เปลี่ยนรูปเป็นสมการที่ (3) โดยใช้ค่าความชัน (slope) ของกราฟมาใช้ในการคำนวณค่า g ตามสมการที่ (3)

$$g = \frac{4 \pi^2}{\text{slope}} \quad (3)$$

จากนั้นนำค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับค่า g จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งได้แก่

1. ค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติ
2. ค่า g ทางทฤษฎี (9.81 m/s^2)
3. ค่า g จากสถาบันมาตรวิทยา (9.7829 m/s^2) [10]
4. ค่า g จาก เว็บไซต์ SensorsONE (9.7832 m/s^2) [11]

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะของชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่ออกแบบสร้างในงานวิจัยนี้ ในส่วนของชุดลูกตุ้มนาฬิกาใช้ขาตั้งแบบสามขา ขนาดความสูง 0.16 m สำหรับใช้ยึดชุดลูกตุ้มนาฬิกาที่ทำจากลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็กที่ตรึงติดกับจุดหมุนด้วยเชือกยาวมวลเบาที่สามารถปรับขนาดความยาวได้ในช่วง 0.3–1.0 m และติดตั้งแผ่นบอกมุมที่ทำจากพลาสติกไว้บริเวณใกล้จุดหมุน

บนขาตั้งแบบสามขา (สำหรับกำหนดมุมของการแกว่งลูกตุ้ม) ในส่วนของชุดตรวจจับการเคลื่อนที่เพื่อจับเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาใช้อินฟราเรดเซนเซอร์เป็นตัวตรวจจับรอบการเคลื่อนที่ ส่วนนี้ประกอบด้วย LED ชนิดอินฟราเรดเป็นตัวส่งแสงไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ที่วางไว้ตรงกันข้ามซึ่งวางห่างกันประมาณ 2.0 cm (ห่างพอให้ลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่ผ่านได้) การทำงานส่วนนี้เริ่มจากฉายอินฟราเรดจาก LED ไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ สถานะนี้ศักย์ไฟฟ้าขาออกจะเท่ากับ 0 V และเมื่อลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่านไปตัดลำแสงจาก LED จะไม่มีแสงไปตกที่โฟโตทรานซิสเตอร์ สถานะนี้ ศักย์ไฟฟ้าขาออกของโฟโตทรานซิสเตอร์จะเท่ากับ 5 V การจับเวลาและจำนวนรอบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาในส่วนนี้จะใช้สัญญาณ (ศักย์ไฟฟ้า) จากโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มด้วยโปรแกรมที่บอร์ดอาดุยโน ก่อนส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ไปเก็บที่ Google Sheet แล้วคำนวณค่า g ซึ่งสามารถดูผลการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

3.2 การทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

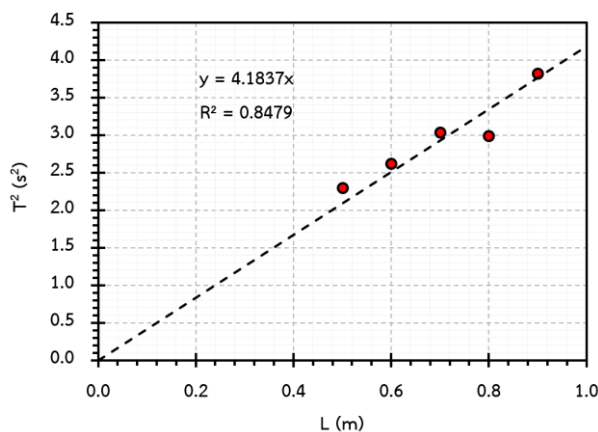
สำหรับการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดลองแบบปกติ (ใช้นาฬิกาจับเวลาหาคาบการแกว่ง) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยใช้เงื่อนไขในการทดลองเหมือนกันคือ กำหนดให้รอบของการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาเท่ากับ 20 รอบ และแปรค่าความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกา ตั้งแต่ 0.50 m ถึง 0.90 m โดยใช้มุมการแกว่งเท่ากับ 5° ในขั้นตอนการทดลองทุกครั้งหลังการแกว่งลูกตุ้มนาฬิกา ชุดทดลองจะส่งค่าเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มไปยัง Google Sheet ซึ่งจะคำนวณค่าคาบ (T) การแกว่งและค่าคาบยกกำลังสอง (T^2) แล้วนำไปพลอตกราฟเพื่อหาค่า g ต่อไป

จากการทดลองทั้ง 2 วิธี จะได้ค่าคาบการแกว่ง (T) การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและค่าคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T^2) สรุปดังตารางที่ 1 โดยพบว่าเมื่อความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกาเพิ่มขึ้นค่าคาบการแกว่งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยในส่วนของชุดทดลองปกติ จะมีค่าคาบการแกว่งในช่วง 1.51–1.95 s ส่วนของชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าคาบการแกว่งมีค่าในช่วง 1.40–1.90 s

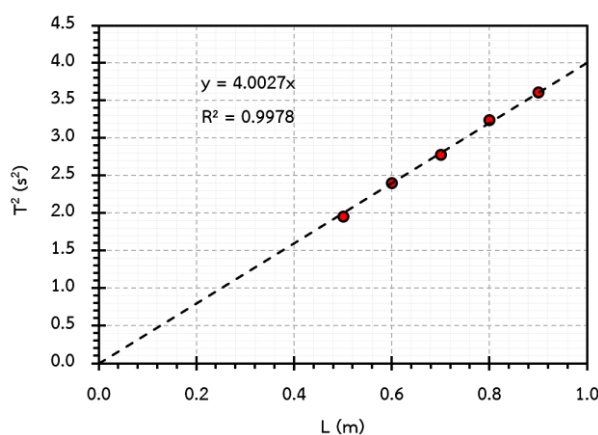
ตารางที่ 1 ค่าค่ากำลังสองจากชุดทดลองปกติและชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ความยาวเชือก (m)	ชุดทดลองปกติ		ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	
	T (s)	T ² (s ²)	T (s)	T ² (s ²)
0.50	1.51	2.29	1.40	1.96
0.60	1.62	2.62	1.55	2.40
0.70	1.74	3.03	1.67	2.78
0.80	1.73	2.99	1.80	3.24
0.90	1.95	3.82	1.90	3.61

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการแกว่งทั้ง 2 วิธีไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาบการแกว่ง (T) ของลูกตุ้มนาฬิกาและค่าคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T²) จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3 จากชุดทดลองปกติ ซึ่งได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับ 4.1837 และกราฟรูปที่ 4 จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับ 4.0027



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า T² และ ค่า L ของชุดทดลองปกติ มีความชันเท่ากับ 4.1837



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า T² และ ค่า L ของชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีความชันเท่ากับ 4.0027

เมื่อนำค่าความชันของกราฟจากในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แทนค่าในสมการที่ (2) พบว่าค่า g จากชุดทดลองปกติที่ได้มีค่าเท่ากับ 9.4267 m/s² ส่วนค่า g จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าเท่ากับ 9.8529 m/s²สรุปดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับความคลาดเคลื่อนของค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติและชุดทดลองที่สร้างขึ้นเมื่อนำไปเทียบกับ (1) ค่าทางทฤษฎี (9.8067 m/s²) (2) ค่าที่ได้จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (9.7829 m/s²) [10] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้พัฒนาขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2 ประกอบด้วย โรงเรียนนายเรือ [11] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร [12] มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี [13] มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา [14] และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา [15] โดยค่า g ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 9.3100 - 9.8420 m/s² (3) มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.111% - 5.831% ทั้งนี้ค่าที่ได้จากเว็บไซต์ SensorsONE [16] ซึ่งใช้ข้อมูลสถิติและความสูงของสถานที่ต้องการทราบค่า กรณีนี้ใช้พิกัดของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่ละติจูด 13.73 และความสูง 20 m จะได้ค่า g เท่ากับ 9.7829 m/s² โดยพบว่าค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.641%-3.875% ส่วนค่า g จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าคือมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.471%-0.716% ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำกว่าชุดทดลองปกติ

ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าค่า g จากชุดทดลองปกติจะมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี (3.875%) สูงกว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้น (0.471%) ส่วนหนึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการขั้นตอนการหาค่าคาบการแกว่ง (T) การสั่นของลูกตุ้มนาฬิกาเนื่องจากการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาด้วยระบบที่สร้างขึ้นจะให้ความแม่นยำมากกว่าการจับเวลาโดยผู้ทดลองด้วยนาฬิกาจับเวลา (พิจารณาได้จากค่า g ที่ทดลองได้) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ภาณุกร วัฒนจัน และ วีระ บุญผุด [8] ซึ่งพบว่าเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายของผู้ทดลองจะคลาดเคลื่อนสูงและแม่นยำน้อยกว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยจิรายุส มณีพรหม มรีนา มะหิ และนิคม ชูศิริ [17] ได้ให้ความเห็นว่าการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอาจได้ค่าที่ไม่เท่ากันเนื่องจากลูกตุ้มนาฬิกาไม่ได้แกว่งในระนาบเดิมเสมอแต่อาจมีการบิดตัว

ที่จุดหมุนทำให้เกิดการเสียพลังงานบางส่วนซึ่งส่งผลต่อการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่ได้

นอกจากนี้ค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างในงานวิจัยนี้ ยังช่วยสนับสนุนผลการศึกษาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ของพื้นที่ในบริเวณต่าง ๆ บนโลก เช่น Sinacore and Takai ใช้ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ในการตรวจวัดค่า g ในนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา และได้ค่า g เท่ากับ 9.774 m/s^2 [18] หรือ การศึกษาของ Khairurrijal และคณะ ซึ่งศึกษาการวัดค่า g ในประเทศอินโดนีเซียพบว่าค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ $9.77 \pm 0.03 \text{ m/s}^2$ [19] หรือ การศึกษาของ Yulkifli และคณะ ซึ่งได้ศึกษาและวัดค่า g ในประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้ทั้งแบบปกติ

และแบบดิจิทัล โดยค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ 9.762 m/s^2 และ 9.797 m/s^2 ตามลำดับและยังพบว่าค่า g ที่วัดได้จากวิธีปกติ และการวัดแบบดิจิทัลจะมีความถูกต้องแม่นยำที่ต่างกัน โดยการวัดแบบดิจิทัลจะมีความแม่นยำสูงและมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าวิธีปกติ [20] หรือ Pili and Violanda ได้วัดค่า g ในประเทศฟิลิปปินส์โดยใช้อัลตราโซนิคส์เซนเซอร์ต่อพ่วงกับบอร์ดอาดุยโนในการวัดค่าและพบว่าค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ $9.82 \pm 0.10 \text{ m/s}^2$ [21] ผล ครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า นอกจากเครื่องมือและวิธีวัดค่า g แล้ว พิกัดหรือตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ยังมีผลต่อค่า g อีกด้วย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับค่า g จากวิธีการและแหล่งต่าง ๆ

วิธีการหรือแหล่งข้อมูล	ค่า g (m/s^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%) เปรียบเทียบกับแหล่งต่าง ๆ	
		ชุดทดลองปกติ	ชุดทดลองที่สร้างขึ้น
1. ชุดทดลองปกติ	9.4267	-	-
2. ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	9.8529	-	-
3. ค่าทางทฤษฎี	9.8067	3.875	0.471
4. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	9.7829	3.641	0.716
5. เว็บไซต์ SensorsONE	9.7832	3.644	0.712
6. โรงเรียนนายเรือ	9.3100	1.253	5.831
7. มรท. พระนคร	9.6170	1.979	2.453
8. มรภ. ราไพพรรณี	9.7970	3.780	0.571
9. มรภ. นครราชสีมา	9.7600	3.415	0.952
10. มรภ. สอนสุนันทา	9.8420	4.220	0.111

4.สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำที่สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Wi-Fi ได้สำเร็จ โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานนี้ประกอบด้วย (1) ชุดลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (2) เซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ (3) ชุดสื่อสารไร้สาย ระบบ Wi-Fi (4) บอร์ดอาดุยโน และ (5) คอมพิวเตอร์ การใช้งานชุดทดลองเริ่มจากแกว่งลูกตุ้มนาฬิกาให้เคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์สำหรับการเคลื่อนที่ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบอร์ดอาดุยโน จากนั้นส่งข้อมูลที่วัดได้ขึ้นอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ที่ Google Sheet ผ่าน Wi-Fi จากนั้นคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) ด้วย

Google Apps Script โดยค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 9.8529 m/s^2 ต่างจากค่าทางทฤษฎี (9.8066 m/s^2) ประมาณ 0.471% อีกทั้งยังต่างจากค่าที่วัดโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.7829 m/s^2 ประมาณ 0.716% และต่างจากค่าจากเว็บไซต์ SensorsONE (9.7832 m/s^2) ประมาณ 0.712% เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้พัฒนาขึ้นในประเทศไทยในหลายพื้นที่พบว่าค่า g ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (9.8420 m/s^2) ที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครเช่นกันสามารถหาค่า g จากชุดที่สร้างขึ้นมากกว่า (9.8529 m/s^2) เล็กน้อยมีความคลาดเคลื่อนเพียง

0.111% ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ความถูกต้องและมีความแม่นยำสูง ค่า g ที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานนี้ยังมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อความเข้าใจ ซึ่งช่วยเสริมหรือเพิ่มแรงจูงใจให้แก่ผู้เรียนศึกษาในหัวข้อการเคลื่อนที่แบบการแกว่ง ทำให้เหมาะสำหรับใช้ในการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานทุกระดับ นอกจากนี้ยังอาจนำชุดทดลองนี้ไปใช้ตรวจวัดค่า g ของสถานที่หรือจุดตรวจวัดพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศอีกด้วย

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M. and Hopkins, J. "Are Virtual Labs as Effective as Hands on Labs for Undergraduate Physics?. A Comparative Study at Two Major Universities". *Journal of Science Education and Technology*. 23(6): 803–814, 2014.
- [2] Sari, U., Pektaş, H. M., Çelik, H. and Kirindi, T. "The Effects of Virtual and Computer Based Real Laboratory Applications on the Attitude Motivation and Graphic Skills of University Students". *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*. 27(1): 1–17, 2019.
- [3] Khambun, A. 2018. "The Development with Projectile Experimental Set by Automatic Angle". *Advanced Science*. 18(1): 81-96. (in Thai)
- [4] Chantarank, M. and Suebkumpet, J. Development of Experimental Equipment for Observation the Freefall Action. Thesis, Rajabhat Mahasarakham University, 2018. (in Thai)
- [5] Buapratthoom, S. "A Set of Gravitational Acceleration Measurement Using Simple Microcontroller, DIY Sensors and Smartphone". *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*. 10(2): 288-299, 2019. (in Thai)
- [6] David, R. S., Priscilla, W. L. and Ronald, K. T. "Real Time Physics: Active Learning Labs Transforming the Introductory Laboratory". *European Journal of Physics*. 28: S83–S94, 2007.
- [7] Amrani, D. and Paradis, P. "Use of Computer-Based Data Acquisition to Teach Physics Laboratories: Case Study-Simple Harmonic Motion". *Latin American Journal of Physics Education*. 4: 511–514, 2010.
- [8] Wattanaung, P. and Boonphud, V. "Design and Development of Time Period and Gravitational Acceleration Measurement Equipment for Simple Pendulum Oscillation Apparatus". *Journal of Science and Technology*. 5(1): 93 – 104, 2022. (in Thai)
- [9] Sangkaranee, K., and Katman, R. "The Operational Set of Simple Pendulum Equipment by Hall Sensor". In: *Proceedings of the 3th National Conference of Muban Chombueng Rajabhat University*, 1 March 2015. Ratchaburi, Thailand, 2015. (in Thai)
- [10] Pirunrom, T. and Woradech, N. 2018. "The Measurement of Gravity in Thailand and Its Importance". <https://www.nimt.or.th/main/?p=21307> (Accessed 14 February 2023). (in Thai)
- [11] Boonphud, V. "Development of an Apparatus for Determination of Gravitational Acceleration with Digital Timer with IoT AutoPlay Program on a Smartphone for Physical Laboratory, Royal Thai Naval Academy". 5(1). 158-169, 2022.
- [12] Sirathanakul, S. Development of Gravity Acceleration Measurement. Thesis, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 2018. (in Thai)

- [13] Nuangnun, C. The Determination of Centripetal Force and the Gravitational Force by Using Conical Pendulum. Thesis, Rambhai Barni Rajabhat University, 2017. (in Thai)
- [14] Meemangkang, S. Economical Experimental Kit for Measuring the Gravitational Acceleration by Free Fall. Thesis, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 2010. (in Thai)
- [15] Vorahan, N., Voongdee, S. and Sangwaranatee, N. "A Study Acceleration due to Gravity from Experiment Set on Simple Pendulum by PICMicrocontroller". *the 7th Academic Meeting National and International Conference of Suan Sunandha Rajaphat University*. 1(1). 2,966-2,977, 2016.
- [16] SensorsONE. 2021. Local gravity calculator, available at: <https://sensorsone.com/local-gravity-calculator/#height>. (Accessed 14 February 2023).
- [17] Muneeprom, J., Mani, M. and Chusiri, N. "Using Tracker Video Analysis Tool on Simple Pendulum Motion". In: Proceedings of the 29th National Conference of Thaksin University, 9-10 May 2019. Songkhla, Thailand, 2019. (in Thai)
- [18] Sinacore, J. and Takai, H. "Measuring g Using a Magnetic Pendulum and Telephone Pickup". *The Physics Teacher*. 48: 448-449, 2010.
- [19] Khairurrijal, K., Widiatmoko, E., Srigutomo, W. and Kurniasih, N. 2012. "Measurement of Gravitational acceleration using a computer microphone port". *Physics Education*. 47: 709-714.
- [20] Yulkifli, Y., Afandi, Z. and Yohandri, Y. "Development of Gravity Acceleration Measurement using Simple Harmonic Motion Pendulum Method Based on Digital Technology and Photogate Sensor". *Materials Science and Engineering*. 335: 1-8, 2018.
- [21] Pili, U. and Violanda, R. "Measurement of the Gravitational Acceleration using a Simple Pendulum Apparatus Ultrasonic Sensor and Arduino". *Physics Education*. 54: 1-5, 2019.

การสร้างและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

The Creation and Efficiency Evaluation of a Pump System Control Training Set via a Programmable Logic Controller

ธัญญพัฒน์ กิตติโพธิกลาง

Thunyaput Kittiphotiklang

คณะเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคระยอง สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออก ระยอง 21000

Electrical Technology Program, Faculty, Rayong Technical college, Institute of Vocational Education: Eastern Region,

Rayong, 21000

Received : 2023-10-04 Revised : 2023-11-12 Accepted : 2023-11-16

บทคัดย่อ

การสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มีจุดประสงค์ 1) เพื่อสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ 2) ประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (PLC) ของ Schneider TM241 และ HMI ของ Schneider GTO2310 เป็นตัวควบคุมและแสดงผลการทำงาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคระยอง จำนวน 22 คน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ผลการวิจัยพบว่า การหาคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.31) การหาประสิทธิภาพชุดฝึกคิดเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 83.75/82.27 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80 และการหาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.42$, S.D. = 0.17) แสดงว่าชุดฝึกที่ได้สร้างขึ้นนี้มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้

คำสำคัญ : ชุดฝึกปฏิบัติ, ควบคุมระบบปั๊ม, โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

Abstract

The purposes of this study were to 1) create a pump system control training set; 2) evaluate the efficiency of a pump system control training set; and 3) evaluate a satisfaction of learners towards a pump system control training set. The Programmable Logic Controller (PLC) TM241 and, Human Machine Interface (HMI) GTO2310 used in the study were Schneider brand as the controller and result display respectively. The sample group were 22 first-year Vocational Diploma students in the department of Electric, Rayong Technical College. The statistics used in the research were mean ($\bar{X}$) and standard deviation (S.D.). The results revealed that the overall score of a quality evaluation of a pump system control training set using a programmable logic controller by 5 experts were at a high level ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.31). Efficiency evaluation of the training set in percentage of the average score was 83.75/82.27, which is higher than the specified criteria at 80/80, and satisfaction evaluation of learners towards the pump system control practice set with a programmable logic

*ธัญญพัฒน์ กิตติโพธิกลาง

E-mail address: Thunyaput.k@technicrayong.ac.th

controller in overall were at a high level ($\bar{X}$ = 4.42, S.D. = 0.17). It indicated that the training set created had high quality and can be used for teaching and learning.

Keywords : Practice set, pump system control, programmable logic controller.

1. บทนำ

การจัดการเรียนการสอนด้านอาชีวศึกษา เป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นผลิตและพัฒนากำลังคนในด้านวิชาชีพระดับฝีมือ ระดับเทคนิคและระดับเทคโนโลยี เพื่อการประกอบอาชีพให้สามารถดำรงตนในสังคมและนำมาพัฒนาประเทศชาติ ซึ่งกำลังคนเหล่านี้ต้องมีความรู้ และความชำนาญในทักษะวิชาชีพต่าง ๆ ก้าวทันเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่หยุดยั้ง โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม [1] เพื่อรองรับการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น จึงมีการใช้โปรแกรมการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม แทนกำลังคนให้มากที่สุด เพื่อช่วยเพิ่มกำลังในการผลิต ลดต้นทุน ลดความเสี่ยง และประหยัดเวลา กระบวนการผลิตมีการควบคุมหลายกระบวนการก่อนที่จะได้ผลผลิตออกมาแต่ละส่วนต้องอาศัยกระบวนการควบคุมเกี่ยวกับแรงดัน อุณหภูมิ ระดับ และอัตราการไหล เป็นต้น ซึ่งการควบคุมทุกกระบวนการล้วนมีความสำคัญในด้านการผลิต บริษัทของผู้ผลิตไม่ยอมให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตได้ ในส่วนผู้ที่ปฏิบัติงานในด้านสายงานการผลิตจึงต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และความสามารถพื้นฐานในการใช้โปรแกรมการควบคุมเป็นอย่างดี

สถาบันการอาชีวศึกษาจึงเป็นแหล่งการเรียนรู้ที่มีบทบาทสูงในการตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงาน ของภาคอุตสาหกรรมทั้งภายในและภายนอกประเทศ กระบวนการจัดการเรียนการสอน จำเป็นต้องมีการวางแผนการสอน การใช้สื่อประกอบการสอน เพื่อพัฒนาคุณภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน การจัดการกระบวนการเรียนรู้โดยการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการเป็นวิธีหนึ่งของการจัดการกระบวนการเรียนรู้ ที่สามารถทำให้ผู้เรียนได้ศึกษาและลงมือปฏิบัติบนแผงทดลอง ก่อนการนำความรู้ไปปฏิบัติงานจริง โดยมีชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เป็นสื่อการสอนนับว่าเป็นนวัตกรรมทางการสอนอย่างหนึ่ง ซึ่ง

ช่วยให้ผู้เรียนได้รับความรู้และทักษะอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้สอนต้องเปลี่ยนเป็นผู้ออกแบบการเรียนรู้และอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้จากการลงมือทำ หรือการฝึกปฏิบัติแล้วการเรียนรู้ก็จะเกิดจากภายในใจและสมองของตนเอง [2] การจัดการเรียนการสอนที่ทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติโดยผู้สอนเป็นผู้จัดการการเรียนรู้และอำนวยความสะดวก นั่นคือการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน เพื่อสอดคล้องกับเศรษฐกิจดิจิทัลจึงจำเป็นต้องบูรณาการให้เข้ากับทักษะในศตวรรษที่ 21

ด้วยการจัดการเรียนการสอน รายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม ในสาขาวิชาไฟฟ้า เป็นรายวิชาที่อยู่ในหมวดวิชาชีพ ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้มีความรู้ ทักษะ กระบวนการคิดวิเคราะห์งาน ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม จึงต้องให้ผู้เรียนมีความสามารถในการนำความรู้มาประยุกต์ใช้ ในระบบงานการควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติงานจริงเน้นกระบวนการคิดและการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ส่งผลทำให้เกิดเจตคติที่ดีในการเรียน เป็นแนวทางในการพัฒนาการคิดของผู้เรียน ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของระบบควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม [3] โดยมีโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ที่นำมาแทนการควบคุมโดยรีเลย์แบบเก่า ทำให้สะดวกขึ้นจึงได้พัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะ ในเรื่องการกำหนดค่าของอุปกรณ์อินพุต เอาต์พุต การเชื่อมต่ออุปกรณ์บนแผงฝึกปฏิบัติเข้าด้วยกัน การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และการเขียนหน้าจอสถูกรีนแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ เมื่อผู้เรียนได้ผ่านกระบวนการเรียนรู้จากชุดฝึกดังกล่าวแล้ว หวังว่าจะเป็นแนวทางสู่การปฏิบัติงานจริงในอนาคตของตลาดแรงงานต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

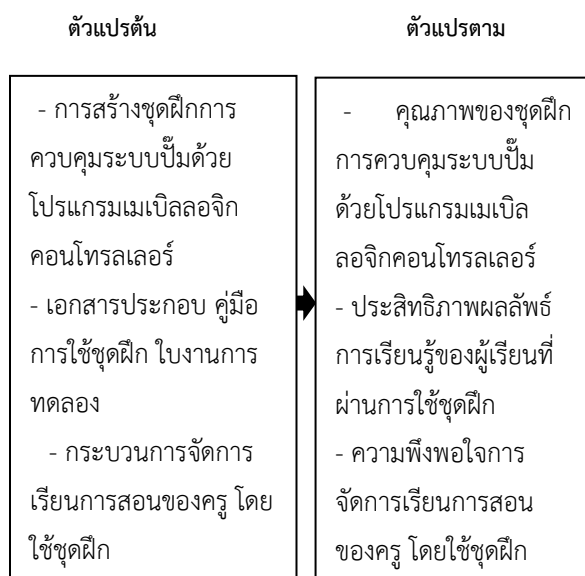
2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

3.สมมติฐานการวิจัย

3.1 ประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

3.2 ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ไม่ต่ำกว่าระดับมาก

4.กรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากรูปที่ 1 กระบวนการจัดการเรียนการสอนของครูผู้สอนที่ใช้ชุดฝึกประกอบการเรียนการสอนกับผู้เรียน ส่งเสริมให้เกิดผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

5.วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อสร้างและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการ และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง

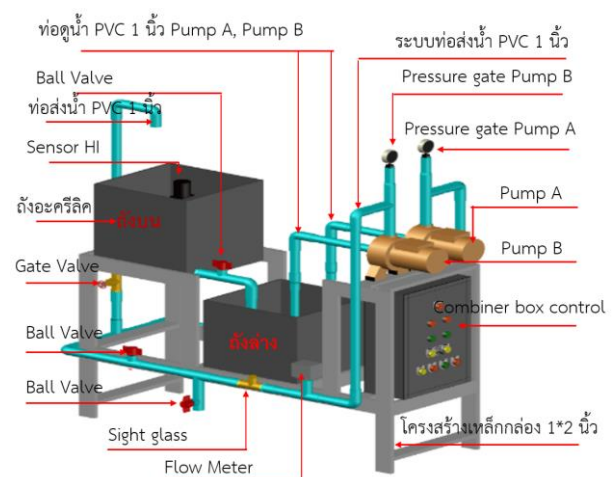
ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 78 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ได้จากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 22 คน

5.2 การสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

5.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อหาของรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ วัสดุอุปกรณ์ที่ต้องนำมาใช้สร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหา รวมถึงรูปแบบของชุดฝึกปฏิบัติในรูปแบบต่าง ๆ และสร้างใบงานสำหรับการทดลองปฏิบัติงาน

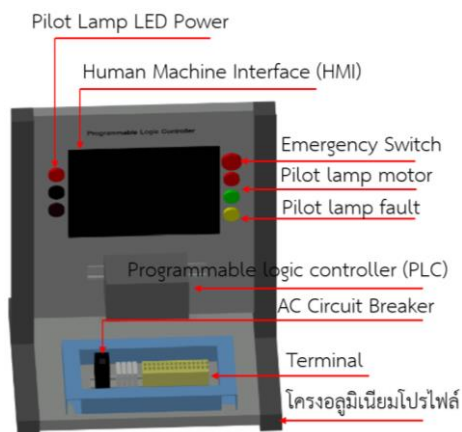
5.2.2 ศึกษาข้อมูลและออกแบบชุดฝึกปฏิบัติในรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสม พร้อมสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ และเอกสารที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยได้ออกแบบได้คำนึงถึงเรื่องการฝึกทักษะในการต่อวงจรอุปกรณ์ควบคุมระบบปั๊มน้ำร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 3



รูปที่ 2 แบบร่างโครงสร้างของชุดฝึกปฏิบัติการ

จากรูปที่ 2 แบบร่างโครงสร้างของชุดฝึกที่มีขนาด (กว้าง*ยาว*สูง) 50*150*130 เซนติเมตร และส่วนประกอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดฝึกปฏิบัติการ



รูปที่ 3 แบบร่างระบบควบคุมชุดฝึกปฏิบัติการ

จากรูปที่ 3 แบบร่างระบบควบคุมของชุดฝึกปฏิบัติการ ที่มีขนาด (กว้าง*ยาว*สูง) 30*40*60 เซนติเมตร และ ส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบควบคุม

5.2.3 ดำเนินการสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อน ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยมีการจัดเตรียม วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดฝึกปฏิบัติการตามแบบที่ได้ ออกแบบไว้ พร้อมจัดทำคู่มือการใช้งานและใบงานทดลองการ ปฏิบัติงาน

5.2.4 ดำเนินการทดลองการใช้งานชุดฝึกปฏิบัติการ ควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์กับ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง รวมถึงการ ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของชุดฝึกปฏิบัติการ

5.2.5 ดำเนินการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการโดย ผู้เชี่ยวชาญ และประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการโดย นำไปใช้กับนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาระบบควบคุม ในงานอุตสาหกรรม

5.3 การสร้างใบงานการทดลอง

มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

5.3.1 ศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวกับคำอธิบายรายวิชาและ จุดประสงค์รายวิชา

5.3.2 ออกแบบใบงานการทดลองโดยวิเคราะห์เนื้อหาวิชา ภาคปฏิบัติให้ครอบคลุมชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วย โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

5.3.3 สร้างต้นแบบใบงานการทดลอง จำนวน 8 ใบงาน ที่ใช้ในการฝึกปฏิบัติ

5.4 การประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติการและใบงานการทดลอง

มีขั้นตอนการประเมินดังนี้

5.4.1 ทำหนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนัด วัน เวลา สถานที่ ในการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ

5.4.2 ผู้วิจัยชี้แจงรายละเอียดของการประเมินให้ ผู้เชี่ยวชาญทราบและแจกเอกสารแบบประเมิน

5.4.3 ผู้วิจัยทำการสาธิตการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติการ ควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ตามใบงานทดลองให้ผู้เชี่ยวชาญดูการทำงาน

5.5 การประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติและใบงานการทดลอง

มีขั้นตอนดังนี้

5.5.1 ประชุมนิเทศนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง และขอความร่วมมือ ในการทำวิจัยครั้งนี้

5.5.2 อธิบายชี้แจงให้กับนักศึกษาเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา การปฏิบัติงานตามใบงานทดลอง

5.5.3 สอนการปฏิบัติงานตามใบงานทดลองครั้งละ 2 ใบงาน เวลา 5 ชั่วโมง พร้อมทั้งสาธิตการใช้งานชุดฝึกปฏิบัติการ ควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ แล้วให้นักศึกษาปฏิบัติตามใบงานทดลองจนครบทั้ง 8 ใบงาน ตามแผนการเรียนรู้ที่กำหนดไว้

5.5.4 เก็บข้อมูลการวิจัยโดยให้นักศึกษาปฏิบัติตามใบงานทดลองระหว่างเรียนครั้งละ 2 ใบงาน

5.5.5 ให้นักศึกษาปฏิบัติใบงานทดลอง โดยให้ใช้อุปกรณ์ต่อ ร่วมระหว่าง PLC และ HMI เข้ากับชุดฝึกปฏิบัติการควบคุม ระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ตามใบงานทดลอง

5.5.6 นำผลคะแนนที่ได้จากใบงานทดลองมาวิเคราะห์ผล ตามหลักการทางสถิติ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึก ปฏิบัติ ควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิก คอนโทรลเลอร์

5.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

มีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลมีดังต่อไปนี้

5.6.1 แจกแบบสอบถามความคิดเห็นที่มีต่อชุดฝึก ปฏิบัติการควบคุมระบบป้อนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิก

คอนโทรลเลอร์ ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ได้ตอบแบบสอบถามความคิดเห็น เพื่อประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์

5.6.2 แจกแบบสอบถามความคิดเห็นที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ให้ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง จำนวน 22 คน ได้ตอบแบบสอบถามความคิดเห็น เพื่อหาความพึงพอใจของผู้ใช้

5.6.3 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามทั้ง 2 ชุด เพื่อหาคุณภาพ และความพึงพอใจที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

5.7.1 วิเคราะห์หาคุณภาพของชุดฝึกการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

สถิติที่ใช้วิเคราะห์หาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ การวิเคราะห์ข้อมูลได้นำผลจากการแสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) [4]

ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจ

$\sum x$ แทน คะแนนรวมของข้อคำถามทั้งหมด

N แทน จำนวนข้อมูล

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยใช้สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแทนผลรวมของกำลังสองของคะแนน

$\sum x$ แทน ผลรวมของกำลังสองของคะแนน

$\sum x^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

n แทน จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับการให้ความหมายของค่าที่วัดได้ ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการให้ความหมายโดยได้จากแนวคิดของเบสท์ (Best 1986) การให้ความหมายโดยการให้ค่าเฉลี่ยเป็นรายด้านและรายข้อ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

5.7.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกโดยใช้เกณฑ์ E_1/E_2 และผู้วิจัยใช้แนวคิดของ [5] เป็นวิธีการที่สามารถชี้วัดประสิทธิภาพของชุดฝึกในการจัดการเรียนการสอนในภาพรวมเกณฑ์ที่ใช้คือ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80 การหาค่า E_1/E_2 มีวิธีการคำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$E_1 = \left[\frac{\sum X/N}{A} \right] \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการที่จัดไว้ใน

ชุดฝึก คิดเป็นร้อยละจากการทำแบบทดสอบใบงานระหว่างเรียน

$\sum X$ คือ คะแนนจากการทำแบบทดสอบแต่ละใบงานทดลองระหว่างเรียน

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบใบงานทดลอง

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

$$E_2 = \left[\frac{\sum F/N}{B} \right] \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการทำใบงานรวมหลังการทดลอง

$\sum F$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำใบงานรวมหลังการทดลอง

B คือ คะแนนเต็มของใบงานรวมหลังการทดลอง

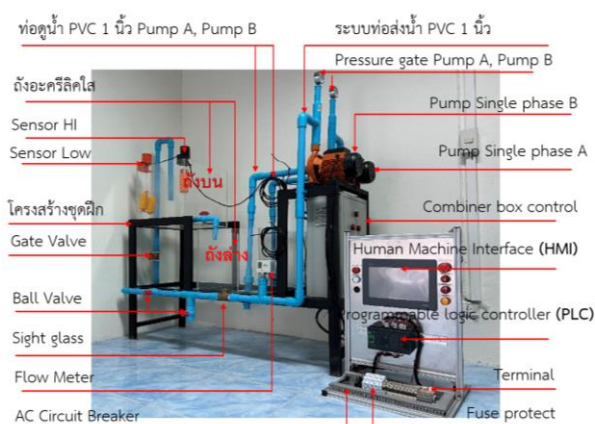
N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

5.7.3 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง ที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

6. ผลการทดลองและอภิปราย

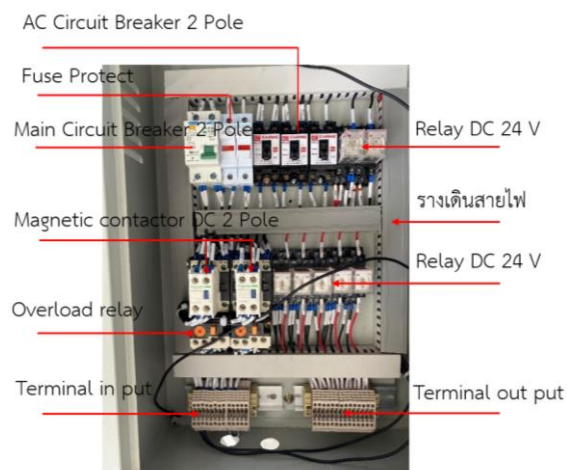
6.1 ผลการสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ที่สร้างขึ้นเป็นชุดฝึกที่ใช้ประกอบการเรียนการสอน ผู้เรียนต้องศึกษาส่วนประกอบและการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของชุดฝึกแล้วนำไปงานทดลองมาออกแบบวงจรควบคุมในโปรแกรม SoMachine Basic ตามเงื่อนไขของใบงานการทดลอง เพื่อจำลองการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อน เมื่อออกแบบวงจรได้ตามใบงานทดลองแล้ว จึงทำการต่อวงจรของอุปกรณ์อินพุตและวงจรเอาต์พุตตามใบงาน และเขียนโปรแกรม SoMachine Basic ลงใน PLC Schneider ควบคุมระบบต่าง ๆ ตามใบงานทดลอง เช่น วงจรควบคุมการทำงานปั๊มน้ำ 1 ตัว พร้อมหลอดไฟแสดงการทำงานปั๊ม วงจรควบคุมการทำงานปั๊มน้ำ 2 ตัว พร้อมหลอดไฟแสดงการทำงานปั๊ม และแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมบนจอทัสกรีน (HMI) Schneider ด้วยโปรแกรม Vijeo และอุปกรณ์ต่อรวมของชุดฝึกปฏิบัติการดังกล่าว



รูปที่ 4 ชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 4 ชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า 1 เฟส 220 โวลต์ 2 ตัว ที่สร้างเสร็จแล้ว



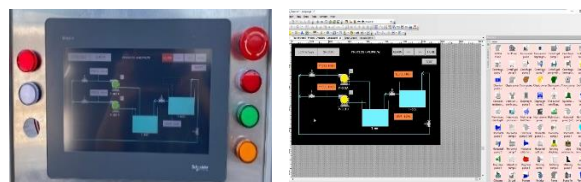
รูปที่ 5 ตู้อุปกรณ์ป้องกัน

จากรูปที่ 5 ตู้ใส่อุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์เชื่อมต่ออินพุต เอาต์พุต พร้อมด้วยจุดต่อสายร่วมกับชุดฝึก



รูปที่ 6 การต่อสายระบบควบคุม

จากรูปที่ 6 การต่อสายไฟเข้าอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต เข้าจุดต่อสายของ PLC Schneider



รูปที่ 7 การเขียนหน้าจอทัสกรีน HMI

จากรูปที่ 7 การเขียนหน้าจอทัสกรีน HMI ด้วยโปรแกรม Vijeo ตามที่กำหนดไว้ เพื่อแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำทั้ง 2 ตัว

6.2 ผลการหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติ ด้านการออกแบบ จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ความแข็งแรงของชุดฝึก	4.40	0.89	มาก
2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดฝึกมีความเหมาะสม	4.20	0.45	มาก
3. การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์มีความเหมาะสม	4.40	0.55	มาก
4. ขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานสอน	4.80	0.45	มากที่สุด
5. ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.00	0.71	มาก
รวมค่าเฉลี่ย	4.36	0.33	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นต่อคุณภาพด้านด้านการออกแบบ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.36$, S.D. = 0.33) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีคะแนนสูงสุด คือ ข้อ 4. ขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานสอน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$, S.D. = 0.45) ส่วนข้อที่มีคะแนนต่ำสุด คือ ข้อ 5. ความปลอดภัยในการใช้งาน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.71)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติ ด้านการใช้งาน จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ความสะดวกในการจัดเตรียมอุปกรณ์การสอน	4.60	0.55	มากที่สุด
2. ความสะดวกในการปฏิบัติต่อวงจร	3.80	0.45	มาก
3. ความสะดวกในการบำรุงรักษาชุดฝึก	4.40	0.55	มาก
4. ชุดฝึกก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน	4.60	0.55	มากที่สุด
5. ประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการสอน	4.80	0.45	มากที่สุด
รวมค่าเฉลี่ย	4.44	0.26	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นต่อคุณภาพด้านด้านการใช้งาน ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.26) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีคะแนนสูงสุด คือ ข้อ 5. ประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการสอน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$, S.D. = 0.45) ส่วนข้อที่มีคะแนนต่ำสุด คือ ข้อ 2. ความสะดวกในการปฏิบัติต่อวงจร อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.80$, S.D. = 0.45)

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพชุดฝึกปฏิบัติด้านคู่มือและใบงานการทดลอง จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. คู่มือการใช้งานอธิบายรายละเอียดได้ชัดเจน	4.60	0.55	มากที่สุด
2. รูปแบบและข้อความใบงานการทดลองอ่านเข้าใจง่าย	4.80	0.45	มากที่สุด
3. จำนวนใบงานการทดลองครอบคลุมเนื้อหาชุดฝึก	4.40	0.55	มาก
4. ความเหมาะสมของเนื้อหากับระดับผู้เรียน	4.00	0.71	มาก
5. รูปภาพและสัญลักษณ์ในใบงานการทดลองมีความชัดเจน	4.20	0.84	มาก
รวมค่าเฉลี่ย	4.40	0.35	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นต่อคุณภาพด้านด้านคู่มือและใบงานการทดลอง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.35) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีคะแนนสูงสุด คือ ข้อ 2. รูปแบบและข้อความใบงานการทดลองอ่านเข้าใจง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$, S.D. = 0.45) ส่วนข้อที่มีคะแนนต่ำสุด คือ ข้อ 4. ความเหมาะสมของเนื้อหากับระดับผู้เรียน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.71)

6.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

รายการประเมิน	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	คิดเป็นร้อยละ
1. คะแนนการปฏิบัติในงานระหว่างเรียน (E_1)	22	80	67.00	83.75
2. คะแนนการปฏิบัติในงานรวมหลังเรียน (E_2)	22	40	32.91	82.27

จากตารางที่ 4 ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มีคะแนนปฏิบัติใบงานทดลองระหว่างเรียน (E_1) และคะแนนการปฏิบัติใบงานรวมหลังเรียน (E_2) คิดเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ $83.75/82.27$ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80

6.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ชุดฝึกจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม	4.05	0.72	มาก
2. ชุดฝึกมีขนาด รูปร่างที่เหมาะสมต่อการฝึกปฏิบัติ	4.64	0.58	มากที่สุด
3. ชุดฝึกเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต ร่วมกับ PLC ได้จริง	4.27	0.63	มาก
4. ชุดฝึกมีความคงทนแข็งแรงขณะใช้งาน	4.18	0.50	มาก
5. ชุดฝึกก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน	4.73	0.46	มากที่สุด
6. ชุดฝึกมีความปลอดภัยต่อการใช้งานในขณะการฝึกปฏิบัติ	4.14	0.71	มาก
7. ชุดฝึกทำให้สะดวกในการจัดเตรียมอุปกรณ์ตามใบงาน	4.55	0.60	มากที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก (ต่อ)

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
8. ชุดฝึกทำให้ง่ายต่อการฝึกปฏิบัติต่ออุปกรณ์ตามใบงาน	4.64	0.49	มากที่สุด
9. ชุดฝึกมีเนื้อหาที่เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.41	0.50	มาก
10. ชุดฝึกมีใบงานการทดลองเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ฝึกปฏิบัติ	4.59	0.59	มากที่สุด
รวมค่าเฉลี่ย	4.42	0.17	มาก

จากตารางที่ 5 พบว่านักศึกษาที่ใช้ชุดฝึกปฏิบัติมีความคิดเห็นพึงพอใจต่อชุดฝึก ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.42$, $S.D. = 0.17$) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีคะแนนสูงสุด คือข้อ 5. ชุดฝึกก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ของผู้เรียนอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.73$, $S.D. = 0.46$) ส่วนข้อที่มีคะแนนต่ำสุด คือ ข้อ 1. ชุดฝึกมีการวางตำแหน่งอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.05$, $S.D. = 0.72$)

7. สรุปผลการทดลอง

การประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ซึ่งแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการออกแบบชุดฝึก ด้านการใช้งาน และด้านคู่มือและใบงานการทดลอง ผลวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ สรุปได้ว่าชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ มีความเหมาะสมในภาพรวม อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 ($\bar{X} = 4.40$, $S.D. = 0.31$) แสดงว่าชุดฝึกที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ทั้งนี้เพราะว่าชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ที่สร้างขึ้นเป็นชุดฝึกที่มีการจัดสร้างอย่างเป็นระบบตามแนวทางการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอนและได้ผ่านการตรวจสอบและคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 22 คน สรุปได้ว่าผลจากการเรียนรู้ของการทดสอบใบงานการทดลองระหว่างเรียนและการวัดทดสอบใบงานการทดลองรวม หลังจากทดลองครบ 8 ใบงานแล้ว มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 83.75/82.27 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80 ซึ่งสอดคล้องกับ [7] ที่กล่าวไว้ตามเกณฑ์การยอมรับประสิทธิภาพของชุดการสอนจัดอยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และยอมรับว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพสูง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพจากคะแนนแบบทดสอบหลังหน่วยการเรียนรู้ จากผลการงาน การวิจัยที่เกี่ยวข้องมีความสอดคล้องกับ [8] นักศึกษามีความก้าวหน้าทางการเรียนรู้เพิ่มขึ้น และตรงกับ [9] การจัดกระบวนการเรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับการนำไปใช้ในชีวิตจริงสามารถนำไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้ได้ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติจริง ได้พัฒนากระบวนการคิด วิเคราะห์ ศึกษาค้นคว้า การทดลอง และการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองตามความถนัด ความสนใจด้วยกระบวนการ และแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย

การประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยภาพรวมผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนการสอนในระดับมาก ($\bar{X} = 4.42$, $S.D. = 0.17$) เนื่องชุดฝึกที่สร้างขึ้นนั้นผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติงานจริง จึงก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ และชุดฝึกมีขนาด รูปร่างที่เหมาะสมต่อการฝึกปฏิบัติ พร้อมทั้งทำให้สะดวกต่อการปฏิบัติการต่อวงจรระหว่างอุปกรณ์อินพุต เอาต์พุต ร่วมกับ PLC และการแสดงผลผ่าน HMI ได้ง่าย จึงได้ส่งผลให้ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ อยู่ในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับ [10] ความพึงพอใจของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$, $S.D. = 0.23$) โดยพบว่าชุดฝึกพื้นฐานวงจรไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดที่อยากลงมือปฏิบัติ มีการเรียงลำดับเนื้อหาได้อย่างเหมาะสมและเข้าใจง่าย ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น และการลงมือปฏิบัติงานด้วยตนเองทำให้เกิดประสบการณ์ตรงจากการเรียนรู้

8. ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินการสร้างชุดฝึกปฏิบัติการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงที่เรียนตามหลักสูตรสาขาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคระยอง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1.รูปแบบการเขียนโปรแกรมควรจัดให้มีหลากหลายยี่ห้อให้กับนักศึกษาด้วย เพื่อที่จะช่วยเพิ่มทักษะการใช้งานโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ที่หลากหลายมากขึ้น

2.ใบงานการทดลองควรเพิ่มคำถาม หรือเงื่อนไขในการทำงานให้มากขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนสามารถฝึกทักษะกระบวนการคิดให้เพิ่มมากขึ้น

3.การวิจัยเรื่องการสร้างชุดฝึกการควบคุมระบบปั๊มด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดสร้างชุดฝึกปฏิบัติการในรายวิชาอื่น ๆ ที่มีลักษณะของกิจกรรมการเรียนการสอนคล้ายคลึงกันแล้วทำการวิจัยเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนการสอนต่อไป

4.การวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยจะเพิ่มอุปกรณ์ต่อร่วมกับ PLC และ HMI เพื่อศึกษาการทำงานของควบคุมตัวแปรในการควบคุมในงานอุตสาหกรรม ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความชื้น การควบคุมอัตราการไหล

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bureau of Vocational Education and Professional Standards, *Higher Vocational Certificate Program, B.E.2563*, Bangkok: Office of the Vocational Education Commission, 2020.
- [2] W. Panich, *Ways to create learning for students in the 21st century*, Bangkok: Sodsrisaritwong Foundation, 2012.
- [3] N. Bu-nga, W. Bunperm, and S. Deesom, "Automatic material sorting machine in a conveyor belt. Controlled by PLC system: Automatic Material Separator in Conveyor by PLC Controlled System", *Journal of Farm Engineering and Automated Control Technology*, 7(1), pp 49-59, June 2021.

- [4] P. Leekitwattana, *Educational Research Methods*, 11th ed., Bangkok: Min Service Supply, 2016.
- [5] B. Srisa-at, *Basic Research*, 10th ed., Bangkok: Suweeriyasan, 2017.
- [6] S. Kwanmuang, “Electrically controlled pneumatic training set and programmable logic controller, Rajamangala University of Technology Lanna Tak”, *Industrial Education Journal*, 20(1), pp. 53-63, December 2021.
- [7] S. Kongsinthu and N. Suksong, “Creating and evaluating the efficiency of a Mable Logic program training set. Controller”, *Research and Innovation Journal*, 2(1), pp. 46-59, December 2019.
- [8] P. Sawadiphan and N. Dechakamphu, “Development of automotive air conditioning training kits”, *Teachers Council of Thailand Journal*, 2(1), pp. 84-95, April 2020.
- [9] K. Phothi Yen, “Active Learning: Learning management that meets the needs of education in the 21st century”, *Silpakorn University Education Journal*, 19(1), pp. 11-28, June 2021.
- [10] W. Wongsuriya and P. Chanhom, “Development of a basic training kit for electrical circuits of split air conditioners in the course on refrigeration and air conditioning”, *Journal of Industrial Education*, 19(1), pp. 68-74, June 2020.

การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษาบริษัทผลิตกล่องกระดาษ
The Overall Efficiency Verification of Machines : A Case Study of a Cardboard Box
Manufacturing Company

มนินทรา ไจคำปัน¹, ปรีชา ขานหุย², สุธิพงษ์ ต๊ะพันธ์³, สุเมธ ปะละใจ⁴ และ พงศกร สุรินทร์^{5*}
Maninthra Jaikampun¹, Preecha Khanyu², Suthipong Taphan³, Sumet Palajai⁴ and PonsaKorn Surin^{5*}

^{1,2,3,4,5*}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สังกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

^{1,2,3,4,5*} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Lampang 52000

Received : 2023-11-08 Revised : 2023-11-21 Accepted : 2023-11-22

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร วิธีการรวบรวมข้อมูลค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) พบว่า เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ มีค่าเฉลี่ย 27.64% เครื่องสับร่อนกระดาษมีค่าเฉลี่ย 36.96% และเครื่องไคคัท มีค่าเฉลี่ย 20.83% ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลาจึงสรุปแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ คือ จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและอบรมให้พนักงานเข้าใจถึงขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ เครื่องสับร่อนกระดาษ คือ จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและอบรมให้พนักงานเข้าใจถึงขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อลดเวลาในการตั้งระยะห่างของร่อนสับ และเครื่องไคคัท คือจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและอบรมให้พนักงานเข้าใจถึงขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร, การวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลา, การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

The research was aimed at finding ways to improve the overall efficiency of the machine: the total machine performance data collection (OEE)

*พงศกร สุรินทร์

E-mail address : p.surin1980@yahoo.co.th

method. It was found that paper box printers had an average of 27.64%, paper cutting machines averaged 36.96%, and dictators averaged 20.83%. The analysis of fishbone diagram summarizes the overall efficiency of a paper box printer is designed to guide the operating processes and train employees to understand the operational processes, aiming to reduce the time needed to change the mold. The paper cutting machine is designed to conduct operations and train employees to understand operations, aiming to reduce the time spent setting the gap between cutting and cutting. As for the dictatorship the approach involves setting up operating processes and training employees to understand operational processes to reduce the time they need to replace the machinery.

Keywords : Overall Equipment Effectiveness, Fishbone Diagram, Increase Productivity

1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

OEE หรือ Overall Equipment Effectiveness คือ การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร โดยที่ OEE จะเป็นตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพ หรือ ความสามารถในการผลิตของโรงงานหรือหน่วยการผลิตของโรงงาน ดังนั้นหากโรงงานหรือหน่วยการผลิตของโรงงานมีค่า OEE 100% จะเป็นการ

บ่งบอกว่า โรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีมากและไม่มีข้อผิดพลาด นอกจากนั้นยังสื่อไปถึงการมีความพร้อมใช้งาน มีความเร็วในการผลิต และคุณภาพของสินค้าที่ดี สำหรับความสำคัญ OEE จากบทนำของงานวิจัยกล่าวว่า เป็นเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเพื่อควบคุมและตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์การผลิตและเป็นตัวบ่งชี้ของกระบวนการและการปรับปรุงประสิทธิภาพ [1] นอกจากนั้นจากบทนำของงานวิจัยกล่าวว่าเครื่องจักรเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญในการสนับสนุนกระบวนการผลิตในโรงงาน ความสูญเสียจากการหยุดของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันอาจทำให้กระบวนการผลิตเสียหายได้ [2]

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษาบริษัทผลิตกล่องกระดาษ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การหยุดชะงักของเครื่องจักร การลดความสูญเสียจากการปรับตั้งด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็วร่วมกับหลักการ ECRS ทำให้อัตราการเดินเครื่องเพิ่มขึ้น [3] การนำระบบการบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance) ซึ่งประกอบไปด้วย บำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เข้ามาแก้ไขปรับปรุงระบบการซ่อมบำรุงเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน [4] การนำทฤษฎีเกี่ยวกับการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจัดทำการบำรุงรักษาด้วยตนเอง จัดทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจัดทำแผนการรับมือการบำรุงรักษาแบบเสียแล้วซ่อมเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต [5] การกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและดำเนินการตามแผนที่กำหนด เพื่อลดความสูญเสียจากเหตุขัดข้องและประเมินประสิทธิภาพการนำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ [6] และวางแผนแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร ประกอบด้วย การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง การบำรุงรักษาด้วยตนเอง และการฝึกอบรม [7]

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตกล่องกระดาษตามคำสั่งซื้อของลูกค้ากลุ่มอุตสาหกรรมส่งออก โดยที่ผ่านมายังไม่มีการวางแผนตรวจสอบสถานะเครื่องจักรและไม่มีการวัดผลความสูญเสียอันเนื่องมาจากการหยุดของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ซึ่งการหยุดของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตนี้มีผลกับการ

ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ความสูญเสียดังกล่าวนี้ส่งผลไปถึงต้นทุนในการผลิตตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะดำเนินการเพื่อวัดค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ และเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรให้กับบริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตกล่องกระดาษได้นำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

3.ขอบเขตของการวิจัย

3.1สถานที่ในการวิจัยบริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตกล่องกระดาษ เลขที่ 328 หมู่ที่ 1 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 52000

3.2จัดเก็บข้อมูลของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ จำนวน 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ เครื่องสับรองกระดาษ เครื่องไคคัท

3.3ช่วงระยะเวลาในการจัดเก็บข้อมูลของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ คือ เดือนมีนาคมถึงเมษายน 2566

3.4ใช้แผนภูมิพาเรโตสำหรับเรียงลำดับของปัญหาจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5ใช้การวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลาเพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

3.6ใช้หลักการ ECRC สำหรับมากำหนดเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

3.7ค่า OEE ใช้เทียบกับเกณฑ์ของ Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

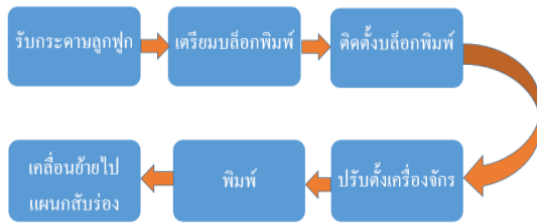
4.วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1การศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ โดยการเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานเพื่อให้สามารถเห็นความเชื่อมโยงในขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่อง ดังนี้

4.1.1เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ

เมื่อได้รับกระดาษลูกฟูกมาพร้อมกับข้อมูลการผลิตแล้วพนักงานจะต้องเตรียมบล็อกให้ตรงกับข้อมูลของลูกค้า

จากนั้นจึงทำการติดตั้งบล็อกพิมพ์ ทำการปรับตั้งเครื่องจักร ทำการพิมพ์ และเมื่อพิมพ์เสร็จก็จะนำส่งไปแผนกสับรองต่อไป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ



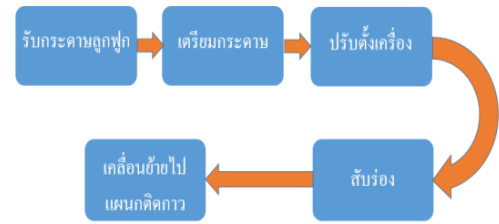
รูปที่ 2 เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ



รูปที่ 3 งานที่ได้จากเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ

4.2.2 เครื่องสับรองกระดาษ

เมื่อได้รับกล่องกระดาษลูกฟูกที่พิมพ์มาแล้วพนักงานจะทำการเตรียมกล่องกระดาษและทำการปรับตั้งเครื่องสับรองกระดาษให้ตรงกับข้อมูลของลูกค้า จากนั้นจึงทำการสับรองกระดาษ และเมื่อสับรองกระดาษเสร็จก็จะนำส่งไปแผนกไดคัทต่อไป



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องสับรองกระดาษ



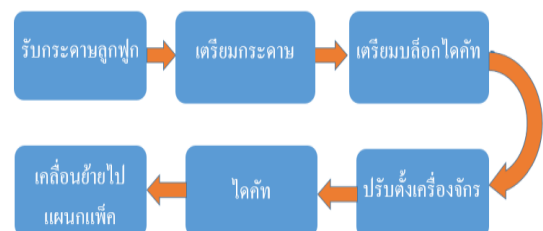
รูปที่ 5 เครื่องสับรองกระดาษ



รูปที่ 6 งานที่ได้จากเครื่องสับรองกระดาษ

4.2.3 เครื่องไดคัท

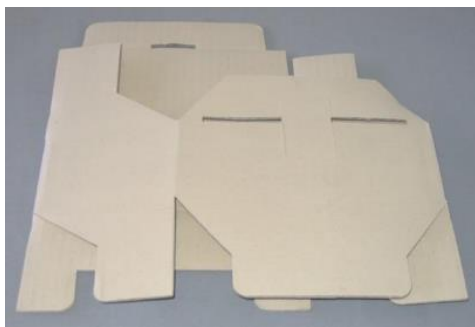
เมื่อได้รับกล่องกระดาษลูกฟูกที่สับรองกระดาษมาแล้วพนักงานจะทำการเตรียมกล่องกระดาษ เตรียมบล็อกไดคัท ทำการปรับตั้งเครื่องไดคัทให้ตรงกับข้อมูลของลูกค้า จากนั้นจึงทำการไดคัท และเมื่อไดคัทเสร็จก็จะนำส่งไปแผนกแพ็คต่อไป



รูปที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องไดคัท



รูปที่ 8 เครื่องไคคัท



รูปที่ 9 งานที่ได้จากเครื่องไคคัท

4.2 การจัดเก็บข้อมูลของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษและคำนวณค่า OEE [8] ดังนี้

4.2.1 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (1)$$

4.2.2 อัตราการเดินเครื่อง

$$Availability (A) = \frac{loading\ time - downtime}{loading\ time} \times 100\% \quad (2)$$

4.2.3 ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง

Performance Efficiency (P)

=

$$\frac{processed\ amount \times theoretical\ cycle\ time}{operation\ time}$$

$\times 100\% \quad (3)$

4.2.4 อัตราคุณภาพ

Quality (Q)

$$= \frac{processed\ amount \times number\ of\ defect}{processed\ amount} \times 100\% \quad (4)$$

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการคำนวณค่า OEE ดังนี้

การคำนวณ OEE ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตในเดือนมีนาคมถึงเมษายน 2566 ผลการคำนวณ OEE จะนำเสนอในตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 ค่า OEE เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ

Month	A	P	Q	OEE(%)
1	38.59%	85.25%	87.08%	37.86%
2	34.72%	71.69%	70.29%	17.42%
Average	36.65%	78.45%	78.69%	27.64%

ตารางที่ 2 ค่า OEE เครื่องสับร่อนกระดาษ

Month	A	P	Q	OEE(%)
1	37.40%	84.71%	87.10%	36.37%
2	38.25%	72.21%	73.33%	37.55%
Average	37.83%	78.46%	80.22%	36.96%

ตารางที่ 3 ค่า OEE เครื่องไคคัท

Month	A	P	Q	OEE(%)
1	25.03%	46.81%	48.30%	24.24%
2	17.77%	39.13%	39.94%	17.42%
Average	21.40%	42.97%	44.12%	20.83%

จากข้อมูลในตารางที่ 1,2 และ 3 จะแสดงค่าเฉลี่ย OEE ของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ 27.64% ค่าเฉลี่ย OEE เครื่องสับร่อนกระดาษ 36.96% และค่าเฉลี่ย OEE เครื่องโดคัท 20.83% ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปเทียบกับเกณฑ์ของ Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

5.2 การเทียบกับเกณฑ์ Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

การนำผล OEE ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตในเดือนมีนาคมถึงเมษายน 2566 ไปเทียบกับเกณฑ์ Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM) จะนำเสนอในตารางที่ 4,5 และ 6

ตารางที่ 4 ค่า OEE เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษเทียบกับ

เกณฑ์ Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

OEE Factor	Calculation Result	JIPM Standards	Standards Fullfilment
Availability	36.65%	90%	NO
Performance Efficiency	78.45%	95%	NO
Rate of Quality	78.69%	99%	NO
OEE	27.64%	85%	NO

จากข้อมูลในตารางที่ 4 จะแสดงค่า OEE เฉลี่ยของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ 27.64% ค่า OEE ซึ่งไม่สอดคล้องกับเกณฑ์ของ JIPM ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มค่า OEE ที่ต่ำของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ

ตารางที่ 5 ค่า OEE เครื่องสับร่อนกระดาษเทียบกับเกณฑ์

Japan Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

OEE Factor	Calculation Result	JIPM Standards	Standards Fullfilment
Availability	37.83%	90%	NO
Performance Efficiency	78.46%	95%	NO
Rate of Quality	80.22%	99%	NO
OEE	36.96%	85%	NO

จากข้อมูลในตารางที่ 5 จะแสดงค่า OEE เฉลี่ยของเครื่องสับร่อนกระดาษ 36.96% ค่า OEE ซึ่งไม่สอดคล้องกับเกณฑ์ของ JIPM ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มค่า OEE ที่ต่ำของเครื่องสับร่อนกระดาษ

ตารางที่ 6 ค่า OEE เครื่องโดคัทเทียบกับเกณฑ์ Japan

Institute of Plant Maintenance standards (JIPM)

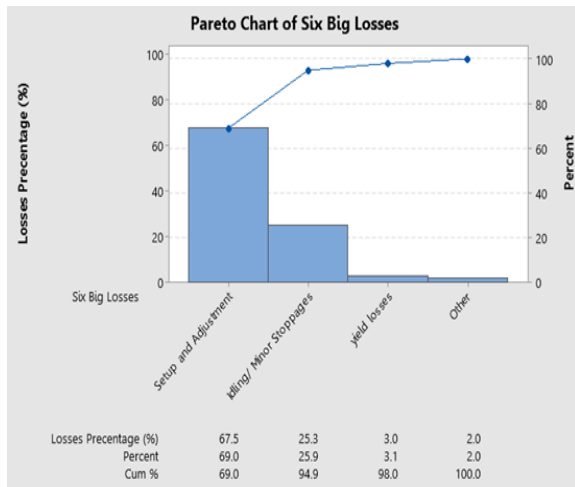
OEE Factor	Calculation Result	JIPM Standards	Standards Fullfilment
Availability	21.40%	90%	NO
Performance Efficiency	42.97%	95%	NO
Rate of Quality	44.12%	99%	NO
OEE	20.83%	85%	NO

จากข้อมูลในตารางที่ 6 จะแสดงค่า OEE เฉลี่ยของเครื่องโดคัท 20.83% ค่า OEE ซึ่งไม่สอดคล้องกับเกณฑ์ของ JIPM ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มค่า OEE ที่ต่ำของเครื่องโดคัท

5.3 การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

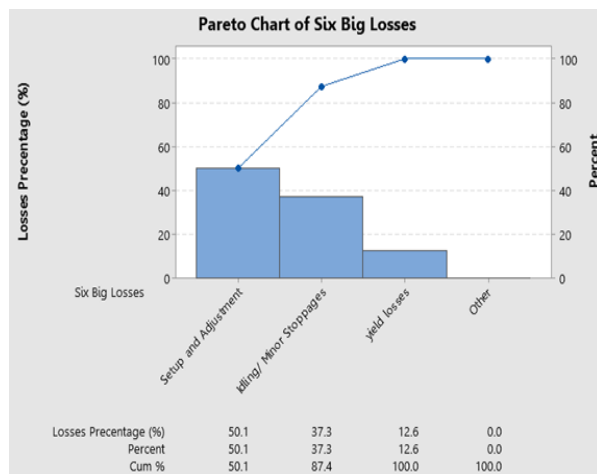
ใช้แผนภูมิพาเรโตสำหรับเรียงข้อมูลที่มีค่าสูงสุดอยู่ทางซ้ายเรียงตามลำดับมาทางขวามือตามค่าที่ลดลง การตัดสินใจใน

หลักการพาเรโต คือ 80/20 โดยปัญหาหรือความสูญเสียที่มีความสำคัญมาก 80% [4]



รูปที่ 10 แผนภูมิพาเรโตปัญหาหรือความสูญเสียของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ

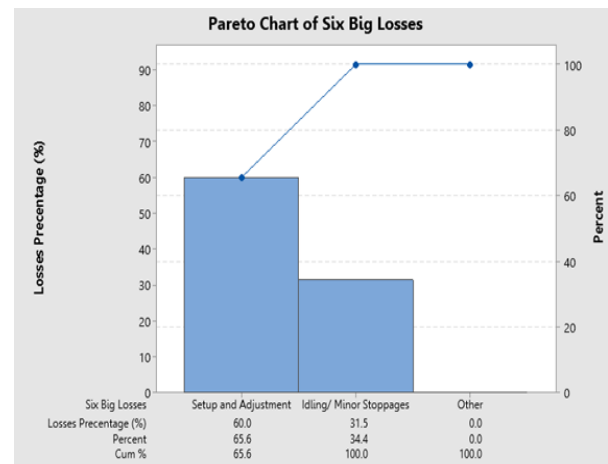
จากแผนภูมิที่ 10 สามารถเห็นได้ว่าปัจจัยการสูญเสียใหญ่ที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด คือ การปรับตั้งเครื่อง 67.5% ถัดมาคือการว่างของเครื่องจักร 25.3% จากความสูญเสียทั้งสองนี้จะถูกนำไปค้นหาสาเหตุด้วยผังก้างปลาต่อไป



รูปที่ 11 แผนภูมิพาเรโตปัญหาหรือความสูญเสียของเครื่องสับร่อนกระดาษ

จากแผนภูมิที่ 11 สามารถเห็นได้ว่าปัจจัยการสูญเสียใหญ่ที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด คือ การปรับตั้งเครื่อง 50.1% ถัดมาคือ

การว่างของเครื่องจักร 37.3% จากความสูญเสียทั้งสองนี้จะถูกนำไปค้นหาสาเหตุด้วยผังก้างปลาต่อไป

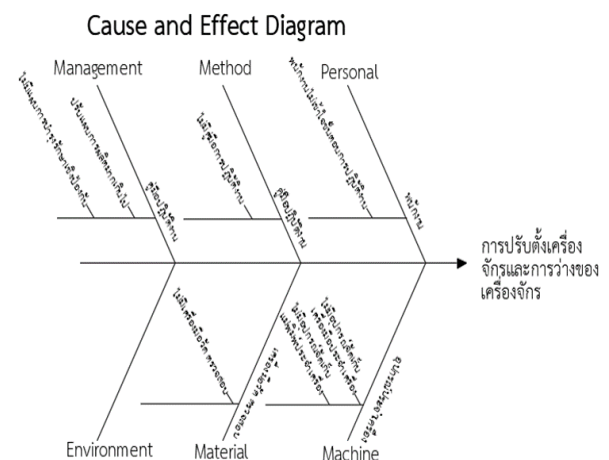


รูปที่ 12 แผนภูมิพาเรโตปัญหาหรือความสูญเสียของเครื่องโต้ศัท

จากแผนภูมิที่ 12 สามารถเห็นได้ว่าปัจจัยการสูญเสียใหญ่ที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด คือ การปรับตั้งเครื่อง 60% ถัดมาคือ การว่างของเครื่องจักร 31.5% จากความสูญเสียทั้งหมดนี้จะถูกนำไปค้นหาสาเหตุด้วยผังก้างปลาต่อไป

5.4 การหาสาเหตุปัญหา

หลังจากที่ได้เลือกปัญหาจากแผนภูมิพาเรโตแล้วในขั้นนี้การระดมความคิดเห็นเพื่อแก้ไขปัญหาที่เลือก โดยใช้ผังก้างปลาซึ่งพัฒนาโดย คาโอรุ อิชิคาวา ในปี พ.ศ.2496 [9]



รูปที่ 13 ผังก้างปลาการค้นหาสาเหตุของเครื่องทั้งหมด

จากแผนภูมิที่ 12 การค้นหาสาเหตุของเครื่องทั้งหมดมีสาเหตุหลักจากประเด็น 5 ด้าน ประกอบด้วย พนักงาน อุปกรณ์ประจำเครื่อง คู่มือปฏิบัติงาน เครื่องมือวัดตรวจสอบ โดยมีปัจจัย ประกอบด้วย พนักงานไม่เข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติงาน ไม่มีอุปกรณ์จัดเก็บเครื่องมือประจำเครื่อง ไม่มีอุปกรณ์จัดเก็บแม่พิมพ์ประจำเครื่อง ไม่มีเครื่องมือวัดตรวจสอบ ไม่มีคู่มือปฏิบัติงานมาตรฐาน ปรับแผนการผลิตมากเกินไป ไม่มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

6.สรุปผลการวิจัย

จากการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษา บริษัทผลิตกล่องกระดาษ โดยการจัดเก็บข้อมูลของเครื่องจักร ในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ จำนวน 3 เครื่อง ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน 2566 ด้วยวิธี บันทึกข้อมูล อัตราการเดินเครื่อง บันทึกข้อมูลประสิทธิภาพการเดินเครื่อง บันทึกข้อมูลอัตราคุณภาพ และนำมาคำนวณค่า OEE

ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 ค่าเฉลี่ย OEE ของเครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ 27.64% ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 85% ซึ่งมาจากสาเหตุการปรับตั้งเครื่องและการว่างของเครื่องจักร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย OEE ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 57.36%

6.1.2 ค่าเฉลี่ย OEE ของเครื่องสับร่อนกระดาษ 36.96% ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 85% ซึ่งมาจากสาเหตุการปรับตั้งเครื่องและการว่างของเครื่องจักร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย OEE ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 48.04%

6.1.3 ค่าเฉลี่ย OEE ของเครื่องไคคัท 20.83% ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 85% ซึ่งมาจากสาเหตุการปรับตั้งเครื่องและการว่างของเครื่องจักร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย OEE ต่ำกว่าเกณฑ์ของ JIPM 64.17%

7.อภิปรายผล

การประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร : กรณีศึกษา บริษัทผลิตกล่องกระดาษของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ จำนวน 3 เครื่อง ประกอบด้วย เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษ เครื่องสับร่อนกระดาษ และเครื่องไคคัท ต้องใช้แนวทางการลดต้นเหตุจากพนักงาน คือ อบรมหรือ ทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานให้พนักงาน แนวทางการลดต้นเหตุจากอุปกรณ์ประจำเครื่อง คือ มีการจัดหาอุปกรณ์

จัดเก็บเครื่องมือและการจัดหาอุปกรณ์จัดเก็บแม่พิมพ์ประจำเครื่อง เพื่อทำให้เกิดความสะดวก ลดการค้นหา แนวทางการลดต้นเหตุจากคู่มือปฏิบัติงาน คือ จัดทำคู่มือปฏิบัติงานด้านการปรับตั้งเครื่องและแม่พิมพ์ทุกตัว เพื่อทำให้เกิดความสะดวก ลดการค้นหา ลดความผิดพลาดในการทำงาน และลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน นอกจากนั้นมีการปรับแผนการผลิตให้น้อยที่สุด และต้องการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และแนวทางการลดต้นเหตุจากเครื่องมือวัดตรวจสอบ คือ จัดหาเครื่องมือวัดตรวจสอบที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความสะดวก ลดการแม่นยำ ลดความผิดพลาดในการทำงาน

8.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทผลิตกล่องกระดาษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการร่วมทำงานทุกด้านและสนับสนุนในด้านต่าง ๆ จนทำให้ การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาของการดำเนินงาน

9.เอกสารอ้างอิง

- [1] Tsarouhas, P. H. "Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study". *International Journal of Production Research*, vol. 51, no. 2, pp. 515-523, 2013.
- [2] Dewi, S., Alhilman, J., & Atmaji, F. T. D. "Evaluation of effectiveness and cost of machine losses using Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Overall Equipment Cost Loss (OECL) methods, a case study on Toshiba CNC Machine", [Online]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/847/1/012020/meta>. (Accessed: 5 Jan 2023).
- [3] จารุเดช หิรัญวัฒน์สุข, อริย บุญดำเนิน, และ นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์. "การเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องพิมพ์ 2 สี ใน กระบวนการผลิตกล่องกระดาษ ลูกฟูก". *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้า 45-52, มกราคม-มีนาคม, 2561.

- [4] ธวัชชัย บัวระภา, ศักดิ์ชาย รักการ และพจนีย์ ศรีวิเชียร.
“การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรใน
กระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิต
เครื่องต้ม”. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร. สุวรรณภูมิ*, ปีที่ 5, ฉบับที่พิเศษ, หน้า
23-33, สิงหาคม, 2564.
- [5] อารดา โพธิ์อ่อน และฤดี มาสุจินท์. “การวัดประสิทธิผล
โดยรวมของเครื่องจักรเพื่อลดของเสียในกระบวนการ
ผลิต สายไฟตัวนำทองแดง : กรณีศึกษา บริษัทผลิต
สายไฟ”. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 36, ฉบับที่ 2,
หน้า 1-8, มิถุนายน, 2562.
- [6] อุเทน เฉลยโหม, สุรัตน์ ตริยวนพงศ์ และระพี กาญจนะ.
“การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดโดย
เทคนิค การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา
โรงงานอาหารกึ่งสำเร็จรูป”. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์
ราชภัฏวชิรญาณ*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, หน้า 21-33,
กรกฎาคม-ธันวาคม, 2558.
- [7] ภาคนัย มนประณีต และเกรียงไกร ไวยกาญจน์. “การ
ปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรสำคัญใน
กระบวนการผลิต อาหารทะเลแปรรูป”. *การประชุม
วิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ชะอำ
เพชรบุรี*, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555, หน้า 2101-
2108.
- [8] Borris S., *Total productive maintenance*. New
York: McGraw-Hill, 2006.
- [9] เฉลิมชาติ ชีระวิริยะ., *การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติด้วย
โปรแกรม Minitab ฉบับสมบูรณ์*. กรุงเทพฯ:
ซีเอ็มพีฟาย, 2563.

การศึกษาขนาดและอัตราส่วนผสมแกลบกับไม้มะม่วงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน
A STUDY ON THE EFFECT OF SIZE AND RATIO OF MIXED RICE HUSK AND MANGO WOOD
TOWARDS THE THERMAL EFFICIENCY

ลือพงษ์ ลือนาม^{1*} และ ถาวร ราชรองเมือง²
Luepong Luenam^{1*} and Thaworn Ratrongmuang²

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย หนองคาย 43000

¹School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

²Department of Mechanical Technology, Nongkhai Technical College Nongkhai 43000

Received : 2023-10-13 Revised : 2023-11-22 Accepted : 2023-11-22

บทคัดย่อ

สืบเนื่องจากประเทศไทย เป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร ดังนั้น จึงมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งแกลบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวและไม้มะม่วงที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งมาทำเป็นเชื้อเพลิงภายในเตาชีวมวล ด้วยการทดลองต้มน้ำให้เดือดการเป็นไอ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้ จากไม้มะม่วงผสมแกลบ สำหรับเป็นพลังงานทดแทนใช้ในครัวเรือนและเป็นวัสดุที่มีอยู่ในชุมชน ผลศึกษาพบว่า แกลบผสมไม้มะม่วงอัตราส่วน 1:1 เป็นเชื้อเพลิงในเตาชีวมวลได้ โดยไม้มะม่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่มีความยาวขนาด 1 3 และ 5 เซนติเมตร สามารถต้มน้ำให้ระเหยกลายเป็นไอได้ และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการเผาไหม้ 7.82 7.50 และ 7.75 ซึ่งมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เพื่อให้ทราบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จึงได้กำหนดอัตราส่วนแกลบต่อไม้มะม่วง 1:1 1:2 และ 1:3 พบว่า อัตราส่วนผสม 1:1 และ 1:2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกัน 6.86 และ 7.73 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับอัตราส่วนผสมแกลบต่อไม้มะม่วง 1:3 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด 5.32 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งทั้งสามอัตราส่วนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาชีวมวลได้ โดยอัตราส่วนแกลบต่อไม้มะม่วงที่เหมาะสมคือ 1:2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด

คำสำคัญ : ไม้มะม่วง, แกลบ, ประสิทธิภาพความร้อน

Abstract

Thailand is a nation where much of its population is engaged in agriculture. In the realm of farming, the process often generates agricultural waste materials, including the leftover of rice husks from the rice milling process and mango wood from trimming, are used as fuel in the biomass stove. A study commenced by experimenting with boiling water to vaporize and to study the thermal efficiency of combustion from a composition of mango wood and rice husks in order to use as renewable energy for household use and as a material available in local communities.

The study found that rice husk mixed with mango wood at a mixing ratio of 1:1 can be used as fuel in a biomass stove. The 1, 3, and 5-centimeter mango branches can be boiled with water until it evaporates and turns into steam. In addition, it has combustion thermal efficiency values of 7.82, 7.50, and 7.75, which are similar, but reveal no significantly difference ($P>0.05$)

In order to know the appropriate mixing ratio, the ratio of rice husk to mango wood was determined to

*ลือพงษ์ ลือนาม

E-mail address : Luepong.lu@kmitl.ac.th

be 1:1, 1:2, and 1:3. It was found that the mixing ratios were 1:1 and 1:2. and had similar thermal efficiency values of 6.86 and 7.73, not significantly different in terms of Statistics ($P>0.05$) for the ratio of rice husk to mango wood 1:3 has the economical efficiency value. The lowest heat was 5.32, a statistically significant difference ($P>0.05$).

All three ratios can be used as fuel for a biomass stove. The optimum mixing ratio of rice husk to mango wood is 1:2 which exposes the best thermal efficiency.

Keywords: Mango wood, Husk, Thermal Efficiency

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมชานาน เนื่องจากมีที่ตั้งของเขตภูมิประเทศเหมาะสมกับการทำเกษตร [1] มีเนื้อที่ทางการเกษตร 149.25 ล้าน คิดเป็น 46.5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งภาคเกษตรเป็นแหล่งผลิตเริ่มต้นหลักของอุตสาหกรรมอื่น แล้วยังเป็นแหล่งผลิตอาหารสำหรับประชากรในประเทศและส่งออก [2] จากการทำเกษตรกรรมจึงส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งมากมาย แบ่งออก 2 ประเภท คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรม [3]

แกลบ (Rice Husk) คือ วัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือก ซึ่งทำให้เกิดเศษของเปลือกข้าวออกมา มีลักษณะสีเหลืองทอง สีเหลืองอ่อน สีนํ้าตาลแดงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว ซึ่งจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ และซิลิกา โดยปริมาณสารอินทรีย์จะประกอบด้วยธาตุคาร์บอนประมาณร้อยละ 51 ออกซิเจนร้อยละ 42 ส่วนที่เหลือจะเป็นไฮโดรเจน และไนโตรเจน ส่วนซิลิกาจะพบมากบริเวณผิวนอกของแกลบจึงทำให้แกลบมีความแข็งแรงสูงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุขัดผิวได้ [4] ในปัจจุบันมีการนำแกลบมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การนำแกลบมาเป็นวัสดุปลูก [5] การนำขี้เถ้าแกลบผสมในดินบ้นสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ [6] การนำแกลบมาใช้เป็นฉนวนความร้อน [7] วัสดุผสมร่วมกับคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ในการก่อสร้าง [8] การนำแกลบมาเป็นวัสดุรองพื้นในระบบการเลี้ยงไก่ [9] และ การนำแกลบมาผลิตเป็นถ่านไบโอชาร์ [10]

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ซึ่งผลสามารถรับประทานได้ทั้งดิบและสุก โดยมีพื้นที่ปลูกได้ในทุกภาคของประเทศไทย แต่จะให้ผลผลิตแตกต่างกันไปตามสภาพของท้องที่ [11] โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมะม่วงมากที่สุดในประเทศ 5 อันดับแรกในปี 2559 คือ พิจิตร โขง เที่ยงใหม่ นครราชสีมา และประจวบคีรีขันธ์ [12] โดยการปลูกมะม่วงต้องมีการตัดแต่งทรงพุ่มต้นมะม่วงทุกปี นิยมตัดแต่งเปิดกลางทรงพุ่มให้โปร่งโดยเฉพาะการปลูกในระบบปลูกชิด จำนวนต้นที่ปลูกหนาแน่น ถ้าทรงต้นหนาที่บออาจจะทำให้เป็นที่สะสมของโรคและแมลงศัตรูได้ โดยเฉพาะโรคแอนแทรกโนส ฉะนั้นต้องตัดแต่งกิ่ง เพื่อให้ระบบกิ่งภายในทรงพุ่มโปร่ง เพื่อแก้ปัญหาโรคแมลงได้น้อยลง ระบบการเลี้ยงกิ่งข้างนี้จะทำให้การตั้งพุ่มของมะม่วงมีทรงพุ่มได้ดี คือ จากช่วงที่ 1 เลี้ยงกิ่งไว้ 1-2 กิ่ง พอช่วงที่ 2 เลี้ยงกิ่งที่แตกจากช่วงที่ 1 ไว้กิ่งละ 3 กิ่ง รวมกันเป็น 6 กิ่ง พอช่วงที่ 3 เลี้ยงไว้ 18 กิ่ง (1-2-6-18) การแตกกิ่งของมะม่วงแตกด้านข้างละ 3 ช่วง และรวมทั้งการเลี้ยงกิ่งจากลำต้นอีก 2 ช่วง รวมเป็น 5 ช่วง จะใช้เวลาเลี้ยงดูทั้งหมดประมาณ 7-8 เดือน การเลี้ยงระบบนี้กิ่งจะค่อย ๆ โปร่งขึ้น และโคนกิ่งแข็งแรง กิ่งจะไม่หักหรือห้อยลงมาขณะที่มะม่วงติดผล จึงทำให้มีใบและกิ่งมะม่วงที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งในแต่ละครั้ง เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำมาผลิตถ่านชีวภาพบำรุงปรับปรุงดินได้ [13]

จากวัสดุเหลือทิ้งทั้งแกลบและกิ่งมะม่วงที่ได้จากการตัดแต่ง ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในชุมชนเมื่อนำมาเผาด้วยเตาชีวมวล จะก่อให้เกิดประโยชน์และประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของภาคเกษตรกร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุ ทั้งสองชนิดมารวมกันและศึกษาหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดขึ้น โดยการใช้กิ่งมะม่วงที่ขนาดและอัตราส่วนที่แตกต่างกันผสมกับแกลบเผาทดสอบในเตาชีวมวล

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบและพัฒนาเตาชีวมวล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและการสร้างเตาเผาชีวมวลขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบของเตาสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

2.1.1 หมายเลข 1 ฐานเตามีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าโค้งมน มีขนาดกว้าง X ยาว X สูง เท่ากับ 21x30x10 เซนติเมตร สร้างขึ้น

จากเหล็กแผ่นหนา 0.2 เซนติเมตร ด้านหน้าตรงกลางด้านซ้าย ทำการเจาะรูขนาดกว้างXยาวเท่ากับ 3x6 เซนติเมตร ไว้สำหรับติดตั้งพัดลมหอยโข่งขนาด 4 นิ้ว พร้อมกับติดตั้งโครงเหล็กที่สร้างด้วยเหล็กกริดแบน ขนาดกว้าง 1.15 X 0.35 เซนติเมตร ส่วนภายนอกห่อหุ้มด้วยตะแกรงเหล็กขนาดเล็ก เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนที่เกิดขึ้น

2.1.2 หมายเลข 2 หลอดบรรจุวัสดุ ใช้เหล็กท่อขนาด 6 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร และด้านล่างทำการติดตั้งตะแกรงเหล็กละเอียด เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุที่นำมาทดลองตกลงไปยังฐานเตา

2.1.3 หมายเลข 3 หัวเตาใช้เหล็กแผ่นกลมขนาด 6 นิ้ว เจาะรูขนาด 1.27 เซนติเมตร (4 รู) จำนวน 31 รู จากนั้นนำมาเชื่อมติดกับฐานรองกระเบื้องขนาด 10 นิ้ว และล้อมรอบด้วยแผ่นสังกะสียาว 7 เซนติเมตร เพื่อป้องกันลม และให้เปลวไฟขึ้นตรงเท่านั้น



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเตาชีวมวลขนาดเล็ก

2.2 วัสดุและอุปกรณ์

สถานที่ดำเนินการศึกษาและทดลอง ณ อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนั้นคือ ไม้มะม่วง และ แกลบ แสดงดังรูปที่ 2ก และ 2ข

(2) เครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger รุ่น GL800 แสดงดังรูปที่ 2ค

(3) สายเทอร์โมคัปเปิล Type K

(4) หม้อต้มน้ำเบอร์ 28 แสดงดังรูปที่ 2ง

(5) เตาชีวมวล ดังรูปที่ 1

(6) พัดลมหอยโข่ง DC12V 2.85A 4 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 2จ

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองส่วนที่หนึ่ง จะทำการทดลองหาขนาดของไม้มะม่วงที่สามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้สูงสุด โดยการคำนวณดังสมการที่ 1 ซึ่งทำการทดลองกับไม้มะม่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่มีความยาว 3 ขนาด คือ 1 3 และ 5 เซนติเมตร โดยแต่ละขนาดทำการทดลอง 3 ซ้ำ และใช้อัตราส่วนระหว่างแกลบกับไม้มะม่วง 50:50 โดยการทดลอง แต่ละครั้งใช้ไม้มะม่วง 750 กรัม และแกลบ 750 กรัม เมื่อทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อน ดังสมการ ที่ 1 จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลอง จึงนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยวิธีหาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) แบบทางเดียว (One-way Anova) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยโปรแกรม

Statistical Package for the Social Sciences [14] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$\eta = ((M_{w,j} \times C_p \times (T_b - T_i) + M_{w, \text{evap}} \times H_i) / (M_f \times H_f)) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

- η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล
 $M_{w,j}$ = น้ำหนักก่อนต้ม, kg
 C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg °C
 $M_{w, \text{evap}}$ = น้ำหนักน้ำที่ระเหย, kg
 M_f = น้ำหนักเชื้อเพลิง, kg
 T_b = อุณหภูมิของน้ำขณะเดือด, องศาเซลเซียส
 T_i = อุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม, องศาเซลเซียส
 H_i = ค่าความร้อนแฝงของน้ำมีค่า 2,257 KJ/kg
 H_f = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง KJ/kg

เมื่อได้ผลจากการทดลองหาขนาดไม้ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดลองหาอัตราส่วนแกลบต่อไม้มะม่วง 1:1 1:2 และ 1:3 โดยกำหนดให้แกลบ 1 ส่วนเท่ากับ 500 กรัม และไม้มะม่วง 1 ส่วนเท่ากับ 500 และเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นเมื่อได้ผลการทดลอง นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดย วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) แบบทางเดียว (One-way Anova) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยโปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.ผลการวิจัย

3.1ผลของขนาดไม้มะม่วงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการทดลองใช้ไม้มะม่วงกับแกลบอัตราส่วนระหว่างแกลบกับไม้มะม่วง 50:50 ผสมรวมกันจำนวน 1500 กรัม/ชั่วโมง เพื่อหาผลของขนาดไม้มะม่วงที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้สูงสุด โดยไม้มะม่วงมีความชื้นในช่วง 14.30–14.72 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และใช้น้ำบรรจุในภาชนะเริ่มต้น 1,000 กรัม/ชั่วโมง ทำการทดลองต้มน้ำให้เดือดระเหยกลายเป็นไอ ด้วยเตาชีวมวล พบว่า การเผาไหม้ไม้มะม่วงขนาด 5 เซนติเมตรปริมาณน้ำระเหยกลายเป็นไอสูงสุด 973.33 กรัม รองลงมาคือ ไม้มะม่วงขนาด 1 และ 3 เซนติเมตร ระดับอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นและอุณหภูมิน้ำเดือดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 26.33-26.66 และ 99.67-100.00 องศาเซลเซียส สำหรับค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาด้วยเตาชีวมวล พบว่า ไม้มะม่วงขนาด 1 เซนติเมตรมีค่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ 7.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือไม้มะม่วงขนาด 5 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของขนาดไม้มะม่วงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้

ขนาดไม้มะม่วง (ซม.)	ปริมาณน้ำระเหย (g)	อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น °C	อุณหภูมิ น้ำเดือด °C	มวลเชื้อเพลิง (g)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
1	950.00	26.33	99.67	136.67	7.82
3	913.33	26.66	100.00	150.00	7.38
5	973.33	26.38	99.67	156.67	7.75

จากผลการทดลองขนาดไม้มะม่วงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้ได้ ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละขนาดไม้มะม่วง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่า ขนาดไม้มะม่วงไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแตกต่างกัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแตกต่างทางสถิติของขนาดไม้มะม่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

ขนาดไม้มะม่วง (ซม.)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
1	7.82±0.57a
3	7.50±0.13a
5	7.75±0.80a
F-test	0.258

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตามหลังด้วยตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT (p)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ขนาดไม้มะม่วงไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้ด้วยเตาชีวมวลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถผสมไม้มะม่วงขนาดต่างๆ กับแกลบเป็นเชื้อเพลิง ในการเผาไหม้ด้วยเตาชีวมวล จนทำให้เกิดความร้อนในการต้มน้ำเดือดกลายเป็นไอได้ ซึ่งเป็นสัดส่วน 1 : 1 เพื่อลดปริมาณแกลบที่ใช้ผสมให้น้อยลง จึงได้

ศึกษาหาสัดส่วนการผสมไม้มะม่วงและกล้วยที่เหมาะสม โดยเลือกไม้มะม่วงขนาด 3 เซนติเมตร ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้ต่ำสุด มาทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อไป

3.2 ผลของอัตราส่วนผสมต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การศึกษาค้นหาสัดส่วนการผสมระหว่างกล้วยต่อไม้มะม่วงได้กำหนดอัตราส่วนในการทดลอง คือ 1:1 1:2 และ 1:3 โดยแต่ละอัตราส่วนทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งการทดลองใช้ไม้มะม่วงต่อกล้วยผสมรวมกันและแบ่งจำนวน 1,500 กรัม/ซ้ำ และไม้มะม่วงมีความชื้นในช่วง 13.56–14.27 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และใช้น้ำบรรจุภาชนะเริ่มต้น 1,000 กรัม/ซ้ำทำการทดลองต้มน้ำให้เดือดระเหยกลายเป็นไอน้ำด้วยเตาชีวมวลพบว่า การเผาไหม้กล้วยต่อไม้มะม่วงในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำสูงสุดที่ 830.00 กรัม รองลงมาคืออัตราส่วน 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ ระดับอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของอัตราส่วน 1:2 มีค่าสูงสุดที่ 25.33 องศาเซลเซียส รองลงมาคืออัตราส่วน 1:1 และ 1:3 มีค่าเท่ากัน 24.00 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิน้ำเดือดอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 มีค่าสูงเท่ากันที่ระดับ 100 องศาเซลเซียส ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนอัตราส่วน 1:2 มีค่าสูงสุดที่ 7.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออัตราส่วน 1:1 และ 1:3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของอัตราส่วนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน

อัตราส่วน กล้วยต่อ ไม้มะม่วง	ปริมาณ น้ำ ระเหย (g)	อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น °C	อุณหภูมิ น้ำเดือด °C	มวล ชี้เก้า (g)	ประสิทธิภาพ เชิง ความร้อน (%)
1:1	830.00	24.00	100.00	136.67	6.86
1:2	703.33	25.33	100.00	123.33	.773
1:3	650.00	24.00	99.67	156.67	5.32

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วนกล้วยต่อไม้มะม่วง โดยผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่า อัตราส่วนของไม้มะม่วงกับกล้วย 1:1 และ 1:2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างในอัตราส่วน 1:3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 4

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนผสมกล้วยต่อไม้มะม่วง 1:1 และ 1:2 ในการทดลองต้มน้ำให้เดือดระเหยกลายเป็นไอน้ำด้วยเตาชีวมวล มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใช้ได้ดีเท่าเทียมกันได้ และอัตราส่วนผสมกล้วยต่อไม้มะม่วง 1:3 สามารถใช้ได้ดีพอใช้เช่นกัน ดังนั้น การใช้กล้วยกับไม้มะม่วงทั้งสามอัตราส่วนสามารถเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลผลิตความร้อนได้ โดยอัตราส่วนกล้วยต่อไม้มะม่วงที่เหมาะสมคือ 1:2

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแตกต่างทางสถิติของอัตราส่วนระหว่างกล้วยกับไม้มะม่วง

อัตราส่วนกล้วย ต่อไม้มะม่วง	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
1:1	6.68±0.42a
1:2	7.73±0.51a
1:3	5.32±0.56b
F-test	13.16

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตามหลังด้วยตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT (p)

4.อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งกล้วยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวและไม้มะม่วงที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งทรงพุ่ม เป็นวัสดุที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยการเผาภายในเตาชีวมวลด้วยการทดลองต้มน้ำให้เดือดการเป็นไอเพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเผาไหม้จากไม้มะม่วงผสมกล้วยใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับเป็นพลังงานทดแทนใช้ในครัวเรือนและเป็นวัสดุที่มีอยู่ในชุมชนท้องถิ่น จากการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

ไม้มะม่วงผสมกล้วยในอัตราส่วน 1:1 สามารถเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาชีวมวลได้ โดยไม้มะม่วงทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ 1 3 และ 5 เซนติเมตร สามารถต้มน้ำให้ระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการเผาไหม้ 7.82 7.50 และ 7.75 ตามลำดับ ซึ่งมีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลการทดลอง พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เพื่อให้ทราบ

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จึงได้เลือกไม้มะม่วงขนาด 3 เซนติเมตร เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการเผาไหม้ต่ำที่สุดไปทดลอง โดยกำหนดอัตราส่วนแกลบต่อไม้มะม่วง 1:1 1:2 และ 1:3 ทำการทดลองต้มน้ำให้เดือนระเหยกลายเป็นไอน้ำด้วยเตาชีวมวล พบว่า อัตราส่วนผสมแกลบต่อไม้มะม่วง 1:1 และ 1:2 ในการทดลองต้มน้ำให้เดือนระเหยกลายเป็นไอน้ำด้วยเตาชีวมวล มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกัน 6.86 และ 7.73 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับอัตราส่วนผสมแกลบต่อไม้มะม่วง 1:3 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด 5.32 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งทั้งสามอัตราส่วนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาชีวมวลได้

กล่าวโดยสรุป การใช้วัสดุเหลือทิ้งแกลบกับไม้มะม่วงสามารถเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลผลิตความร้อนได้ โดยอัตราส่วนแกลบต่อไม้มะม่วงที่เหมาะสมคือ 1:2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรชนิดอื่น ๆ ด้วยเนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีหลากหลาย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับวัสดุชีวมวลชนิดอื่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ ทองมีทิพย์, “พัฒนาการเกษตรกรรมของประเทศไทย: ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต”. *วารสารพัฒนศาสตร์*, ปีที่ 4 ฉบับที่ 1, หน้า 133-162, 2564.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “บทความเศรษฐกิจการเกษตร”, *วารสารเศรษฐกิจการเกษตร*, ปีที่ 68 ฉบับที่ 794, หน้า 6, 2566.
- [3] ชัยสิทธิ์ ทองจุ, “การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเพื่อประโยชน์ทางการเกษตร”, *เกษตรกรรม*, หน้า 44-45, 2563.
- [4] วาโย ดันติปาบลกุล, “แกลบดิบ แกลบดำ (ถ่านแกลบ) ขี้เถ้าแกลบ (แกลบขาว-เทา)”, วาโย ฟาร์ม, เข้าถึงได้จาก <https://farm.vayo.co.th/blog/husk/>. (เข้าถึงเมื่อ : 20 พฤษภาคม 2566).
- [5] อัจฉรา ทองสี, วัสดุปลูกจากฟางข้าวและแกลบ, (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 2563.
- [6] กนกวรรณ กันทะกัน, “การพัฒนาดินปั้นเถ้าแกลบสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์”, *ปริญญาคหกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2557.
- [7] สิงห์เดช แดงจวง และคณะ, “แผ่นฉนวนความร้อนจากแกลบและขี้เถ้าโดยใช้ใยพาราเป็นตัวประสาน”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 51-68, 2566.
- [8] ฉลอง ปะลาซัง และเรืองรุทธ์ ชีระโรจน์, “การทนไฟของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเถ้าแกลบบดละเอียด”, *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, ปีที่ 13 ฉบับที่ 1, หน้า 20-31, 2562.
- [9] พิพัฒน์ สมภาร และพรชัย อิ่มกะดี, “การใช้วัสดุรองพื้นเพื่อส่งเสริมสวัสดิภาพไก่ชนที่เลี้ยงในสุ่มไม้ไผ่”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 5, หน้า 825-832, 2558.
- [10] พิศพงษ์ เชาวนพงษ์ และคณะ, ศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของไบโอชาร์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตของดิน, (รายงานผลการวิจัย), กรุงเทพฯ: กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2556.
- [11] พัฒนา นรมาศ และ วัฒนา สวรรยาธิปิติ, *การปลูกมะม่วง*, กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตรกองเกษตรสัมพันธ์, ม.ป.ป.
- [12] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, “สถิติการเกษตรของประเทศไทย”, เข้าถึงได้จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rotor/fruit2/mango.pdf>. (เข้าถึงเมื่อ : 20 พฤษภาคม 2566).
- [13] มนตรี นันทสิทธิ์, *การปลูกมะม่วง*, กรุงเทพฯ, 2556.
- [14] IBM Corp, “Released IBM SPSS Statistics for Windows”, *Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp*, 2021.

การพัฒนาชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 โดยใช้เทคนิคการสอน
แบบใช้โครงงานเป็นฐาน
A Development of the Teaching packages on Project subject code 30101-8501
With Project based teaching techniques

ธีระพล บุญธรรม

Theeraphon Boontham

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล สังกัดสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 มหาสารคาม 44000

Mechanical Technology Affiliation Institute of Vocational Education : Northeastern Region 3 Mahasarakham 44000

Received : 2023-06-13 Revised : 2023-10-24 Accepted : 2023-10-24

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดการสอนวิชาโครงการ โดยใช้เทคนิค การสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการ ตามเกณฑ์ 80/80 2) เพื่อหาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ 3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง 4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ

ผลการวิจัย พบว่า 1) ผลการหาหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการ ของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม โดยทดลองกับนักศึกษาภาคสนาม จำนวน 25 คน อยู่ระหว่าง 25.20–26.60 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ได้ค่า E_1 อยู่ 84.00–88.67 คะแนนสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.04–8.48 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ค่า E_2 อยู่ระหว่าง 80.40–84.80 โดยหน่วยที่ 1 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 88.67/83.20 หน่วยที่ 2 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.00/80.40 หน่วยที่ 3 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.27/81.60 หน่วยที่ 4 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.08/81.75 หน่วยที่ 5 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.56/81.60 และหน่วยที่ 6 มี

ประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 87.87/84.80 2) ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนนทดสอบหลังเรียน (Post-test) ของนักศึกษากลุ่มที่ใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ คะแนนเฉลี่ยทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 14.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 46.94 และคะแนนเฉลี่ย

การทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 25.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 คิดเป็นร้อยละ 85.19 ผลปรากฏว่าดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ มีค่าเท่ากับ 0.81 แสดงว่าผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 81 3) ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการโดยใช้ชุดการสอน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 4) นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ พิจารณาโดยรวม ผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69

คำสำคัญ : ชุดการสอน, วิชาโครงการ, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, ความพึงพอใจ

ธีระพล บุญธรรม

E-mail address: theeraponb15@gmail.com

Abstract

The development of this teaching package aimed to 1) investigate the efficacy of teaching packages of Project Course, by using Project-based learning of the vocational diploma curriculum B.E. 2563, with the criteria for 80/80; 2) verify the effective index of teaching packages of Project Course, by using Project-based learning of the vocational diploma curriculum B.E. 2563; 3) compare the learning achievement of the students on the vocational diploma curriculum; and 4) study the user's satisfaction.

The results of this research revealed that 1) The efficacy of teaching packages of Project Course of the first-year vocational diploma students majoring in Mechanical Technique, Mahasarakham Technical College, totally 25 fieldwork students, was 25.20 – 26.60 points from 30 total points. E_1 Value was 84.00 – 88.67. The average of post-test was 8.04 – 8.48 points from 10 total points. E_2 value was 80.40 – 84.80. The learning chapter 1 had the efficacy of E_1/E_2 at 88.67/83.20. The learning chapter 2 had the efficacy of E_1/E_2 at 84.00/80.40. The learning chapter 3 had the efficacy of E_1/E_2 at 84.27/81.60. The learning chapter 4 had the efficacy of E_1/E_2 at 84.08/81.75. The learning chapter 5 had the efficacy of E_1/E_2 at 84.56/81.60. The learning chapter 6 had the efficacy of E_1/E_2 at 87.87/84.80. 2) The effective index of teaching packages of Project Course, was at 14.07 average point with the percentage of 46.94 and the standard deviation of 0.49 for pre-test and 25.58 average point with the percentage of 85.19 and the standard deviation of 0.46 for pre-test. The result of the effective index of teaching packages of Project Course was at 0.81, which inferred the 81% increasing rate. 3) The comparative result of the learning achievement of the students showed that post-test was higher than pre-test with the statistical significance at the level of 0.01. 4) The students had

average satisfaction at the high level with the average point of 4.47 and the standard deviation of 0.69.

Keywords : Teaching packages, Project, Achievement score, Satisfaction

1.บทนำ

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มุ่งเน้นผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษาอย่างมีคุณภาพ ได้มาตรฐาน ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน สังคม ระดับประเทศ และภูมิภาค ปกป้องคุณธรรมจริยธรรม วิถีประชาธิปไตย ความมีวินัย เสริมสร้างทักษะชีวิต การจัดการศึกษาตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาคนไทยให้มีลักษณะที่พึงประสงค์ คือ ให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ทั้งร่างกาย จิตใจ สติปัญญา ความรู้ และคุณธรรม มีจริยธรรม เพื่อให้เกิดการพัฒนาลักษณะของคนไทยที่พึงปรารถนา คือ เก่ง ดี และมีสุข หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 หลักการของหลักสูตร มีดังนี้ เพื่อพัฒนากำลังคนระดับเทคนิคให้มีสมรรถนะมีคุณธรรม จริยธรรมและจรรยาบรรณวิชาชีพ สามารถประกอบอาชีพได้ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงานและการประกอบอาชีพอิสระ สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เป็นไปตามกรอบคุณวุฒิแห่งชาติ มาตรฐานการศึกษาของชาติ และกรอบคุณวุฒิอาชีวศึกษาแห่งชาติ เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้เลือกเรียนได้อย่างกว้างขวาง เน้นสมรรถนะเฉพาะด้านด้วยการปฏิบัติจริง สามารถเลือกวิธีการเรียนตามศักยภาพและโอกาสของผู้เรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถเทียบโอนผลการเรียนสะสมผลการเรียน เทียบโอนความรู้และประสบการณ์จากแหล่งวิทยาการ สถานประกอบการและสถานประกอบอาชีพอิสระ เป็นหลักสูตรที่มุ่งเน้นให้ผู้สำเร็จการศึกษามีสมรรถนะในการประกอบอาชีพ มีความรู้เต็มภูมิ ปฏิบัติได้จริงมีความเป็นผู้นำและสามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี เป็นหลักสูตรที่สนับสนุนการประสานความร่วมมือในการจัดการศึกษาร่วมกันระหว่างหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐและเอกชน และเป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้สถานศึกษา สถานประกอบการ ชุมชนและท้องถิ่น มีส่วนร่วมในการพัฒนาหลักสูตรให้ตรงตามความต้องการ และสอดคล้องกับสภาพ

ยุทธศาสตร์ของภูมิภาค เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ [1]

ในการพัฒนาผู้เรียนครูต้องศึกษากระบวนการเรียนรู้โดยใช้การวิจัยซึ่งสอดคล้องกับวัชรพล วิบูลยศรีน ได้กล่าวถึงความสำคัญและความจำเป็นของนวัตกรรมและสื่อการเรียนการสอนเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนให้บรรลุวัตถุประสงค์ สภาพปัญหาในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาทฤษฎีนักเรียนจะขาดความสนใจใฝ่ที่จะศึกษา การรับรู้ ส่งผลให้เกิดความเบื่อหน่าย และไม่สนใจในการเรียนในรายวิชาทฤษฎี ในฐานะครูผู้สอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สุวิทย์ มูลคำและ สุนันทา สุนทรประเสริฐ [2] โดยการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุจากการเรียนการสอน ซึ่งได้มาจากการสังเกตปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการสอน การบันทึกปัญหาและข้อมูลระหว่างทำการสอน การศึกษาและวิเคราะห์ผลการเรียนของผู้เรียน การศึกษาวิเคราะห์หลักสูตร วิเคราะห์เนื้อหา การวางแผนการสอน การผลิตสื่อการสอน และการทดสอบประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้จัดทำชุดการสอนโดยศึกษาหลักสูตร จัดทำคู่มือครู แผนการจัดการเรียนรู้ เอกสารประกอบการเรียน ใบเนื้อหา สื่อประกอบการสอน แบบฝึกหัด แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้เรียนในการเรียนรู้ให้บรรลุวัตถุประสงค์ และการพัฒนาการเรียนของนักเรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

2.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพชุดการสอน โดยกำหนดเกณฑ์ไว้ 80/80
- 2.2 เพื่อหาค่าดัชนีประสิทธิผลทางการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้ชุดการสอน
- 2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ชุดการสอน
- 2.4 เพื่อหาความพึงพอใจของนักเรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดการสอน

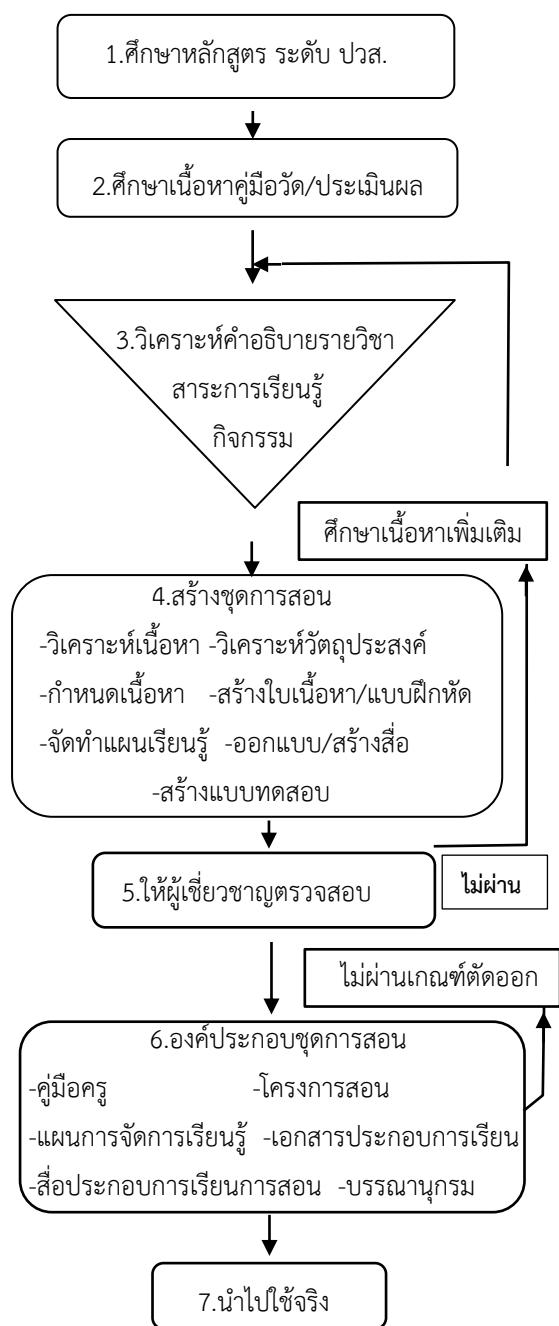
3.วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและตัวอย่างในการวิจัย ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษา สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาโครงการ วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 250 คน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย นักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม ที่ลงทะเบียนเรียนภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ตั้งแต่วันที่ 17 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ถึง วันที่ 16 เดือน กันยายน พ.ศ. 2565 โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 25 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มี 3 ชนิด ประกอบด้วย 1) ชุดการสอนวิชาโครงการ 2) แบบทดสอบ จำนวน 1 ฉบับ คือ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 จำนวน 1 ฉบับ จำนวน 20 ข้อ 3) แบบวัดความพึงพอใจ จำนวน 1 ฉบับ คือ แบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล ที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ

3.3 การสร้างและหาคุณภาพ

3.3.1 ชุดการสอน วิชาโครงการ ประกอบด้วย โดยหน่วยที่ 1 แนวคิดพื้นฐานการจัดทำโครงการ มี หน่วยที่ 2 การจัดทำโครงการวิจัย หน่วยที่ 3 การเขียนโครงการวิจัย หน่วยที่ 4 การดำเนินงานโครงการ หน่วยที่ 5 โครงการวิชาชีพประเภทสิ่งประดิษฐ์ และหน่วยที่ 6 การนำเสนอผลการจัดทำโครงการ โดยดำเนินการสร้างและหาคุณภาพ ตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1 การสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย

3.3.2 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1) ศึกษา ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 2) ศึกษาจุดประสงค์ที่คาดหวัง จากหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง 3) สร้างแบบทดสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์เรียนรู้ที่คาดหวัง จำนวน 1 ฉบับ 30 ข้อ 4) ให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ โดยการตรวจสอบแก้ไขและวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity)

โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับคุณลักษณะที่วัดเป็นรายข้อ (IOC) โดยถือเกณฑ์ความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 [4] โดยมีผู้เชี่ยวชาญ 5) นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง 6) นำข้อมูลที่ได้มาหาคุณภาพของแบบทดสอบ คำนวณหาค่าอำนาจจำแนก (B) เป็นรายข้อ โดยกำหนดเกณฑ์คัดเลือกค่าความยาก ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ 0.20 ถึง 1.00 เพื่อคัดเลือกข้อสอบให้เหลือเพียง 40 ข้อ ซึ่งได้ค่าความยาก (P) ตั้งแต่ 0.21 ถึง 0.71 และค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.79 และหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้สูตรของโลเวทท์ (Lovett) ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่น 0.89 7) จัดพิมพ์และนำไปใช้จริง

3.3.3 การสร้างแบบทดสอบวัดความพึงพอใจ 1) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการสร้างโดยศึกษาจากเอกสารกำหนดรูปแบบของแบบวัดความพึงพอใจ โดยใช้มาตราประมาณค่า ซึ่งเป็นข้อคำถามทั้งด้านลบและบวก จำนวน 30 ข้อ 2) ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พิจารณาความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ โดยการตรวจสอบแก้ไข และวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับคุณลักษณะที่วัดเป็นรายข้อ (IOC) โดยถือเกณฑ์ความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 [4] ผลการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับคุณลักษณะที่วัดเป็นรายข้อ (IOC) ได้ค่าความสอดคล้องตั้งแต่ 0.67 ถึง 1.00 3) นำแบบวัดความพึงพอใจที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม จำนวน 25 คน หลังจากทดลองใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน 4) นำแบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการใช้ชุดการเรียนด้วยตนเองมาตรวจให้คะแนน

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ทำการทดสอบก่อนการเรียน กลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดการสอนวิชาโครงการด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน แล้วบันทึกผลการสอบไว้เป็นคะแนนทดสอบก่อนเรียนสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล 2) ทำการสอนกลุ่มทดลองโดยใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน จำนวน 72 ชั่วโมง (ไม่รวมการ

ทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน) 3) หลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง ทำการทดสอบอีกครั้งโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดิมอีกครั้ง ซึ่งวิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบแผนและการดำเนินการทดลอง การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มเดียว มีการทดลองก่อนและหลังการทดลอง One Group Pretest Posttest Design [5] ตามแบบแผนการทดลองดังนี้

ตารางที่ 1 แบบแผนดำเนินการทดลอง

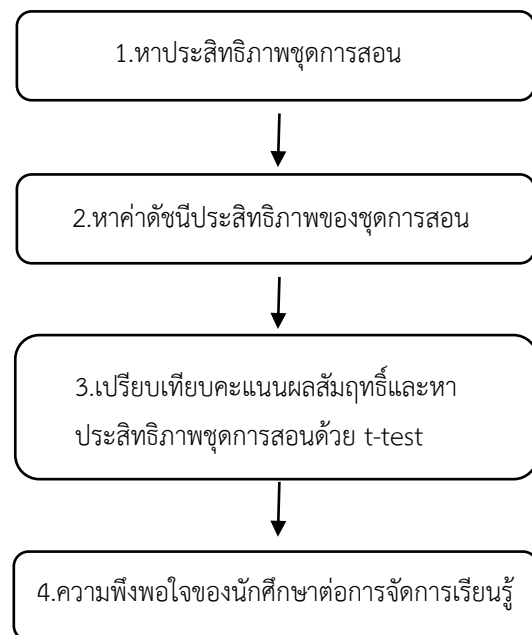
กลุ่ม	ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน
กลุ่มทดลอง	O_1	X	O_2

เมื่อกำหนดให้ O_1 หมายถึง การทดสอบตัวแปรตามก่อนการทดลอง X หมายถึง การใช้นวัตกรรม (การทดลอง)

O_2 หมายถึง การทดสอบตัวแปรตามหลังการทดลอง

O_1 และ O_2 เป็นการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดเดียวกัน และเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่าง O_1 และ O_2
4) ตรวจผลจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีหาค่าทางสถิติ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ดำเนินการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ 1) หาค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความพึงพอใจ [6] วิเคราะห์หาดัชนีประสิทธิผลของการเรียนด้วยชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ตามสูตรดัชนีประสิทธิผล [7] 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สถิติ t - test (Independent Samples) [6] ตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยดังนี้

4.1ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเรียนรู้โดยใช้ชุดการสอนดังนี้

4.1.1ผลการหาหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 ตามเกณฑ์ 80/80 จากคะแนนระหว่างเรียน โดยใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 โดยทดลองกับนักศึกษาภาคสนาม จำนวน 25 คน อยู่ระหว่าง 25.20-26.60 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ได้ค่า E_1 อยู่ 84.00-88.67 คะแนนสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 8.04-8.48 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ค่า E_2 อยู่ระหว่าง 80.40-84.80 โดยหน่วยที่ 1 แนวคิดพื้นฐาน การจัดทำโครงการ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 88.67/83.20 หน่วยที่ 2 การจัดทำโครงการวิจัย มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.00/80.40 หน่วยที่ 3 การเขียนโครงการวิจัย มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.27/81.60 หน่วยที่ 4 การดำเนินงานโครงการ

มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.27/82.40 หน่วยที่ 5 โครงการวิชาชีพประเภทสิ่งประดิษฐ์ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.56/81.60 และหน่วยที่ 6 การนำเสนอผลการจัดทำโครงการมีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 87.87/84.80

ตารางที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

คะแนน	จำนวน	$\bar{X}$	S.D.
ก่อนเรียน	25	14.07	0.49
หลังเรียน	25	25.58	0.46

จากตารางที่ 2 พบว่า คะแนนของระหว่างเรียนโดยใช้ชุดการสอน วิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 โดยทดลองกับนักศึกษาภาคสนาม จำนวน 25 คน อยู่ระหว่าง 25.20–26.60 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ได้ค่า E_1 อยู่ 84.00–88.67 คะแนนสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 8.04–8.48 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ค่า E_2 อยู่ระหว่าง 80.40–84.80

4.1.2 ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนนทดสอบหลังเรียน (Post-test) ของนักเรียนกลุ่มที่ใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน คะแนนเฉลี่ยทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 14.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 46.94 และคะแนนเฉลี่ยการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 25.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 คิดเป็นร้อยละ 85.19 การหาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ผู้รายงานได้ใช้วิธีของ กูดแมน เฟลทเชอร์ และชไนเดอร์ (Goodman, Fletcher and Schnieder) [3] ในการหาดัชนีประสิทธิผล (The Effectiveness Index) ผลปรากฏว่าดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน มีค่าเท่ากับ 0.81 แสดงว่าผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น ร้อยละ 81

ตารางที่ 3 ผลการหาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน

หน่วยที่	แบบฝึกทักษะระหว่างเรียน E_1	แบบทดสอบหลังเรียน E_2	ประสิทธิภาพ E_1 / E_2
1	88.67	83.20	88.67/83.20
2	84.00	80.40	84.00/80.40
3	84.27	81.60	84.27/81.60
4	84.08	81.75	84.08/81.75
5	84.56	81.60	84.56/81.60
6	87.87	84.40	87.87/84.80

จากตารางที่ 3 พบว่า คะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนนทดสอบหลังเรียน (Post-test) ของนักศึกษา กลุ่มที่ใช้ชุดการสอน วิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน คะแนนเฉลี่ยทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 14.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 46.94 และคะแนนเฉลี่ยการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 25.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 คิดเป็นร้อยละ 85.19

4.1.3 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 โดยใช้ชุดการสอน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	S.D.	t
ก่อนเรียน	25	14.07	0.49	27.41**
หลังเรียน	25	25.58	0.46	

4.1.4 นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 จากแบบสอบถามระดับความพึงพอใจ ของผู้เรียนต่อชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน จำนวน 10 ข้อ พิจารณาโดยรวม ผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า เนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นเอกสารประกอบการสอน ความพึงพอใจต่อชุดการสอน เท่ากับ 4.67 ในระดับมากที่สุด เนื่องจากผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียน ซึ่งผู้เรียนได้มีการค้นคว้า ทดลอง ประดิษฐ์ คิดค้นนวัตกรรม และเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยอาศัยความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อได้ทำการศึกษา หาข้อค้นพบ และทำการทดลองจริงได้ผลดี จึงส่งผลทำให้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และหลังจากศึกษาด้วยเอกสารประกอบการสอนแล้ว นักศึกษาสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติในการทำโครงงานได้ มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับสอง คือ 4.58

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจต่อชุดการสอน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
1. เนื้อหามีการเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก	4.46	0.84	มาก
2. เนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้	4.67	0.82	มากที่สุด
3. เนื้อหาในชุดการสอนเข้าใจง่าย	4.46	0.73	มาก
4. นักศึกษาสามารถทำโครงการ	4.35	0.83	มาก
5. รูปแบบของชุดการสอนน่าสนใจ	4.32	0.54	มาก
6. มีการอธิบายรูปภาพและขั้นตอน	4.30	0.72	มาก
7. จากการศึกษาชุดการสอนเข้าใจ	4.48	0.58	มาก

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจต่อชุดการสอน (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
8. คำถามในแบบฝึกหัด	4.38	0.59	มาก
9. จำนวนข้อสอบในแต่ละหน่วย	4.43	0.62	มาก
10. หลังจากศึกษาด้วยชุดการสอน	4.58	0.64	มากที่สุด
รวม	44.7	6.91	
เฉลี่ย	4.47	0.69	มาก

จากตารางที่ 5 พบว่า จากแบบสอบถามระดับความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชุดการสอน วิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 จำนวน 10 ข้อ พิจารณาโดยรวม ผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69

5.อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยอภิปรายผลการวิจัยดังนี้

5.1 คะแนนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างระหว่างเรียน

โดยใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 อยู่ระหว่าง 25.20 – 26.60 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ได้ค่า E_1 อยู่ 84.00 – 88.67 คะแนนสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 8.04 – 8.48 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ค่า E_2 อยู่ระหว่าง 80.40 – 84.80 โดยหน่วยที่ 1 แนวคิดพื้นฐานการจัดทำโครงการ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 88.67/83.20 หน่วยที่ 2 การจัดทำโครงการวิจัย มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.00/80.40 หน่วยที่ 3 การเขียนโครงการวิจัย มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.27/81.60 หน่วยที่ 4 การดำเนินงานโครงการ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.08/81.75 หน่วยที่ 5 โครงการวิชาชีพประเภทสิ่งประดิษฐ์ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.56/81.60 และหน่วยที่ 6 การนำเสนอผลการจัดทำโครงการมีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 87.87/84.80 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด นั่นคือ นักศึกษาที่ได้เรียนโดยชุด

การสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน มีผลจากการทำกิจกรรมอย่างหลากหลาย และมีเนื้อหาที่ง่ายต่อผู้เรียน จึงทำให้นักศึกษาสามารถทำกิจกรรมจากแบบฝึกทักษะต่าง ๆ ได้ตามที่เกณฑ์กำหนด ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นด้วยเหตุผลดังนี้

5.1.1 นักศึกษาเป็นผู้ที่มีความสนใจวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน

5.1.2 ผู้วิจัยดำเนินการสอนโดยยึดหลักการพื้นฐาน คือ 1) การชี้แนะ คือการบอกหรืออธิบายให้นักศึกษามองเห็นแนวทางการเรียนรู้ 2) การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน คือ นักศึกษาแสดงความสามารถตอบคำถาม ซักถาม และการทำแบบฝึกหัด 3) การเสริมแรงด้วยการที่ครูใช้คำพูดชมเชย การยิ้ม พยักหน้า แสดงความสนใจในตัวนักศึกษาเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่มอย่างทั่วถึง ช่วยส่งเสริมให้นักศึกษามีความกล้าแสดงความสามารถของตนเอง และมีความสุขในการเรียนมากยิ่งขึ้น การที่นักศึกษาทำแบบฝึกหัดแล้วได้รับการตรวจให้คะแนนทันที ทำให้ทราบข้อผิดพลาดแล้วนำไปปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

5.1.3 การทดลองแต่ละรอบได้มีการพัฒนาชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ให้เหมาะสมกับนักเรียนโดยมีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ได้แก่ ความยืดหยุ่นของเวลา ความชัดเจนของข้อคำถามจึงทำให้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ให้เหมาะสมกับนักศึกษา โดยมีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ได้แก่ความยืดหยุ่นของเวลาความชัดเจนของข้อคำถาม และแบบฝึกปฏิบัติจึงทำให้ชุดการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากผลการวิจัยดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สัญญา โพธิ์วงษ์ [8] ได้สร้างและพัฒนาชุดการสอนวิชาเครื่องรับโทรศัพท์ระบบดิจิทัล ผลการวิจัย พบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 82.97/82.13 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 80/80 และยังสอดคล้องกับ ทองพูน เบญจเจ็ด [9] ได้สร้างและพัฒนาชุดการสอน เรื่อง การพัฒนาชุดการสอน วิชาวัดละอียด รหัสวิชา 2102-2004 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ ผลการวิจัย พบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 82.69/81.76 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

5.2 ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ

ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนนทดสอบหลังเรียน (Post-test) ของนักศึกษากลุ่มที่ใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน คะแนนเฉลี่ยทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 14.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 46.94 และ คะแนนเฉลี่ยการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 25.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 คิดเป็นร้อยละ 85.19 การหาดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ผลปรากฏว่า ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน มีค่าเท่ากับ 0.81 แสดงว่านักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 81 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน เป็นสื่อในการเรียนรู้ของนักศึกษาที่เรียนกันเป็นกลุ่มทำให้นักเรียนได้ร่วมกันศึกษาก่อนลงมือฝึกทักษะการทำโครงการ เมื่อไม่เข้าใจเนื้อหาที่สามารถกลับไปอ่านทบทวนได้อีกหรือนำไปอ่าน และฝึกทักษะการทำโครงการแบบนอกเวลาได้ ตลอดทั้งครูผู้สอนคอยกระตุ้นให้กำลังใจเสมอ จึงทำให้นักเรียนมีความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดการศึกษาของ จอห์น ดิวอี้และเดวิส เมื่อทำการหาดัชนีประสิทธิผล ชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ทั้ง 6 ชุดการสอนจึงผ่านเกณฑ์ดัชนีประสิทธิผล 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับ สงวน ศรีราม [9] ได้พัฒนาชุดการสอนวิชางานเครื่องมือกล 1 วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ พบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผลของสื่อการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 0.6651 ซึ่งหมายความว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 66.51 และยังสอดคล้องกับของ ชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์ [10] ได้สร้างและพัฒนาชุดการสอน วิชาการขับรถยนต์ รหัสวิชา 2101-2105 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอน วิชาการขับรถยนต์ รหัสวิชา 2101-2105 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 มีค่าเท่ากับ 0.7617 แสดงว่า นักเรียนมีคะแนนเพิ่ม จากก่อนเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.17

5.3 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ของนักศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดการสอนวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน ของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 โดยใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ รหัสวิชา 30101-8501 ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทั้งนี้เนื่องจากนักศึกษาได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเอง และเรียนรู้จากกลุ่มเพื่อนตลอดทั้งได้ฝึกทักษะการทำโครงการจากชุดการสอน และการเสริมแรงด้วยการที่ครูใช้คำพูดชมเชย การยิ้ม พยักหน้า แสดงความสนใจในตัวนักศึกษาเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่มอย่างทั่วถึง ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความกล้าแสดงความสามารถของตนเอง และมีความสุขในการเรียนมากยิ่งขึ้น การที่นักศึกษาทำแบบฝึกหัดแล้วได้รับการตรวจให้คะแนนทันที ทำให้ทราบข้อผิดพลาดแล้วนำไปปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษณะพล เรืองไพศาล [11] ได้สร้างชุดการสอน วิชาโปรแกรมเอ็นซีพื้นฐาน รหัสวิชา 20102-2009 ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดการสอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับ ไพศาล บุญลับ [12] ได้สร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชา วิชางานวัดละเอียดช่วงย่นต์ รหัสวิชา 2101-2106 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนมีค่าดัชนีประสิทธิผลของสื่อการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 0.6859 ซึ่งหมายความว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 68.59 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนจากแบบทดสอบก่อนเรียน/หลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ ยังสอดคล้องกับ อีระพล บุญธรรม [13] ได้พัฒนาชุดการสอน วิชา วิชางานวัดละเอียดช่วงย่นต์ รหัสวิชา 30101-2009 ด้วยเทคนิคการสอนแบบการฝึกลงมือปฏิบัติงานหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผลการวิจัย พบว่า ผู้เรียนมีค่าดัชนีประสิทธิผลของสื่อการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 0.7730 ซึ่งหมายความว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 77.30 เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.4 นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ

ด้วยเทคนิคการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 พบว่า พิจารณาโดยรวม นักศึกษามีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นไปตาม ขั้นตอนนักศึกษาได้ฝึกทักษะการทำโครงการจากง่ายไปหายาก และสื่อที่ครูใช้ประกอบการสอน คือ ชุดการสอนก็มีเนื้อหาที่ใช้มีความเหมาะสมกับวัย ความรู้ความสามารถของนักศึกษา หลังจากศึกษาด้วยชุดการสอนแล้ว นักศึกษาสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติในการทำโครงการได้ กิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นกันเอง ครูมีปฏิสัมพันธ์กับนักศึกษาตลอดเวลา เมื่อมีการทดสอบความสามารถแล้วก็มีผลสะท้อนผลให้นักศึกษาได้ทราบทันที นักศึกษาจึงได้พัฒนาการเรียนรู้ และแก้ไขข้อบกพร่องได้อย่างรวดเร็วจึงเกิดการเรียนรู้ด้วยความสุขกับเพื่อน ๆ ในกลุ่มเดียวกับ และเพื่อนร่วมชั้นเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สัญญา โพธิ์วังษ์ [8] ได้พัฒนาชุดการสอนวิชาเครื่องรับโทรทัศน์ระบบบีดีจีตอล ผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดการสอนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ งานวิจัยของ มานพ ห่วงภัย [14] ได้พัฒนาชุดการสอนการควบคุมอัจฉริยะด้วยวิธีการเรียนรู้ แบบกรณีศึกษา ผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดการสอนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ขจรศักดิ์ หอมสมบัติ และอนุสรณ์ จันทรประทักษ์ [15] ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบ โครงงานเป็นฐานรายวิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร เพื่อส่งเสริมทักษะการปฏิบัติ สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตร วิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคโนโลยีอิธิธรรมา ผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยชุดการสอนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และ ยัง สอดคล้องกับ ณัฏฐพงษ์ ฉายแสงประทีป [16] ได้ศึกษาการเรียนรู้อย่างมีประสบการณ์ในรายวิชา IMT 423 ระเบียบวิธีวิจัย สำหรับอุตสาหกรรมท่องเที่ยว ผลการวิจัย พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์การประเมินในระดับดีเยี่ยมคิดเป็นร้อยละ 37.04 และผู้เรียนมีความพึงพอใจจากการเรียนแบบลงมือปฏิบัติในระดับมาก

6.สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยดังนี้

6.1การพัฒนาชุดการสอนที่พัฒนาขึ้น

ใช้ร่วมกับสื่อประสมประกอบการบรรยาย คำอธิบาย ภาพ วีดิทัศน์ จำนวน 6 ชุดการสอน ประกอบด้วย คู่มือครู โครงการสอน แผนการจัดการ เรียนรู้ด้วยเทคนิคการสอนแบบ การฝึกลงมือปฏิบัติงาน เอกสารประกอบการเรียน สื่อการเรียนการสอนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียน

6.2ผลการหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาโครงการ

โดยทดลองกับนักศึกษาภาคสนาม จำนวน 25 คน อยู่ ระหว่าง 25.20 – 26.60 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ได้ค่า E_1 อยู่ 84.00 – 88.67 คะแนนสอบหลังเรียนมีค่าเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 8.04 – 8.48 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ค่า E_2 อยู่ระหว่าง 80.40 – 84.80 โดยหน่วยที่ 1 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 88.67/83.20 หน่วยที่ 2 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.00/80.40 หน่วยที่ 3 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.27/81.60 หน่วยที่ 4 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.08/81.75 หน่วยที่ 5 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 84.56/81.60 และหน่วยที่ 6 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 87.87/84.80 ค่าเฉลี่ยโดยรวม หน่วยการเรียนรู้ที่ 1-6 มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 85.74/82.23

6.3ดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ

จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนน ทดสอบหลังเรียน (Post-test) ของนักเรียนกลุ่มที่ใช้ ชุดการสอนวิชาโครงการ คะแนนเฉลี่ยทดสอบก่อนเรียน เท่ากับ 14.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 46.94 และ คะแนนเฉลี่ยการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 25.58 ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 คิดเป็นร้อยละ 85.19 ผล ปรากฏว่าดัชนีประสิทธิผลของชุดการสอนวิชาโครงการ มีค่า เท่ากับ 0.81 แสดงว่าผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 81

6.4ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา

จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหาประสิทธิภาพของ ชุดการสอนวิชาโครงการ โดยใช้ชุดการสอน หลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

6.5นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิชาโครงการ

พิจารณาโดยรวม ผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69

7. ข้อเสนอแนะ

7.1ครูผู้สอนควรวางแผนการสอน และเตรียมอุปกรณ์ที่ เหมาะสมกับนักเรียน ครูควรให้การเสริมแรงทางบวกเพื่อเป็น การกระตุ้นนักศึกษา

7.2ครูผู้สอนควรฝึกให้นักศึกษามีทักษะในการทำงานเป็นทีม ให้นักศึกษากล้าแสดงออก มีความสามัคคี และยอมรับความ คิดเห็นของผู้อื่น

7.3ผู้สอนที่สอนในวิชาโครงการ ด้วยเทคนิคการสอน แบบใช้ โครงการงานเป็นฐาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง พุทธศักราช 2563 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม ที่มี มาตรฐานในการสอนได้ใกล้เคียงกัน

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, *หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2563*, สำนักงานคณะกรรมการ การอาชีวศึกษา, 2563.
- [2] สุวิทย์ มูลคำและสุนันทา สุนทรประเสริฐ, *การพัฒนาผลงานทางวิชาการสู่การเลื่อน วิทยฐานะ*, บริษัทดวงกลมสมัยจำกัด, 2550.
- [3] ไชยยศ เรืองสุวรรณ, *การออกแบบพัฒนา โปรแกรมบทเรียนและบทเรียนบนเว็บ*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2545.
- [4] ชัยยงค์ พรหมวงศ์, “เทคนิคและ กระบวนการในการผลิตชุดการสอน”, [ออนไลน์] <http://inno-sawake.blogspot.com>.
- [5] สมบัติ ท้ายเรือคำ, *การวิจัยการศึกษาเบื้องต้น*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2546.
- [6] เฉติญ กิจระการ, *ดัชนีประสิทธิผล*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2544.
- [7] สัณญา โพธิ์วงษ์, “รายงานการพัฒนาชุด การสอนวิชาเครื่องรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอล”, วิทยาลัยเทคนิคนครนายก, 2561.

- [8] ทองพูน เบญจเจิด, “รายงานการพัฒนาชุดการสอนวิชาวัดละเอียด รหัสวิชา 2102-2004 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์”, วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์, 2557.
- [9] สงวน ศรีราม, “รายงานวิจัยการพัฒนาชุดการสอนวิชางานเครื่องมือกล 1 รหัส 2102-2106 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์”, วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์, 2555.
- [10] ชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์, “ชุดการสอนวิชาการขับรถยนต์ รหัสวิชา 2101-2105 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556”, *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, ปีที่ 5, หน้า 137-149, 2564.
- [11] กฤษณะพล เรืองไพศาล, “รายงานการพัฒนาชุดการสอนวิชาโปรแกรมเอ็นซีพื้นฐาน รหัสวิชา 2102-2009 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562”, วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์, 2564.
- [12] ไพศาล บุญลับ, “รายงานการพัฒนาชุดการสอนวิชา วิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ รหัสวิชา 2101-2106 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 สาขาวิชาช่างยนต์. วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์”, วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์, 2560.
- [13] ชีระพล บุญธรรม, “การสร้างและการพัฒนาชุดการสอนวิชางานวัดละเอียดช่างยนต์ รหัสวิชา 2101-2009 ด้วยเทคนิคการสอนแบบการฝึกลงมือปฏิบัติงาน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สำนักงานการอาชีวศึกษา”, *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, ปีที่ 6, หน้า 104-114, 2565.
- [14] มานพ ห่วงภัย, “การพัฒนาชุดการสอนควบคุมอัจฉริยะด้วยวิธีการเรียนรู้แบบกรณีศึกษา”, วิทยานิพนธ์. ปร.ด, ครุศาสตรไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556.
- [15] ขจรศักดิ์ หอมสมบัติและอนุสรณ์ จันทร์ประทีภ, “การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน รายวิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร เพื่อส่งเสริมทักษะการปฏิบัติ สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคโนโลยีธรรมาดา”, *ว.มร.ม.* ปีที่ 15, 2564, หน้า 55-66.
- [16] ณัฏฐพงษ์ ฉายแสงประทีป, “การศึกษาการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติในรายวิชา TMT423 ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับอุตสาหกรรมท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยศรีปทุม”, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2557.

การพัฒนาสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษา

ระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน

The Development of a Moodle-based Online Learning Media for CCTV Installation and Maintenance Training in accordance with the Department of Skill Development Standards

ชลดา ปานสง^{1*}, เกียรติศักดิ์ สมฤทธิ์², จิรพงษ์ จิตตะโคตร³, พัชรารวรรณ พูลใจ⁴, ศิวกร รัตนวราหะ⁵และ ธนพล แก้วคำแจ้ง⁶Chollada Pansong^{1*}, Kietisak Somrit², Jirapong Jittakort³, Patcharawan Pooljai⁴,Siwakorn Rattanawaraha⁵ and Thanapon Keokhumcheng⁶^{1*,2,3,4,5}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

⁶แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู หนองบัวลำภู 39000^{1*,2,3,4,5}

Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

⁶Department of Electronics, Nongbualamphu Technical College, NongBua Lam Phu, 39000

Received : 2023-09-21 Revised : 2023-10-17 Accepted : 2023-11-16

บทคัดย่อ

การวิจัยการพัฒนาสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน วัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ 2) หาประสิทธิภาพสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ 3) หาประสิทธิภาพชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนรายวิชา 02242101 ฝึกปฏิบัติงานโทรคมนาคม โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 12 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) เอกสารประกอบการฝึกอบรม 2) สื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ 3) ใบงานพร้อมชุดฝึกปฏิบัติ 4) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 5) แบบประเมินทักษะปฏิบัติงาน 6) แบบประเมินคุณภาพเอกสารประกอบการฝึกอบรม และ 7) แบบประเมินคุณภาพสื่อการสอน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC)

และค่าประสิทธิภาพของสื่อการสอน/ชุดฝึกอบรม โดยใช้สูตร E_1/E_2 คุณภาพของเอกสารประกอบการฝึกอบรม และสื่อการสอนประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและด้านสื่อการสอน จำนวนด้านละ 3 ท่าน ผลการประเมินคุณภาพของเอกสารประกอบการฝึกอบรม ภาพรวมพบว่าคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu = 4.67$, $\sigma = 0.32$) เมื่อจำแนกเป็นรายด้าน เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก ดังนี้ 1) การใช้ภาษา ($\mu = 5$, $\sigma = 0.0$) 2) ความถูกต้องของเนื้อหา ($\mu = 4.66$, $\sigma = 0.41$) และ 3) การเรียงลำดับเนื้อหา ($\mu = 4.50$, $\sigma = 0.19$) ตามลำดับส่วนคุณภาพของสื่อการสอน ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu = 4.41$, $\sigma = 0.53$) เมื่อจำแนกออกมาเป็นรายด้าน จากค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก ดังนี้ 1) รูปแบบการนำเสนอเนื้อหา ($\mu = 4.49$, $\sigma = 0.58$) 2) ตัวอักษร ภาพและการใช้สี ($\mu = 4.41$, $\sigma = 0.58$) และ 3) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ($\mu = 4.33$, $\sigma = 0.53$) ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด มีค่า E_1/E_2 เท่ากับ 83.68/82.84 และ 2) ประสิทธิภาพชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด มีค่าประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 89.23/87.03 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 80/80

* ชลดา ปานสง

E-mail address chollada_p@rmutt.ac.th

คำสำคัญ: บทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์, การหาประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม, กล้องวงจรปิด, การติดตั้งและบำรุงรักษากล้องวงจรปิด

Abstract

This research aimed to: 1) develop Moodle-based online learning materials for CCTV system installation and maintenance; 2) evaluate the effectiveness of Moodle-based online learning materials; and 3) create and evaluate training packages for CCTV system installation and maintenance. The sample consisted of 12 second-year students studying a B.S. Tech. Ed. (Electronics and Telecommunication Engineering) degree at Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), who were enrolled in the course (02242101) Telecommunication Skill Practices, selected by purposive sampling method. The following tools utilized in this research were: training documents, Moodle Cloud-based online learning media, job sheets with training sets, learning achievement assessment forms, practical skill and competency assessment forms, training document evaluation forms, and instructional media evaluation forms. The statistics used were: percentages, means, standard deviations, content validity, Index of Item-Objective Congruence: IOC, and E_1/E_2 .

The quality of training materials and instructional media were evaluated by 3 content and instructional design experts. The results of the assessment of the quality of training documents, in an overall perspective, indicated that they are at the highest level ($\mu = 4.67$, $\sigma = 0.32$). When categorized by specific aspects, they were ranked in descending order of highest average scores as follows: language usage ($\mu = 5$, $\sigma = 0.0$), 2) content accuracy ($\mu = 4.66$, $\sigma = 0.41$), and sequence of content ($\mu = 4.50$, $\sigma = 0.19$) respectively. The quality of instructional media, in an overall perspective, is at the highest level ($\mu = 4.41$, $\sigma = 0.53$). When categorized by specific aspects, they are ranked in descending order of

highest average scores as follows: content presentation format ($\mu = 4.49$, $\sigma = 0.58$), typography, images, and use of colour ($\mu = 4.41$, $\sigma = 0.58$), and 3) learning activity ($\mu = 4.33$, $\sigma = 0.53$) respectively.

The research findings indicated that: the effectiveness of Moodle Cloud-based online learning media for CCTV system installation and maintenance training has E_1/E_2 values of 83.68/82.84. The effectiveness of the CCTV system installation and maintenance training package has E_1/E_2 values of 89.23/87.03, which is higher than the established standard of 80/80 criteria.

Keywords: Moodle Cloud, training package effectiveness assessment, CCTV, CCTV installation and maintenance

1.บทนำ

กล้องวงจรปิดเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันเหตุร้ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยท้องที่ที่มีการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิด อัตราการเกิดอาชญากรรมเกี่ยวกับทรัพย์สิน มีจำนวนลดลง [1] การติดกล้องวงจรปิดเพื่อให้งานแทนคนเฝ้าดูแล สามารถทำงานได้นานและมีประสิทธิภาพมากกว่าคน ปัจจุบันยังคงขาดแคลนช่างฝีมือที่มีความรู้ความสามารถ จึงจำเป็นต้องพัฒนาบุคลากร เพื่อสร้างผู้เชี่ยวชาญที่มีทักษะในด้านการติดตั้งบริหารจัดการระบบกล้องวงจรปิด [2] ถ้าช่างขาดความรู้ความชำนาญในการติดตั้ง อาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร ไฟไหม้ หรือเกิดความผิดพลาดต่าง ๆ ในการติดตั้งได้ การแก้ไขปัญหของอุปกรณ์กล้องวงจรปิดก็ทำได้ยาก ช่างฝีมือจึงจำเป็นต้องพัฒนาศักยภาพเพื่อยกระดับฝีมือให้เป็นไปตามมาตรฐาน [3] ซึ่งชลดา ปานสง และคณะ [4] ได้พัฒนาชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามสมรรถนะของกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน โดยชุดฝึกอบรมประกอบด้วย เอกสารประกอบการฝึกอบรม ชุดฝึกปฏิบัติพร้อมใบงาน คู่มือการฝึกอบรม แบบทดสอบวัดสมรรถนะทางการเรียนพร้อมเฉลย และแบบประเมินทักษะปฏิบัติงาน ซึ่งขาดในส่วนสื่อการสอนภาคความรู้ ในการนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดฝึกอบรมให้ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยในปัจจุบันสื่อออนไลน์เข้ามามีบทบาทกับ

การเรียนการสอนเป็นอย่างมากในช่วงสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ซึ่งสถานศึกษาจำเป็นต้องจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต พัฒนาด้านการศึกษาที่สามารถปฏิสัมพันธ์ เพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ผู้คนทั่วโลกมีความสะดวกและสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว ไม่จำกัดสถานที่และเวลา เป็นการเรียนรู้ตลอดชีวิต [5]

โปรแกรมมูเดิลคลาวด์ (Moodle cloud) เป็นการนำเอารูปแบบของบริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มาใช้สนับสนุนในการเรียนการสอนในลักษณะเรียนผ่านเว็บ ผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับเนื้อหา บทเรียน และผู้สอน เหมือนอยู่ภายในห้องเรียนจริงในรูปแบบของห้องเรียนเสมือน (Virtual classroom) ข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว วิดีโอ เสียง และกิจกรรมต่าง ๆ เช่น สนทนาผ่านห้องสนทนา การตั้งกระทู้ถามตอบ บนกระดานข่าว หรือการส่งการบ้าน [6]

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนารูปแบบการนำเสนอเนื้อหาของชุดฝึกอบรม เรื่อง การติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสร้างสื่อในภาคความรู้และนำเข้าบนระบบออนไลน์มูเดิลคลาวด์ และในส่วนของภาคปฏิบัติ ได้ดำเนินการพัฒนาปรับปรุงใบงานและแบบประเมินทักษะให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น เพื่อให้บุคคลที่เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความรู้ ทักษะ และสามารถปฏิบัติได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

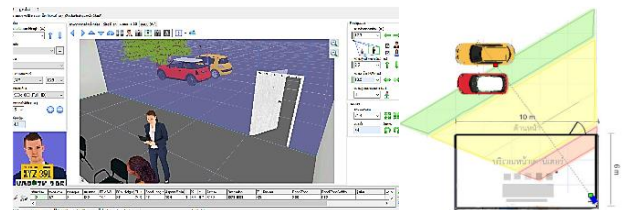
2.วิธีการวิจัย

การพัฒนาสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน ผู้วิจัยใช้เนื้อหาของหลักสูตรการฝึกยกระดับฝีมือ สาขาการติดตั้งและบำรุงรักษากล้องวงจรปิด (Installation and maintenance of CCTV) รหัสหลักสูตร 0920014200102 [7] หัวข้อดังนี้ 1) ความปลอดภัยในการทำงาน 2) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบกล้องวงจรปิด 3) อุปกรณ์ของระบบกล้องวงจรปิด 4) การติดตั้งระบบงานกล้องวงจรปิด 5) การตั้งค่าโปรแกรมบริหารจัดการ 6) การทดสอบและตรวจสอบระบบ 7) การวิเคราะห์ปัญหา ระบบและบำรุงรักษา โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

2.1การพัฒนาเอกสารประกอบการฝึกอบรม

2.1.1วิเคราะห์งานย่อย

การพัฒนาเอกสารประกอบการฝึกอบรม ได้ทำการพัฒนาจากชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามสมรรถนะของกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน [4][7] งานวิจัยเดิมซึ่งมีอยู่แล้ว โดยนำมาพิจารณา ปรับปรุง พัฒนาให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องมือ ตารางการวิเคราะห์งาน (Job listing sheet) และตารางวิเคราะห์งานย่อย (Task listing sheet) [8][9] โดยได้ปรับปรุงเนื้อหารายละเอียดอื่นเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และได้เพิ่มเติมเนื้อหาในส่วนของ 1) วิธีการสำรวจพื้นที่สำหรับการติดตั้งกล้องวงจรปิด ได้เพิ่มการใช้แอปพลิเคชันบนมือถือ ที่สามารถใช้สำหรับวัดขนาดสิ่งของต่าง ๆ 2) วิธีการคำนวณและออกแบบงานติดตั้งกล้องวงจรปิด ได้เพิ่มในส่วนของการใช้งานโปรแกรมเพื่อช่วยในการคำนวณและออกแบบ ซึ่งสามารถคำนวณระยะเลนส์ ขนาดของเลนส์ ความยาวโฟกัส ความจุของฮาร์ดดิสก์ แบนด์วิดท์ สามารถมองในมุมมองต่าง ๆ ได้ชัดเจนทุกจุดที่ต้องการ และ 3) เพิ่มการแจ้งเตือนการบุกรุกผ่านมือถือและอีเมล ตัวอย่างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบระบบติดตั้งกล้องวงจรปิด

2.1.2ประเมินความสำคัญของงานย่อย

การประเมินความสำคัญของการปฏิบัติงานย่อย โดยยึดความสำคัญต่องาน ความถี่ในการใช้ทำงาน และความยากในการฝึก โดยใช้ตารางการวิเคราะห์ความสำคัญของงาน (Task valuation sheet) [8][9] เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

2.1.3วิเคราะห์ความรู้/ทักษะ

วิเคราะห์ความรู้/ทักษะ จะทำให้ทราบว่างานย่อยนั้น ๆ ต้องมีความรู้หรือทักษะอะไรบ้างที่จำเป็นต้องมี เครื่องมือที่ใช้คือ ตารางรายละเอียดของงาน (Task detailing sheet) [8][9]

2.1.4วิเคราะห์วัตถุประสงค์

จะทำให้ทราบว่าในความรู้ ทักษะนั้น ๆ ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถทำอะไรได้บ้าง ทำได้ระดับใด ประกอบด้วยด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ เครื่องมือที่ใช้คือ ตารางวิเคราะห์วัตถุประสงค์ (Task detailing sheet) [8][9]

2.1.5 แบ่งหน่วยเรียน บทเรียน หัวข้อ

แบ่งออกเป็น 7 หน่วยเรียน ตามเนื้อหาของหลักสูตร [7] และวิเคราะห์จำแนกออกได้ทั้งหมด 27 บทเรียน โดยใช้ตารางแบ่งหน่วยเรียน/บทเรียน/หัวข้อ [8][9] เป็นเครื่องมือ

2.1.6 กำหนดวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ทั่วไปและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ซึ่งบันทึกลงในตารางกำหนดวัตถุประสงค์ [8][9]

2.1.7 กำหนดน้ำหนักคะแนนและเกณฑ์ผ่าน

เกณฑ์ผ่านผู้รับการฝึกที่ผ่านการประเมินผล และจะมีต้องระยะเวลาการฝึกไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของการฝึกทั้งหมด [7] ตามรายละเอียดดัง ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน [8][9]

2.1.8 สร้างเครื่องมือวัดผลการเรียน

การออกแบบและจำนวนข้อสอบ วิเคราะห์รายละเอียดตามตารางแผนการสร้างเครื่องมือวัดผลการเรียน [8][9]

2.1.9 กำหนดการฝึกอบรม

ใช้ระยะเวลาในการฝึกทั้งหมด 18 ชั่วโมง ตามรายละเอียดของหลักสูตร [7]

2.1.10 พัฒนาใบเตรียมการสอน ทั้งหมด 7 หน่วยเรียน

2.1.11 พัฒนาใบความรู้ ทั้งหมด 7 หน่วยเรียน

2.1.12 พัฒนาใบงาน

ใบงาน ประกอบด้วยทั้งหมด 5 ใบงาน ได้แก่ ใบงานที่ 1 การออกแบบติดตั้งกล่องวงจรปิด ใบงานที่ 2 การติดตั้งกล่องวงจรปิดแบบแอนะล็อก ใบงานที่ 3 การติดตั้งกล่องวงจรปิดแบบดิจิทัล ใบงานที่ 4 การใช้งานโปรแกรมบริหารจัดการ CMS และใบงานที่ 5 การทดสอบและบำรุงรักษาระบบของกล่องวงจรปิด



รูปที่ 2 เอกสารประกอบการและเครื่องมืออุปกรณ์ [4]

2.1.13 การหาคุณภาพเอกสารประกอบการฝึกอบรม

นำเอกสารประกอบการฝึกอบรมที่พัฒนาขึ้นทั้งหมด ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของเนื้อหา รวมถึงความเหมาะสมและความถูกต้องของลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติงาน โดยใช้แบบประเมินคุณภาพของเอกสารประกอบการฝึกอบรม

การวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ในภาพรวมคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu = 4.67$, $\sigma = .32$) เมื่อจำแนกออกมาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก ดังนี้ 1) การใช้ภาษา ($\mu = 5.0$, $\sigma = .0$) 2) ความถูกต้องของเนื้อหา ($\mu = 4.66$, $\sigma = .41$) และ 3) การเรียงลำดับเนื้อหา ($\mu = 4.50$, $\sigma = .19$) ตามลำดับ

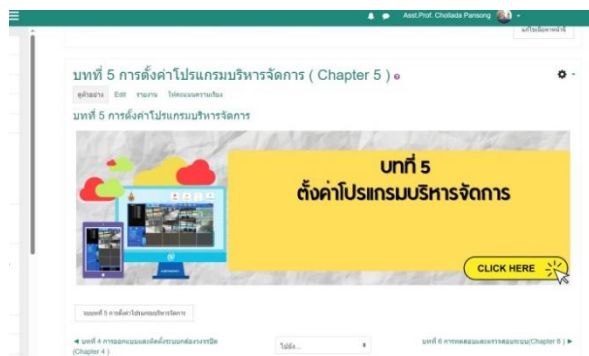
2.2 การพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ได้ข้อคำถามทั้งหมด 164 ข้อ แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ และนำมาวิเคราะห์ IOC [10] มีค่าเท่ากับ 0.99 แสดงว่าข้อคำถามกับวัตถุประสงค์มีความสอดคล้องกัน จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน เพื่อหาค่าความยากง่าย อำนาจจำแนก และความเป็นปรนัย [11]

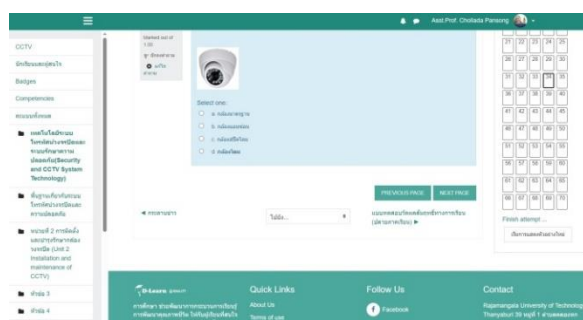
2.3 การสร้างสื่อบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์

ในการสร้างบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ [12] เรื่อง การฝึกอบรมติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล่องวงจรปิดนั้น ผู้วิจัยได้สร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (e-book) เพื่อบรรจุลงในโปรแกรมประกอบด้วยเนื้อหา แบบฝึกหัด แบบทดสอบ และสื่อวิดีโอ เพื่อเพิ่มความน่าสนใจ สำหรับการเข้าเรียนได้ที่ลิงก์ <https://dlearn.rmutt.ac.th/course/view.php?id=2054> หรือสามารถเรียนได้จากแอปพลิเคชันบนมือถือ

ในการเข้าเรียนนั้น ครูฝึกจะทำการเชิญผู้เข้ารับการฝึกอบรมที่สมัครเข้ามา เพื่อลงทะเบียนเรียนก่อนจึงสามารถเข้าเรียนได้ ในการจัดบทเรียนเริ่มจากง่ายไปหายาก จะเริ่มในหน่วยที่ 1 ถึงหน่วยที่ 7 โดยผู้เข้ารับการฝึกอบรมจะต้องทำแบบทดสอบก่อนเรียน จากนั้นก็ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ บทเรียน โดยมีรูปภาพและสื่อวิดีโอที่ลิงก์ไปยังยูทูป จากนั้นทำแบบฝึกหัดของแต่ละบท และแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียนจนผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ถึงจะมีสิทธิ์เข้าเรียนในหน่วยต่อ ๆ ไปได้ รูปแบบของบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ ดังรูปที่ 3



ก) บทเรียนออนไลน์โมดูลเคลคลาวด์



ข) แบบทดสอบในบทเรียนออนไลน์โมดูลเคลคลาวด์



ค) แอปพลิเคชันบนมือถือ

รูปที่ 3 รูปแบบของบทเรียนออนไลน์โมดูลเคลคลาวด์

2.4 การพัฒนาแบบประเมินทักษะการปฏิบัติงาน

การประเมินทักษะการปฏิบัติงาน เป็นการประเมินโดยครูผู้สอน การให้คะแนนในส่วนของการปฏิบัติงานและเจตคติ โดยนำวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม การนำหน้าคะแนน แผนการสร้างเครื่องมือวัด มากำหนดจำนวนหัวข้อในการประเมิน ประกอบด้วย 1) คำแนะนำในการประเมิน 2) วิธีการให้คะแนน ซึ่งจะแนะนำถึงสิ่งที่ต้องพิจารณา

และคำนึงถึงในการให้คะแนน 3) ตารางประเมิน 4) ผลการประเมิน 5) ช่องเพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรม ลงลายมือชื่อ และวันที่ที่ทำการประเมิน โดยการปรับปรุงหัวข้อประเมินการปฏิบัติงาน ตัวอย่างแบบประเมินทักษะการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบประเมินทักษะการปฏิบัติงาน

ใบงานที่ 1 งานออกแบบการติดตั้งกล้องวงจรปิด	การประเมิน	
	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1. สำรวจพื้นที่สำหรับติดตั้งกล้องวงจรปิดได้อย่างถูกต้อง		
เลือกที่ติดตั้ง มุมมองกล้อง มีความเหมาะสม มุมมองเป็นชัดในทุกจุด	3 คะแนน	3
เลือกที่ติดตั้ง มุมมองกล้อง ไม่สามารถมองเห็นได้ทุกจุด	0 คะแนน	
2. วัดระยะการเดินสายติดตั้งกล้องวงจรปิดได้อย่างถูกต้อง		
วัดระยะด้วยแอปพลิเคชันบนมือถือ	3 คะแนน	3
ไม่สามารถใช้แอปพลิเคชันบนมือถือ แต่สามารถวัดระยะด้วยตลับเมตร	2 คะแนน	
ไม่สามารถวัด กำหนดระยะการเดินสายได้	0 คะแนน	
3. เขียนแบบงานการติดตั้งกล้องวงจรปิดได้อย่างถูกต้อง		
เขียนแบบงานติดตั้งโดยใช้โปรแกรม IP Video System Design Tool ได้	5 คะแนน	5
ไม่สามารถเขียนแบบงานติดตั้งโดยใช้โปรแกรมได้ แต่เขียนแบบงานติดตั้งกล้องวงจรปิดด้วยมือ	3 คะแนน	
ไม่สามารถเขียนแบบติดตั้งกล้องวงจรปิดได้	0 คะแนน	
4. เลือกใช้อุปกรณ์ของกล้องวงจรปิดได้เหมาะสมกับงาน		
4.1 เลือกใช้กล้องวงจรปิดเหมาะสมกับงานที่ติดตั้ง	2 คะแนน	8
4.2 เลือกใช้เลนส์ได้เหมาะสมกับงาน	2 คะแนน	
4.3 เลือกใช้เครื่องบันทึกภาพและจอแสดงผลได้	2 คะแนน	
4.4 เลือกสายสัญญาณได้เหมาะสมกับงาน	2 คะแนน	
4.5 ไม่สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ในการติดตั้งกล้องวงจรปิดได้	0 คะแนน	
รวม	19 คะแนน	

2.5 การสร้างคู่มือการฝึกอบรม

ในการพัฒนาคู่มือการฝึกอบรมโดยหลัก ๆ จะมีคำแนะนำสำหรับการอบรม ใบความรู้ แบบฝึกหัด ใบงาน แบบประเมินทักษะการปฏิบัติงาน คู่มือที่สร้างขึ้นประกอบด้วยคู่มือผู้เข้ารับการฝึกอบรม และคู่มือผู้ฝึกอบรม ซึ่งได้จัดเตรียมไว้ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมและครูฝึก ในส่วนของครูฝึกจะมีเพิ่มเติมในส่วนของการเฉลย ใบงาน แบบฝึกหัด และข้อสอบ

2.6 การหาคุณภาพสื่อทบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์

หลังจากนั้นนำสื่อที่เป็นเอกสารและสื่อทบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ ไปหาคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อการสอนจำนวน 3 ท่าน พบว่า ในภาพรวมคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu=4.41$, $\sigma = 0.53$) เมื่อจำแนกออกมาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก ดังนี้ 1) รูปแบบการนำเสนอเนื้อหา ($\mu=4.49$, $\sigma =0.58$) 2) ตัวอักษร ภาพ และการใช้สี ($\mu=4.41$, $\sigma =0.58$) และ 3) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ($\mu=4.33$, $\sigma =0.53$) ตามลำดับ

2.7 การพัฒนาแบบประเมินคุณภาพของเอกสารประกอบการสอนและสื่อการสอน

2.7.1 ศึกษารูปแบบ วิธีการสร้างแบบสอบถามจากเอกสารตำราคู่มือ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.2 สร้างแบบสอบถามโดยกำหนดหัวข้อสำหรับการประเมิน ลักษณะของแบบสอบถามเป็นลักษณะมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ [13]

2.7.3 เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนเฉลี่ยของการประเมิน [13] ดังนี้

- 4.21 - 5.00 มีคุณภาพอยู่ในระดับ “มากที่สุด”
- 3.41 - 4.20 มีคุณภาพอยู่ในระดับ “มาก”
- 2.61 - 3.40 มีคุณภาพอยู่ในระดับ “ปานกลาง”
- 1.81 - 2.60 มีคุณภาพอยู่ในระดับ “น้อย”
- 1.00 - 1.80 มีคุณภาพอยู่ในระดับ “น้อยที่สุด”

2.8 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยจัดเตรียมเอกสาร วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งสถานที่ให้พร้อมต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อทบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ และชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงานกับกลุ่มตัวอย่าง โดยอบรมให้ทั้งภาคความรู้และภาคปฏิบัติเพื่อเก็บคะแนน รวบรวมข้อมูล แล้วนำมาที่ได้ไปวิเคราะห์ และประเมินผล โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.8.1 นักศึกษากลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปี 2 หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา 02242101 ฝึกปฏิบัติงานโทรคมนาคม จำนวน 12 คน

2.8.2 ผู้วิจัยได้นัดหมายวัน เวลา ในเก็บรวบรวมข้อมูล 3 วัน (18 ชั่วโมง) และสอบภาคปฏิบัติอีก 1 วัน

2.8.3 เมื่อถึงวันเก็บข้อมูล ครูฝึกเริ่มด้วยการทดสอบก่อนการฝึกอบรม (Pretest)

2.8.4 จากนั้นครูฝึก ก็สอนโดยอบรมเนื้อหาภาคความรู้ให้แก่ ผู้เข้ารับการฝึกอบรม โดยสามารถเรียนเพิ่มเติมได้จากบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ ภาคความรู้มีทั้งหมด 7 หน่วยเรียน

2.8.5 เมื่อทำการการอบรมจบในแต่ละบท ครูฝึกก็ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรม ทำแบบฝึกหัด และเมื่อจบในแต่ละหน่วย ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำแบบทดสอบหลังเรียนของแต่ละหน่วย เพื่อเก็บคะแนนระหว่างเรียน โดยทั้งหมดจะทำในบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ ได้เป็นคะแนน E_1 ในส่วนของภาคความรู้

2.8.6 จากนั้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรม ลงมือปฏิบัติการตามใบงาน ซึ่งมีทั้งหมด 5 ใบงาน ครูฝึกก็ทำการประเมินผลโดยการสังเกตการปฏิบัติงานและเจตคติของผู้เข้ารับการฝึกอบรม และลงคะแนนในแบบประเมินทักษะการปฏิบัติงานรายบุคคล จากนั้นรวบรวมคะแนนในแต่ละใบงาน จนครบ 5 ใบงาน เป็นคะแนน E_1 ของภาคปฏิบัติ

2.8.7 เมื่อทำการอบรมภาคความรู้ จนครบทั้ง 7 หน่วยเรียน จากนั้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสอบวัดผลสัมฤทธิ์ โดยทั้งหมดจะทำในบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ จะได้เป็นคะแนน E_2 ในส่วนของภาคความรู้

2.8.8 จากนั้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำการทดสอบภาคปฏิบัติเป็นรายบุคคล และครูฝึกทำการให้คะแนนรายบุคคล ด้วยแบบประเมินทักษะการปฏิบัติงาน ซึ่งได้เป็นคะแนน E_2 ในส่วนของภาคปฏิบัติ

2.8.9 นำข้อมูลคะแนนภาคความรู้และภาคปฏิบัติ ที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน



รูปที่ 4 บรรยายภาพการฝึกอบรม ภาคความรู้และภาคปฏิบัติ

3.ผลการวิจัย

3.1ผลการเก็บคะแนนแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน

เมื่อฝึกอบรมจบในแต่ละหน่วย ก็ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำแบบทดสอบหลังเรียนทุกหน่วย เป็นเก็บคะแนนระหว่างการฝึกอบรม จะได้เป็นคะแนน E_1 ในส่วนของภาคความรู้ แสดง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คะแนนระหว่างการฝึกอบรม (E_1 ภาคความรู้)

คนที่	คะแนนเก็บจากแบบทดสอบท้ายหน่วยที่							คะแนนรวม (164 คะแนน)
	1	2	3	4	5	6	7	
1	12	26	32	29	12	5	11	127
2	20	30	32	38	11	5	10	146
3	18	29	34	32	11	5	6	135
4	18	26	34	29	12	5	11	135
5	14	31	30	30	8	4	10	127
6	19	28	28	31	8	2	11	127
7	16	32	30	26	12	5	12	133
8	19	30	33	38	12	4	11	147
9	19	35	38	36	9	3	11	151
10	19	33	32	33	12	5	9	143
11	19	30	34	30	11	5	7	136
12	20	28	38	28	12	5	9	140
คะแนนรวม								1,647
คะแนนเฉลี่ย								137.25
คะแนนเฉลี่ยร้อยละ								83.68

คะแนนจากแบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน มีคะแนนเฉลี่ย 137.25 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 83.68

3.2ผลคะแนนระหว่างฝึกปฏิบัติงาน (E_1 ภาคปฏิบัติ)

การเก็บคะแนนระหว่างฝึกปฏิบัติ โดยให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรม ฝึกปฏิบัติตามใบงานตั้งแต่ 1- 5 และครูฝึกก็ทำการประเมิน โดยการสังเกตการปฏิบัติงานของผู้เข้ารับการฝึกอบรมรายบุคคล จะได้เป็นคะแนน E_1 ในส่วนของภาคปฏิบัติ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนระหว่างการฝึกอบรม (E_1 ภาคปฏิบัติ)

คนที่	คะแนนเก็บจากใบงาน					คะแนนเต็มรวม
	ใบงานที่ 1	ใบงานที่ 2	ใบงานที่ 3	ใบงานที่ 4	ใบงานที่ 5	
	เต็ม 19 คะแนน	เต็ม 43 คะแนน	เต็ม 43 คะแนน	เต็ม 11 คะแนน	เต็ม 15 คะแนน	
1	16	43	43	11	15	128
2	14	43	43	11	15	126
3	14	43	43	11	15	126
4	14	43	43	9	15	126
5	14	40	43	11	15	124
6	14	43	43	11	15	126
7	14	43	43	11	15	124
8	14	43	43	11	15	126
9	14	43	43	9	15	126
10	16	43	43	11	15	126
11	14	43	43	11	15	126
12	16	43	43	11	15	128
คะแนนรวม						1,512
คะแนนเฉลี่ย						126
คะแนนเฉลี่ยร้อยละ						96.18

คะแนนฝึกปฏิบัติระหว่างการฝึกอบรม มีคะแนนเฉลี่ย 126 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 96.18

3.3ผลการทดสอบภาคความรู้ (E_2 ภาคความรู้)

เมื่อเรียนครบทุกหน่วยแล้ว ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ภาคความรู้ จะได้เป็นคะแนน E_2 ในส่วนของภาคความรู้ ดังตารางที่ 4

3.4 ผลการทดสอบภาคปฏิบัติ (E₂ ภาคปฏิบัติ)

การทดสอบภาคปฏิบัตินั้น โดยให้สอบปฏิบัติเป็นรายบุคคล ซึ่งจะทดสอบ 2 แบบทดสอบย่อย โดยจะได้เป็นคะแนน E₂ ในส่วนของภาคปฏิบัติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการสอบวัดผลสัมฤทธิ์ภาคความรู้ และผลการสอบภาคปฏิบัติ

คนที่	การทดสอบภาคความรู้ (E ₂ ภาคความรู้)		การทดสอบภาคปฏิบัติ (E ₂ ภาคปฏิบัติ)			
	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	คะแนนเต็ม	การทดสอบ 1	การทดสอบ 2	คะแนนรวม
1	85	72	86	40	38	78
2	85	70	86	43	43	86
3	85	71	86	38	35	73
4	85	70	86	43	43	86
5	85	68	86	35	30	65
6	85	70	86	43	43	86
7	85	69	86	35	30	65
8	85	73	86	43	40	83
9	85	70	86	35	35	70
10	85	70	86	40	37	77
11	85	71	86	43	43	86
12	85	71	86	43	43	86
คะแนนรวม		845	คะแนนรวม		941	
คะแนนเฉลี่ย		70.41	คะแนนเฉลี่ย		78.42	
คะแนนเฉลี่ยร้อยละ		82.84	คะแนนเฉลี่ยร้อยละ		91.18	

ผลการสอบวัดผลสัมฤทธิ์ภาคความรู้ มีคะแนนเฉลี่ย 70.41 คะแนน เป็นร้อยละ 82.84 และผลการสอบภาคปฏิบัติ มีคะแนนเฉลี่ย 78.42 คะแนน เป็นร้อยละ 91.18

3.5 ผลการหาประสิทธิภาพสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์

การหาประสิทธิภาพสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์เป็นการรวบรวมคะแนนโดยเฉลี่ยระหว่างการฝึกอบรมและหลังการฝึกอบรม ของภาคความรู้ โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ [14] ของสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์สรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์

รายการ	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนระหว่างการอบรม (ภาคความรู้) (E ₁)	164	137.25	83.68	80
คะแนนจากการทดสอบหลังอบรม (ภาคความรู้) (E ₂)	85	70.41	82.84	80

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ มีค่า E₁/E₂ เท่ากับ 83.68/82.84

3.6 ผลการหาประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม

การหาประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม เป็นการรวบรวมคะแนนโดยเฉลี่ยในการฝึกอบรมของภาคความรู้และภาคปฏิบัติ จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรม [14] สรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม

รายการ	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนระหว่างฝึกอบรม (ภาคทฤษฎี+ภาคปฏิบัติ) (E ₁)	295	263.25	89.23	80
คะแนนทดสอบหลังฝึกอบรม (ภาคทฤษฎี+ภาคปฏิบัติ) (E ₂)	171	148.83	87.03	80

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน มีค่า E₁/E₂ เท่ากับ 89.23/87.03

4.อภิปรายผลและสรุป

จากผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสื่อทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์ สำหรับการฝึกอบรมการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบกล้องวงจรปิด ตามมาตรฐานกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน มีค่า E₁/E₂ เท่ากับ 83.68/82.84 และชุดฝึกอบรมที่ได้ทำการพัฒนา มีค่า E₁/E₂ เท่ากับ 89.23/87.03 นั้น ซึ่งมี

ประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 80/80 นั้น เนื่องจากการเป็นการสร้างสื่อบทเรียนและได้พัฒนาและปรับปรุงชุดฝึกอบรมเดิมที่มีประสิทธิภาพอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น และได้เพิ่มเติมในส่วนของการสอนภาคทฤษฎีที่สามารถเข้าเรียนหรือทบทวนได้โดยผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นตามขั้นตอนการสร้างสื่อการเรียนการสอนทุกขั้นตอน [8][9] ซึ่งสอดคล้องกับ ฉลองวุฒิ ศรีทองบริบูรณ์ [15] ได้วิจัยพัฒนาชุดฝึกทักษะปฏิบัติ วิชางานเครื่องมือกลเบื้องต้น เรื่อง งานตัด งานเจียรระโน และงานเจาะด้วยกระบวนการสอนรูปแบบ MIAP สำหรับผู้เรียน ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ โดยผลการวิจัยพบว่าค่าประสิทธิภาพชุดฝึกทักษะปฏิบัติมีค่าเท่ากับ 81.02/80.08 เนื่องจากผู้วิจัยเริ่มจากขั้นตอนจากการศึกษาปัญหาของผู้เรียน ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ มีการวิเคราะห์เนื้อหา และวัตถุประสงค์การเรียนรู้ การจัดทำแผนการเรียนรู้ กำหนดกิจกรรมการเรียนการสอน กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ และการประเมินผลการเรียนรู้ สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งได้สร้างตามขั้นตอนของนักการศึกษาอย่างเป็นระบบมีการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทุกขั้นตอน หลังจากนั้นนำไปทดลอง (Try out) หาประสิทธิภาพชุดฝึกทักษะปฏิบัติแบบ 1:1 และ 1:10 เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพตามที่ได้ตามที่กำหนดไว้แล้วนั้น ก็จะนำไปหาประสิทธิภาพ (1:100) กับกลุ่มตัวอย่างที่ได้กำหนด โดยมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 81.02/80.08 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80 และสอดคล้องกับ ชัยยงค์ พรหมวงศ์ [14] ได้กล่าวไว้ว่า สื่อหรือชุดการสอนได้รับการออกแบบ และพัฒนาอย่างดี มีคุณภาพ ค่า E_1 หรือ E_2 คำนวณและห่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นตัวชี้ที่จะยืนยันได้ว่า นักเรียนได้มีการเปลี่ยนพฤติกรรมต่อเนื่องตามลำดับขั้นหรือไม่ ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนพฤติกรรมขั้นสุดท้าย หรืออีกนัยหนึ่งต้องประกันได้ว่านักเรียนมีความรู้จริงไม่ใช่ว่ากิจกรรมหรือทำสอบได้เพราะการเดา และในส่วนของสื่อภาคความรู้นั้น ได้นำเอาเทคโนโลยีบทเรียนออนไลน์มูเดิลคลาวด์เข้ามาช่วย ทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความสนใจสะดวกซึ่งสามารถเข้าถึงและเรียนหรือทบทวนได้ทุกที่ ทุกเวลา และในบทเรียนก็สามารถลิงก์ไปยังวิดีโอเพื่อดูขั้นตอนต่าง ๆ ในการฝึกปฏิบัติก่อนจะลงมือปฏิบัติจริง ทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหามากยิ่งขึ้น จะส่งผลต่อการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Insuan, C., "Police officers' opinions toward physical environment factors causing property crime: a case study of Bangna police station responsibility area", *Journal of Integrated Sciences* ,13(1): 68-89, 2016. (in Thai)
- [2] Lerwongrat, K., Wasutawat, P., Onmak, K. and Lerdtomonsakul, U., "The effective development in using CCTV technology to support police station administration of metropolitan police bureau", *The Golden Teak : Humanity and Social Science Journal*, 21(2): 43-52, 2015. (in Thai)
- [3] SYS GROUP, "General knowledge about CCTV". [Online] <http://www.sysgroup.co.th>. (Accessed 18 March 2017). (in Thai)
- [4] Pansong, C., Junnoo, P., and Phosung, W., "CCTV installation and maintenance training package according to Department of Skill Development", In: *Proceedings of The 6th International Conference on Learning Innovation in Science and Technology & The 2nd National Conference on Learning Innovation in Science and Technology (ICLIST & NCLIST 2018) 21-24 March 2018*. Hua Hin, Thailand. 710-723, 2018. (in Thai)
- [5] Petsungkat, L., "General knowledge about E-learning" [Online]. <https://kruladda.wordpress.com>. (Accessed 18 March 2017). (in Thai)
- [6] Silpakorn University, "SU e-Learning system usage" [Online]. https://elearning.su.ac.th/pluginfile.php/4374/mod_resource/content/1/Manual.pdf. (Accessed 18 March 2017). (in Thai)

- [7] Department of Skill Development, “Skill level upgrade training course”, Installation and maintenance of CCTV (0920014200102), Department of Skill Development. Ministry of Labour. [Online]
<https://www.dsd.go.th/DSD/Doc/Download/6127>. (Accessed 18 March 2017). (in Thai)
- [8] Sirathanakul, K., “Instructional Multimedia Development”, Bangkok: Triple Education Co., Ltd. Press, 2013. (in Thai)
- [9] Promchan, S. “R-Course Development”, [Online] <http://www.fte.kmutnb.ac.th/km/R-Course%20Development.pdf>. (Accessed 18 March 2017). (in Thai)
- [10] Ritcharoon, P., *Research Methodology in Social Sciences*, Bangkok: House of Kermyst, Co., Ltd, 2004. (in Thai)
- [11] Thongbu, S., *Educational research*, Maha Sarakam: Apichart Printing, 2007. (in Thai)
- [12] Ruttanatrakul, A., *Create an e-Learning system with Moodle*, SE-Education Public Co., Ltd., 2010. (in Thai)
- [13] Ruangsuan, C., *Educational technology Theory and research*, Bangkok: Odion Store Co., Ltd., 1990. (in Thai)
- [14] Brahmawong, C., “Testing the effectiveness of media or teaching materials”, *Silpakorn Educational Research Journal* ,5(1): 7-20, 2013. (in Thai)
- [15] Srithongboriboon, C., “The development of the basic mechanical tool skill practical set in cutting, grinding, and drilling with the MIAP model teaching procedure for the vocational certificate students”, *Silpakorn Educational Research Journal* 12(1): 281-296, 2023. (in Thai)

การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี
ของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู

A STUDY ON THE USER'S SATISFACTION TOWARD THE ACCOUNTING SOFTWARE
PACKAGES FOR BUSINESS SECTORS IN NONG BAU LAMPHU PROVINCE

จิรัชญา ทศศรี^{1*}, ทองใหม่ สุรธรรม², พุทธรัตน์ ญาบุญเรือง³, เนตรนภา เซตใจ⁴ และ กิตติ์สุรีย์มงคล⁵
Jiratchaya Thatsri¹, Puttarat Thaboonruang², Thongmai Suratham³,
Netnapa Chetjai⁴ and Kitthiya Saksureemongkhon⁵

^{1*,2,3,4,5}สาขาการบัญชี วิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู หนองบัวลำภู 39000

^{1*,2,3,4,5}Accounting, Nongbualamphu Technical College, NongBua Lam Phu, 39000

Received : 2023-10-20 Revised : 2023-11-28 Accepted : 2023-11-29

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อ การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถาม ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) เท่ากับ 0.895 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.811 ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 169 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน ได้แก่ F-test (ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ส่วนใหญ่เป็น เพศหญิง อายุ 31 - 40 ปี ระดับทางการศึกษาปริญญาตรี ประสบการณ์ทำงาน 10 - 15 ปี และตำแหน่งงาน ลูกจ้าง ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ พบว่ารูปแบบธุรกิจส่วนใหญ่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเภทธุรกิจซื้อขายไป และระยะเวลาการดำเนินงาน มากกว่า 15 ปี ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรวม อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม ($\bar{X} = 4.56$, S.D.= 0.63) รองลงมาคือ ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์ ($\bar{X} = 4.30$, S.D.= 0.73)

ด้านความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น ($\bar{X} = 3.97$, S.D.= 0.84) ด้านราคา ($\bar{X} = 3.92$, S.D.= 0.79) และด้านผู้ขาย ($\bar{X} = 3.91$, S.D.= 0.73) ตามลำดับ นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 15 ปี และ 10-15 ปี มีความพึงพอใจโดยรวมมากกว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน 5-10 ปี และน้อยกว่า 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ : โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี

Abstract

The purpose of this research was to study the satisfaction of using accounting software packages for businesses in Nong Bau Lamphu Province. The questionnaire was distributed as a tool for collecting data. The results of the analysis of the reliability and consistency between the questions and the objectives (IOC) were equal to 0.895 and the confidence value was equal to 0.811. by selecting a specific type of 169 sample. Data was analyzed by employing percentage, mean, and standard deviation.

*จิรัชญา ทศศรี

E-mail address: Jirat2525.t@gmail.com

Statistics used in hypothesis testing include F-test (ANOVA).

The research results revealed that the majority of respondents are female, aged between 31-40 years old, holding a bachelor's degree, have over 10-15 years of working experience, most of them are employees. Most business type of business are buying and selling and operating. The business operation period are more than 15 years. Overall satisfaction of using accounting software packages for businesses in Nong Bua Lamphu Province was at a high level. Considering each aspect ordered from the highest to the least, they are quality and efficiency of the program ($\bar{X} = 4.56$, $S.D. = 0.63$), followed by the functions and capabilities of the software ($\bar{X} = 4.30$, $S.D. = 0.73$), and the compatibility of the operating system and programs. other ($\bar{X} = 3.97$, $S.D. = 0.84$), price ($\bar{X} = 3.92$, $S.D. = 0.79$), and seller ($\bar{X} = 3.91$, $S.D. = 0.73$), respectively. The overall satisfaction score of business accountant in Nong Bua Lamphu Province with more than 15 years of work experience and 10-15 years were more than those with work experience of 5-10 years and less than 5 years with a statistical significance at the 0.05 level.

Keywords : Accounting packaged program

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบสารสนเทศเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตและเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นสารสนเทศในลักษณะของบุคคลหรือสารสนเทศขององค์กร ล้วนแล้วแต่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้และช่วยในการตัดสินใจและการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน การค้นหาสาเหตุหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน ตรวจสอบการดำเนินงาน โดยระบบสารสนเทศช่วยให้ผู้ใช้ค้นหาและทำการแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วและทันเหตุการณ์ ภายใต้อุปกรณ์ที่มีความถูกต้อง มีคุณภาพเพียงพอ จักเก็บและบริหารอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ธุรกิจส่วนใหญ่ได้นำเอาเทคโนโลยี

ที่ทันสมัยเข้าใช้เป็นเครื่องมือในการปฏิบัติงานทั้งทางด้านการตลาด ด้านการผลิต ด้านการจัดการทรัพยากรมนุษย์ ด้านการเงิน และด้านการบัญชีดังนั้นการจัดทำสารสนเทศทางการบัญชีจึงเปลี่ยนจากการจัดเก็บ การบันทึก การประมวลผลและจัดทำรายงานด้วยมือ มาเป็นการจัดเก็บ การบันทึก การประมวลผล และจัดทำรายงานด้วยคอมพิวเตอร์ [1]

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับงานด้านบัญชีโดยเฉพาะเป็นแอปพลิเคชันพื้นฐานที่ช่วยให้กับบัญชีสามารถทำบัญชีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี ส่วนใหญ่ธุรกิจจะใช้โปรแกรมที่มีคุณภาพ อาทิเช่น โปรแกรมบัญชี Express, AccCloud, SMEMOVE, CD Organizer, Business Plus, Quadra เป็นต้น เพื่อความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ช่วยให้ธุรกิจทราบกำไรที่แท้จริงขององค์กร ธุรกิจทราบฐานะทางการเงินของกิจการ เป็นเครื่องมือสนับสนุนการหาแหล่งเงินทุนของธุรกิจ เป็นเครื่องมือในการเสียภาษี การวางแผนธุรกิจ การปรับปรุงและพัฒนาธุรกิจให้เจริญก้าวหน้าต่อไปได้ ธุรกิจจึงตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลา [2] โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพและมีปัจจัยที่สำคัญสามารถทำให้เกิดตัดสินใจเลือกของผู้บริหารได้ อาทิเช่น ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์ ด้านความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น ด้านผู้ขาย ด้านราคา ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม เป็นต้น [3]

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู วัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู เมื่อได้รับการตอบสนองต่อความต้องการผลเกิดจากการปฏิบัติงานของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้สามารถเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานใช้งานโปรแกรมบัญชีสำเร็จรูปต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

ศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู

3.สมมุติฐานของการวิจัย

3.1ศึกษาความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีอยู่ในระดับมากทุกด้าน

3.2ความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีโดยรวม ที่มีประสบการณ์ทำงานแตกต่างกัน มีความพึงพอใจต่างกัน

4.กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยประยุกต์จาก ญัฐพัชร อภิวัฒน์ไพศาล [3] โดยผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้

4.1ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์

4.2ด้านความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น

4.3ด้านผู้ขาย

4.4ด้านราคา

4.5 ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม

5.วิธีการดำเนินงานวิจัย

5.1ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.1.1ประชากร (Population) ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรูปแบบของธุรกิจได้แก่ เจ้าของคนเดียว ห้างหุ้นส่วนจำกัด และบริษัทจำกัด ที่มีทุนจดทะเบียน ไม่เกิน 5 ล้านบาท จำนวน 300 ราย [5]

5.1.2กลุ่มตัวอย่าง (Sample) ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรูปแบบของธุรกิจได้แก่ เจ้าของคนเดียว ห้างหุ้นส่วนจำกัด และบริษัทจำกัด ที่มีทุนจดทะเบียน ไม่เกิน 5 ล้านบาท จำนวน 169 ราย [5] โดยเปิดตาราง Krejcie and Morgan [4] และใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

5.2เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งได้สร้างตามวัตถุประสงค์และกรอบแนวคิดที่กำหนดขึ้น ได้แบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ธุรกิจ ในจังหวัดหนองบัวลำภู ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบตรวจสอบรายการ (checklist) จำนวน 5 ข้อ ประกอบไปด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ทำงาน ตำแหน่งงาน

ตอนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบตรวจสอบรายการ (checklist) จำนวน 3 ข้อ ประกอบไปด้วย ประเภทของธุรกิจ รูปแบบของธุรกิจ ระยะเวลาของธุรกิจ

ตอนที่ 3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) ทั้ง 5 ด้าน ประกอบด้วย 1. ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์ 2. ด้านความเข้ากันได้ระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น 3. ด้านผู้ขาย 4. ด้านราคา 5. ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม

ตอนที่ 4 ความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีโดยรวม ที่มีประสบการณ์ทำงานแตกต่างกัน

5.3การสร้างและพัฒนาเครื่องมือ

5.3.1ศึกษาเรื่องความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู จากเอกสาร ตำราบทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดกรอบแนวคิด และสร้างแบบสอบถาม

5.3.2นำผลการศึกษาจากข้อ 1 มาจัดทำโครงร่างของแบบสอบถามตามประเด็นสำคัญโดยครอบคลุมถึงกรอบแนวคิด ความมุ่งหมาย และสมมุติฐานของการวิจัย

5.3.3นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นตามกรอบแนวคิดเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยเพื่อพิจารณาความเหมาะสม ความถูกต้องของการใช้ภาษา และครอบคลุมเนื้อหาของการวิจัย แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

5.3.4ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา แล้วนำเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และครอบคลุมเนื้อหาของการวิจัย

5.3.5ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยพิจารณาอีกครั้ง

5.3.6นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปทดสอบใช้ (Try-Out) กับสถานประกอบการอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับธุรกิจในจังหวัด

หนองบัวลำภู จำนวน 30 คน หรือที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

5.3.7 ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1) การหาความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่ได้สร้างและพัฒนาขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงในด้านเนื้อหา ภาษา ข้อความ ความหมาย และโครงสร้าง แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ หาค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามของแต่ละข้อกับจุดประสงค์ของเนื้อหา (Index of item Objective Congruence หรือ IOC) มีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไปถือว่าสามารถนำไปใช้ได้ [6] ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 0.895

2) การหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) คือการนำแบบสอบถามในส่วนที่เป็นมาตราส่วนประเมินค่า มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α) (Alpha-reliability Coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงมากกว่า 0.80 แสดงว่าสามารถใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ [7] ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 0.811

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.4.1 ดำเนินการจัดทำแบบสอบถามตามจำนวนประชากร และกลุ่มตัวอย่าง พร้อมตรวจสอบเอกสารเตรียมทำการสำรวจ

5.4.2 ดำเนินการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง คือ ธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยการแจกแบบสอบถามด้วยตนเอง และการส่งไปรษณีย์ตามที่อยู่ของกลุ่มตัวอย่าง

5.4.3 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถามจากการสำรวจที่สมบูรณ์ เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

5.5 การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามคือ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ธุรกิจจังหวัดหนองบัวลำภู โดยใช้วิธีการประมวลผลทางหลักสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage)

ตอนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ ธุรกิจจังหวัดหนองบัวลำภู โดยใช้วิธีการประมวลผลทางหลักสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage)

ตอนที่ 3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจจังหวัดหนองบัวลำภู โดยใช้วิธีการประมวลผลทางหลักสถิติเชิงพรรณนา นำข้อมูลที่รวบรวมได้ มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยนำเสนอ ข้อมูลในรูปแบบตารางควบคู่กับการบรรยาย และสรุปผลการดำเนินการวิจัย

โดยกำหนดการให้คะแนนคำตอบของแบบสอบถาม ดังนี้ [5]

ระดับความคิดเห็นมากที่สุด	กำหนดให้	5	คะแนน
ระดับความคิดเห็นมาก	กำหนดให้	4	คะแนน
ระดับความคิดเห็นปานกลาง	กำหนดให้	3	คะแนน
ระดับความคิดเห็นน้อย	กำหนดให้	2	คะแนน
ระดับความคิดเห็นน้อยที่สุด	กำหนดให้	1	คะแนน

แล้วนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้ [4]

ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึงมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51–4.50 หมายถึงมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51–3.50 หมายถึงมีความคิดเห็นอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51–2.50 หมายถึงมีความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00–1.50 หมายถึงมีความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ตอนที่ 4 เปรียบเทียบความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี โดยรวม ที่มีประสบการณ์ทำงานแตกต่างกัน มีความพึงพอใจต่างกันโดยใช้การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระกัน

(Independent Samples Test) ใช้การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มากกว่า 2 กลุ่ม ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

5.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.6.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่

- 1) ร้อยละ (Percentage)
- 2) ค่าเฉลี่ย (Mean)
- 3) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

5.6.2 สถิติที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม

ได้แก่ การหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability Test) โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach)

5.6.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

ได้แก่ F-test (ANOVA)

6. ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
1.1 ชาย	56	33.14
1.2 หญิง	113	66.86
รวม	169	100.00
2. อายุ		
2.1 ต่ำกว่า 20 ปี	3	1.78
2.2 อายุ 20 – 30 ปี	37	21.89
2.3 อายุ 31 – 40 ปี	78	46.15
2.4 สูงกว่า 40 ปี	51	30.18
รวม	169	100.00
3. ระดับการศึกษา		
3.1 ต่ำกว่าปริญญาตรี	33	19.53
3.2 ปริญญาตรี	125	73.96
3.3 สูงกว่าปริญญาตรี	11	6.51
รวม	169	100.00
4. ประสบการณ์ทำงาน		
4.1 น้อยกว่า 5 ปี	39	23.08
4.2 5 – 10 ปี	28	16.57
4.3 10 – 15 ปี	66	39.05
4.4 มากกว่า 15 ปี	36	21.30
รวม	169	100.00
5. ตำแหน่งงาน		
5.1 เจ้าของธุรกิจ	42	24.85
5.2 ลูกจ้าง	124	73.37
5.3 อื่น ๆ	3	1.78
รวม	169	100.00

จากตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าส่วนใหญ่เป็น เพศหญิง จำนวน 113 คน (คิดเป็นร้อยละ 66.86) เพศชาย จำนวน 56 (คิดเป็นร้อยละ 33.14) ส่วนใหญ่ อายุ 31-40 ปี จำนวน 78 คน (คิดเป็นร้อยละ 46.15) อายุ สูงกว่าอายุ 40 ปีจำนวน 51 คน (คิดเป็นร้อยละ 30.18) อายุ 20 – 30 ปี จำนวน 37 คน (คิดเป็นร้อยละ 21.89) และต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 3 คน (คิดเป็นร้อยละ 1.78) ระดับทางการศึกษา ปริญญาตรี จำนวน 125 คน (คิดเป็นร้อยละ 73.96) ต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 33 คน (คิดเป็นร้อยละ 19.53) สูงกว่าปริญญาตรี จำนวน 11 คน (คิดเป็นร้อยละ 6.51) ประสบการณ์ทำงาน 10-15 ปี จำนวน 66 คน (คิดเป็นร้อยละ 39.05) น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 39 คน (คิดเป็นร้อยละ 23.08) มากกว่า 15 ปี จำนวน 36 คน (คิดเป็นร้อยละ 21.30) 5-10 ปี จำนวน 28 คน (คิดเป็นร้อยละ 16.57) ตำแหน่งงาน ลูกจ้าง จำนวน 124 คน (คิดเป็นร้อยละ 73.37) เจ้าของธุรกิจจำนวน 42 คน (คิดเป็นร้อยละ 24.85) อื่น ๆ จำนวน 3 คน (คิดเป็นร้อยละ 1.78)

ตอนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ

ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ	จำนวน	ร้อยละ
1. รูปแบบธุรกิจ		
1.1 เจ้าของคนเดียว	57	33.73
1.2 ห้างหุ้นส่วนจำกัด	59	34.91
1.3 บริษัทจำกัด	53	31.36
รวม	169	100.00
2. ประเภทธุรกิจ		
2.1 ธุรกิจผลิตสินค้า	34	20.12
2.2 ธุรกิจซื้อมาขายไป	85	50.29
2.3 ธุรกิจบริการ	50	29.59
รวม	169	100.00
3. ระยะเวลาการดำเนินงาน		
3.1 น้อยกว่า 5 ปี	8	4.73
3.2 5 – 10 ปี	43	25.44
3.3 10 – 15 ปี	53	31.36
3.4 มากกว่า 15 ปี	65	38.46
รวม	169	100.00

จากตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ พบว่า รูปแบบธุรกิจส่วนใหญ่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด จำนวน 59 ราย (คิดเป็นร้อยละ ประเภทธุรกิจ ส่วนใหญ่เป็นธุรกิจ ซื้อมาขายไป จำนวน 85 ราย (คิดเป็นร้อยละ 50.29) ธุรกิจบริการ จำนวน 50 ราย (คิดเป็นร้อยละ 29.59) ธุรกิจผลิตสินค้า จำนวน 34 ราย (คิดเป็นร้อยละ 20.12) และระยะเวลาการดำเนินงาน มากกว่า 15 ปี จำนวน 65 ราย (คิดเป็นร้อยละ 38.46) รองลงมาคือ 10-15 ปี จำนวน 53 ราย (คิดเป็นร้อยละ 31.16) 5-10 ปี จำนวน 43 ราย (คิดเป็นร้อยละ 25.44) และน้อยกว่า 5 ปี จำนวน 8 ราย (คิดเป็นร้อยละ 4.73)

ตอนที่ 3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป
ทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป
ทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู
โดยรวม

ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปทาง การบัญชี	$\bar{X}$	S.D.	ความ คิดเห็น
1. ด้านฟังก์ชันและ ความสามารถของซอฟต์แวร์	4.30	0.73	มาก
2. ด้านความเข้ากันได้ของ ระบบปฏิบัติการและโปรแกรม อื่น	3.97	0.84	มาก
3. ด้านผู้ขาย	3.91	0.73	มาก
4. ด้านราคา	3.92	0.79	มาก
5. ด้านคุณภาพและ ประสิทธิภาพในการทำงาน ของโปรแกรม	4.56	0.63	มากที่สุด
รวม	4.14	0.75	มาก

จากตารางที่ 3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรวม อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม ($\bar{X}$ = 4.56, S.D.=0.63) รองลงมาคือ ด้านฟังก์ชันและความสามารถของ

34.91) เจ้าของคนเดียว จำนวน 57 ราย (คิดเป็นร้อยละ 33.73) บริษัทจำกัดจำนวน 53 ราย (คิดเป็นร้อยละ 31.36) ซอฟต์แวร์ ($\bar{X}$ = 4.30, S.D. = 0.73) ด้านความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น ($\bar{X}$ = 3.97, S.D. = 0.84) ด้านราคา ($\bar{X}$ = 3.92, S.D. = 0.79) และด้านผู้ขาย ($\bar{X}$ = 3.91, S.D. = 0.73) ตามลำดับ

ตอนที่ 4 ความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี โดยรวม ที่มีประสบการณ์ทำงานแตกต่างกัน มีความพึงพอใจต่างกัน

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัด
หนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป
ทางการบัญชี โดยรวม ที่มีประสบการณ์ทำงาน
แตกต่างกัน

ประสบการณ์ทำงาน		น้อย กว่า5 ปี	5- 10ปี	10 - 15 ปี	มากกว่า 15 ปี
น้อยกว่า5ปี 5-10ปี 10-15ปี มากกว่า15ปี	$\bar{X}$	4.11	4.24	4.43	4.64
	4.11	-	-	0.000*	0.000*
	4.24			-	0.247
	4.43				-
	4.64				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสบการณ์การทำงานกับความพึงพอใจของนักบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี โดยรวมแตกต่างกัน พบว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ในการทำงานแตกต่างกัน มีความพึงพอใจโดยรวมแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ พบว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 15 ปี และ 10-15 ปี มีความพึงพอใจโดยรวมมากกว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน

5-10 ปี และน้อยกว่า 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

7.สรุปผล

7.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ส่วนใหญ่เป็น เพศหญิง อายุ 31-40 ปี ระดับทางการศึกษา ปริญญาตรี ประสบการณ์ทำงาน 10-15 ปี ตำแหน่งงาน ลูกจ้าง

7.2 ข้อมูลทั่วไปของธุรกิจ พบว่า รูปแบบธุรกิจส่วนใหญ่คือ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเภทธุรกิจ ส่วนใหญ่เป็นธุรกิจซื้อขายไป และระยะเวลาการดำเนินงาน มากกว่า 15 ปี

7.3 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรวม อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม รองลงมาคือ ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์ ด้านความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น ด้านราคา และด้านผู้ขายตามลำดับ

7.4 นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน มากกว่า 15 ปี และ 10-15 ปี มีความพึงพอใจโดยรวมมากกว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน 5-10 ปี และน้อยกว่า 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

8.อภิปรายผล

8.1 ความพึงพอใจที่มีต่อการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู โดยรวมและเป็นรายด้าน อยู่ในระดับมาก เนื่องจาก การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลกเพื่อความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือของการทำบัญชีในปัจจุบัน ความทันเวลาในการรายงานงบการเงิน ช่วยให้ธุรกิจทราบกำไรที่แท้จริงขององค์กร ธุรกิจทราบฐานะทางการเงินของกิจการ เป็นเครื่องมือสนับสนุนการหาแหล่งเงินทุนของธุรกิจ เป็นเครื่องมือในการเสียภาษี การวางแผนธุรกิจ การปรับปรุงพัฒนาธุรกิจให้เจริญก้าวหน้าต่อไปได้ และปัจจัยด้านอื่น ๆ และยังสามารถทำให้การจัดทำบัญชีสามารถแข่งขันกันผู้ทำบัญชีอื่นได้ ซึ่งทำให้เกิดความพึงพอใจของผู้ใช้งาน อาทิเช่น ด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม ด้านฟังก์ชันและความสามารถของซอฟต์แวร์ และด้านความเข้ากันได้ของ

ระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพัชร อภิวัฒน์ไพศาล [3] ได้จัดทำรายงานการวิจัยเรื่อง องค์ประกอบของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีของธุรกิจที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริหารฝ่ายบัญชี ผู้ใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี สามารถจัดทำงบการเงินรวมได้จากโปรแกรมฯ สามารถรายงานผลการดำเนินงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ แผนภูมิ ไดอะแกรม หรืออื่น ๆ ที่ผู้ใช้งานต้องการ องค์ประกอบด้านผู้ขาย ด้านผลิตภัณฑ์ สามารถให้ความรู้ ฝึกอบรมแก่ผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เหมาะสมกับการดำเนินงานของกิจการ

8.2 นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน มากกว่า 15 ปี และ 10-15 ปี มีความพึงพอใจโดยรวมมากกว่า นักบัญชีธุรกิจในจังหวัดหนองบัวลำภู ที่มีประสบการณ์ทำงาน 5-10 ปี และน้อยกว่า 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากนักบัญชีที่มีประสบการณ์ทำงานเป็นระยะเวลานาน สามารถเข้าใจและมีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีได้มากกว่า นักบัญชีที่มีประสบการณ์ทำงานน้อย และส่งผลทำให้เกิดการประยุกต์การใช้โปรแกรมต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้น การเชื่อมโยงข้อมูลในองค์กร การเข้าถึงข้อมูลของโปรแกรม การติดต่อสื่อสารประสานงานของเจ้าของระบบ ตลอดจนด้านการบรรลุเป้าหมายความสำเร็จของการรายงานทางบัญชี เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องบางส่วนกับงานวิจัยของ สุภาภรณ์ ทับเทศ และ ฉัตรพล มณีกุล [8] ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง ความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีที่มีผลต่อความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชี ผลการวิจัยพบว่า 1) ผู้ทำบัญชีมีความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชี โดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด และมีความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ทางการบัญชีโดยรวมอยู่ในระดับมาก 2) ผู้ทำบัญชีที่มีอายุแตกต่างกันมีความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชีแตกต่างกัน และ 3) ความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ทางการบัญชีที่มีผลต่อความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชี คือ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ด้านการเชื่อมต่อภายในองค์กร ด้านการบันทึกข้อมูลรายวัน และด้านการบันทึกข้อมูล

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

9.1.1 งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่ผู้ใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี ยี่ห้อต่าง ๆ ได้

9.1.2 งานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีได้

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับวิจัยครั้งต่อไป

9.2.1 งานวิจัยในครั้งต่อไปสามารถเพิ่มเติมโปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี ยี่ห้ออื่นได้ ที่มีความทันสมัยหรือทันต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน

9.2.2 สามารถใช้สถิติเชิงอนุมานเพื่อให้งานวิจัยมีคุณค่าเชิงวิชาการเพิ่มมากขึ้น

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาภรณ์ ทับเทศ และฉัตรพล มณีกุล, ความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีที่มีผลต่อความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชี, *วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น*, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, 2563.
- [2] ฐานันตร์ เกตุแก้ว, “การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ค้นคว้าอิสระ, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ, 2559.
- [3] ณัฐพัชร์ อภิวัฒน์ไพศาล, ปัจจัยพยากรณ์การตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีในเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี, *วารสารศิลปะศาสตร์และวิทยาการจัดการ* 1, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, 2565.
- [4] สุนิทร เป้าธรรม, *วิจัยทางการบัญชี (Accounting Research)*, บริษัท ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2558.
- [5] กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, *ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง*, สำนักงานพัฒนาธุรกิจการค้าจังหวัดหนองบัวลำภู, 2563.
- [6] สุรพงษ์ คงสัตย์ และ อธิชาติ ธรรมวงศ์, “ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อความของแต่ละข้อกับจุดประสงค์ของเนื้อหา IOC”, [Online] <https://www.mcu.ac.th/article/detail/14329>. (เข้าถึงเมื่อ: 21 ตุลาคม 2566).
- [7] ไพศาล วรคำ, อ้างถึงในจักรพงษ์ แผ่นทอง, “การหาค่าความเชื่อมั่น ของแบบสอบถาม”, [Online] <https://krujakkramong.com>. (เข้าถึงเมื่อ: 21 ตุลาคม 2566)
- [8] สุภาภรณ์ ทับเทศ และฉัตรพล มณีกุล, “ความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการบัญชีที่มีผลต่อความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านการบัญชี”, *วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น*, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, 2563.

การพัฒนาคุกกี้แคลเซียมสูงด้วยการเสริมผงกระดูกปลา The Development of High Calcium Cookie via Fishbone Powder fortifying

นนทยา นวลงาม¹, บังอร เหม้ง² และ ณชยุต จันทโชติกุล^{3*}

Nanthiya Naunngam¹, Bung-Orn Hemung² and Nachayut Chanshotikul^{3*}

^{1,2,3*}สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หนองคาย 43000

^{1,2,3*}Department of Applied Sciences, Faculty of Interdisciplinary Studies, Khon Kaen University, Nong Khai 43000

Received : 2023-05-29 Revised : 2023-07-18 Accepted : 2023-09-04

บทคัดย่อ

การพัฒนาคุกกี้ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มแคลเซียมธรรมชาติโดยการเติมผงกระดูกปลาชนิดต่างๆ ผลของการเติมผงกระดูกปลาดุก ปลานิล และปลาตะเพียน (ร้อยละ 10) ต่อคุณภาพของคุกกี้ที่ได้รับการศึกษา ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบชี้ให้เห็นว่าการเติมผงกระดูกปลามีส่วนช่วยเพิ่มโปรตีนได้ ปริมาณแร่ธาตุธรรมชาติก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นดังหลักฐานการพบปริมาณเถ้าทั้งหมดมากขึ้น คุกกี้ที่เติมผงกระดูกปลาดุกได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปลาชนิดอื่นๆ ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในคุกกี้เสริมผงกระดูกปลาดุกมีค่า 8.66 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากขึ้นประมาณ 4 เท่า จากผลการศึกษาครั้งนี้ ผงกระดูกปลาดุกที่ร้อยละ 10 มีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับคุกกี้ได้

คำสำคัญ : คุกกี้, แคลเซียมธรรมชาติ, ผงกระดูกปลา

Abstract

The objective of this study aimed to increase natural calcium cookie by fortifying with the fishbone powder (FBP) from different species. Effects of FBP from catfish, tilapia, and carp (10%) on qualities of cookies were investigated. The proximate analysis suggested that fortification of cookie with FBP could increase protein content. The natural mineral content was also

improved as evidenced by an increase in total ash content. Cookies fortified with FBP from catfish was most accepted compared to others. The total calcium content in cookie fortified by FBP from catfish was reported at 8.66 mg/g, which was about 4 folds. Based on this study, FBP from catfish at 10% had a potential to fortify natural mineral and calcium in cookie.

Keywords: Cookie, Natural calcium, Fish bone powder

1. บทนำ

คุกกี้ (Cookie) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก ด้วยคุณลักษณะที่มีความขึ้นตำทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน คุกกี้ผลิตได้จากแป้งสาลี น้ำตาล ไข่ เนย (เนยสด เนยขาว หรือ เนยเทียม) ส่วนผสมดังกล่าวที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะได้รับการขึ้นรูปและอบที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 180 องศาเซลเซียส จนได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งและมีความคงตัวต่อการเก็บรักษา การที่คุกกี้มีส่วนผสมของแป้งสาลีและไขมันค่อนข้างสูง (ร้อยละ 24) ทำให้ถูกมองว่าเป็นอาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวที่ต้องควบคุมปริมาณการบริโภคสำหรับกลุ่มผู้รักสุขภาพหรือกลุ่มผู้ที่ต้องการควบคุมพลังงาน การพัฒนาคุกกี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทำได้หลากหลาย การเสริมสารเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยการทดแทนแป้งสาลีได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

*ณชยุต จันทโชติกุล

E-mail address: nachayut@kku.ac.th

การเพิ่มแร่ธาตุธรรมชาติที่มาจากกระดูกหรือผงปลาป่นก็เป็นอีกแนวทางหนึ่ง กระดูกปลาขนาดเล็กพบว่าเป็นแหล่งของแคลเซียมธรรมชาติได้เป็นอย่างดี [1] การทดแทนแป้งสาลีด้วยผงกระดูกปลาป่นในคุกกี้ได้รับการศึกษาโดย Abdel-Moemin [2] นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์เสริมผงโปรตีนปลาที่ได้รับการศึกษาเช่นกัน [3] การเสริมสารดังกล่าวทำให้เพิ่มปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามการทดแทนผงโปรตีนปลาและผงกระดูกปลาป่นยังพบวก่อให้เกิดข้อขัดข้องด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส อันเนื่องมาจากกลิ่นรสผิดปกติของโปรตีนกลั่นเนื้อและไขมันที่หลงเหลืออยู่ ดังนั้นการเสริมแร่ธาตุธรรมชาติในคุกกี้ด้วยผงกระดูกปลาควรได้รับการพัฒนาเพื่อลดผลกระทบต่อการยอมรับด้านกลิ่นรส

ผงกระดูกปลา (Fish bone powder) ผลิตได้จากก้างหรือกระดูกปลาซึ่งเป็นของเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากการแปรรูปปลา กระบวนการผลิตผงกระดูกปลานิลดังที่เคยได้รับการพัฒนาโดย [4] มีขั้นตอนการกำจัดโปรตีนกลั่นเนื้อและไขมันผงที่ได้จึงน่าจะมีส่วนในการลดผลกระทบด้านกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ นอกจากนั้นผงกระดูกปลาที่ผลิตได้ยังเป็นแหล่งของโปรตีนคอลลาเจนและแร่ธาตุธรรมชาติได้เป็นอย่างดี [5]-[6] โดยเฉพาะแคลเซียมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาการของกระดูกและฟัน ผงกระดูกปลาที่ได้มีส่วนช่วยเพิ่มแคลเซียมธรรมชาติในไส้กรอกปลา [7] และหมูยอ [8] ได้เป็นอย่างดี การเสริมผงกระดูกปลาในขนมปังก็ได้รับการศึกษาและพบว่าแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ขนมปังมีส่วนถูกย่อยได้เป็นอย่างดี [9] การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้มีการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์ [10] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวโอ๊ตในคุกกี้เนยเพื่อลดการหืน [11]

การพัฒนาคุกกี้ในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ผงกระดูกปลาในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์คุกกี้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค ผลการศึกษาน่าจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์สูงสุดจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาเพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่สอดคล้องกับนโยบายการลดของเสียในห่วงโซ่อุปทานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1การผลิตผงกระดูกปลา

ผงกระดูกปลาได้รับการผลิตตามวิธีการที่ดัดแปลงมาก่อนหน้านี้ [4] ก้างปลาตุก ปลานิล และ ปลาตะเพียน ถูกนำไปให้ความร้อนในสารละลายต่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อย่อยเย็นและแช่ข้ามคืน กระดูกที่ผ่านการแช่แล้วถูกนำมากรองแยกสารละลายออกตามด้วยการล้างด้วยน้ำประปาจนสารละลายเป็นกลาง นำกระดูกปลาที่ได้ไปให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันด้วยหม้อนึ่งอัดความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อบกระดูกที่ได้ด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ข้ามคืน นำกระดูกปลาที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 mesh ผงกระดูกที่ได้ถูกนำไปเก็บไว้ในถุงพลาสติกในโถดูดความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

2.2 การผลิตคุกกี้เสริมผงกระดูกปลา

ส่วนผสมของคุกกี้ได้รับการจัดเตรียมดังตารางที่ 1 ผสมส่วนผสมที่เป็นผง ได้แก่ แป้งสาลี (ที่ผ่านการร่อนแล้ว) ผงกระดูกปลา ผงฟู และวานิลลาให้เข้ากันดีด้วยเครื่องปั่นผสม (ยี่ห้อ NANOTECH รุ่น NT-B5) และพักไว้ 5 นาที จากนั้นทำการผสมเนยสดกับเนยเทียมและน้ำตาลไอซิ่งโดยการตีปั่นด้วยเครื่องปั่นหัวใบไม้ที่ระดับความเร็วปานกลาง นาน 6 นาที ลดความเร็วลง ขณะปั่นผสมด้วยความเร็วต่ำ เติมน้ำเกลือและผสมที่เป็นผง ตีผสมพอเข้ากัน (รวมเวลาปั่นที่ความเร็วต่ำประมาณ 3 นาที) ใช้ไม้พายยางกวนส่วนผสมให้เข้ากัน ตักส่วนผสมใส่อุปกรณ์บีบคุกกี้ก่อนทำการบีบเนื้อคุกกี้ลงถาด ครึ่งละ 10 กรัม จนหมด ทำการอบคุกกี้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที นำคุกกี้ที่สุกแล้วออกจากเตา พักให้เย็นบนตะแกรง แบ่งบรรจุใส่ถุงพลาสติกถ่วงละ 100 กรัม เพื่อเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) เพื่อรอการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคูกี้เนยสูตรควบคุมและสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยผงกระดุกปลาชนิดต่าง ๆ ที่ร้อยละ 10

สูตร	ส่วนผสม (กรัม)									
	ผงกระดุกปลาชนิดต่าง ๆ			แป้งสาลี	น้ำตาล	เนย	เนยเทียม	ไข่ไก่	วานิลลา	ผงฟู
	ปลาดุก	ปลานิล	ปลาดตะเพียน							
ควบคุม	0	0	0	300	125	100	130	65	5	5
ผงกระดุกปลาดุก	30	0	0	270	125	100	130	65	5	5
ผงกระดุกปลานิล	0	30	0	270	125	100	130	65	5	5
ผงกระดุกปลาดตะเพียน	0	0	30	270	125	100	130	65	5	5

2.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส

การยอมรับด้านประสาทสัมผัสได้ถูกประเมินโดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการอบรมมาแล้วจำนวน 30 คน ทำการประเมินความชอบคูกี้แต่ละสูตรในด้านต่างๆ ดังนี้ คือลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบแบบ 9 ระดับ (9-points hedonic scale) (9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) และนำคะแนนความชอบที่ได้จากแต่ละคนสำหรับแต่ละสูตรมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 การทดสอบค่าสี

ค่าสีของตัวอย่างคูกี้ที่ได้รับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer แสดงผลเป็นค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) a^* คือ ค่าสีแดงหรือสีเขียว (a เป็น + วัดภูมิสีแดง ส่วน a เป็น - วัดภูมิสีเขียว) และค่า b^* คือ ค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b เป็น + วัดภูมิสีเหลือง ส่วน b เป็น - วัดภูมิสีน้ำเงิน) รายงานค่าดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

คูกี้แต่ละสูตรได้รับการประเมินองค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC(2000) วิเคราะห์หาความชื้นด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดโดยการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยประเมินจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและแปลงเป็นค่าโปรตีนด้วยตัวคูณ 6.25 (Conversion factor) ปริมาณเถ้าทั้งหมดได้จากการเผาเถ้าแห้ง รายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมในคูกี้สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ คูกี้เสริมผงกระดุกปลาดุก ได้รับการคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) โดยตัวอย่างคูกี้ถูกย่อยด้วยกรดไนตริก (ร้อยละ 69) ด้วยสัดส่วน 1:5 ทำการกรองและปรับปริมาณก่อนนำส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณแคลเซียมที่ค่าดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอมของธาตุแคลเซียมที่ 422.67 รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 3 ซ้ำ

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

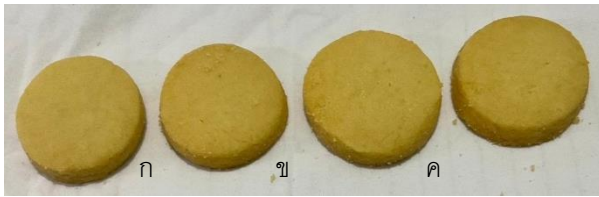
ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี One Way ANOVA test ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของชุดข้อมูลด้วยวิธี Duncan's multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตคูกี้เสริมผงกระดุกปลาได้รับการพัฒนามาก่อนหน้านี้ ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการเติมผงกระดุกปลาที่ระดับมากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้ความชอบโดยรวมที่ประเมินทางประสาทสัมผัสมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 5 ใน 9) (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ผลดังกล่าวนำมาสู่การเลือกปริมาณของผงกระดุกปลาที่ร้อยละ 10 เพื่อต่อยอดในการศึกษาผลของผงกระดุกปลาชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพโดยรวมของคูกี้ คูกี้เสริมผงกระดุกปลาได้รับการผลิตจนประสบความสำเร็จและได้คูกี้ที่มีลักษณะปรากฏที่คล้ายคลึงกันจนไม่อาจแยกแยะได้ด้วยตาเปล่า (รูปที่ 1) ดังนั้น ผลการประเมินและตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่น ๆ จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพของคูกี้สูตรต่าง ๆ

3.1 ผลการทดสอบค่าสี

ค่าสีของคุกกี้ตัวอย่างควบคุมและคุกกี้สูตรผงกระดุกปลาชนิดอื่น (ตารางที่ 2) ในขณะที่เป็นสีแดงและความเป็นสีเหลือง กลับพบว่ามีความมากในตัวอย่างคุกกี้สูตรผงกระดุกปลา ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการเสริมผงกระดุกปลาทำให้คุกกี้มีสีชาวลดลงและมีความเป็นสีน้ำตาลอมแดงเพิ่มมากขึ้น ลักษณะปรากฏดังกล่าวน่าจะเป็นคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ประเภทนี้



รูปที่ 1 คุกกี้สูตรควบคุม (ก) สูตรผงกระดุกปลา (ข) ผงกระดุกปลานิล (ค) และ ผงกระดุกปลาตะเพียน (ง)

ตารางที่ 2 ค่าสีของคุกกี้เสริมผงกระดุกปลาชนิดต่าง ๆ ที่ร้อยละ 10

สูตรคุกกี้	ค่าสี		
	L	*a*	*b*
ควบคุม	87.66±0.02 ^a	10.64±0.02 ^c	45.72±0.05 ^b
ผงกระดุกปลา	81.44±0.11 ^c	13.27±0.13 ^a	47.64±0.16 ^a
ผงกระดุกปลานิล	87.44±0.40 ^a	10.11±0.13 ^d	45.42±0.52 ^b
ผงกระดุกปลาตะเพียน	84.17±0.29 ^b	11.98±0.16 ^b	45.90±0.25 ^b

^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05), *ค่า Mean±SE จากการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสอย่างเป็นระบบได้ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินการยอมรับต่อคุณภาพของคุกกี้สูตรต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามการประเมินทางประสาทสัมผัสอย่างเป็นระบบได้ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินการยอมรับต่อคุณภาพของคุกกี้สูตรต่าง ๆ ผลการประเมินโดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการอบรม (Trained panelists) ไม่พบความแตกต่างของการยอมรับของผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นที่น่าสังเกตว่า การยอมรับด้านกลิ่นรสของคุกกี้เสริมผงกระดุกปลาได้รับการยอมรับที่ลดลงในสูตรที่มีการเสริมผงกระดุกปลานิลและปลาตะเพียน หากแต่เสริมผงกระดุกปลาตุ๋นยังคงมีความไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมซึ่งให้ค่าการยอมรับกลิ่นรสที่ดีที่สุด ผลดังกล่าวส่งผลกระทบต่อค่าความชอบโดยรวมของคุกกี้ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ที่เติมผงกระดุกปลาชนิดต่าง ๆ ที่ร้อยละ 10

สูตรคุกกี้	คุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส				
	*ลักษณะที่ปรากฏ	*สี	*กลิ่นรส	*เนื้อสัมผัส	*ความชอบโดยรวม
ควบคุม	7.87±1.11 ^a	7.53±1.41 ^a	7.87±1.14 ^a	7.80±1.19 ^a	8.13±0.90 ^a
ผงกระดุกปลา	7.73±1.29 ^a	7.93±1.05 ^a	7.20±1.75 ^{ab}	7.73±0.94 ^a	7.53±1.25 ^{ab}
ผงกระดุกปลานิล	7.70±1.37 ^a	7.80±0.93 ^a	6.63±1.54 ^b	7.47±1.22 ^a	7.37±1.59 ^b
ผงกระดุกปลาตะเพียน	7.87±1.22 ^a	8.03±1.00 ^a	6.80±1.58 ^b	7.33±1.27 ^a	7.30±1.26 ^b

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) (n=30) *ค่า Mean±SE

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าความชอบโดยรวมของคุกกี้มีค่าลดลงเมื่อเสริมผงกระดุกปลานิลและปลาตะเพียน

ที่ร้อยละ 10 ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า การเสริมผงกระดุกปลาจากปลานิลที่ร้อยละ 24

ในคูกี้ทำให้ค่าการยอมรับลดลง [2] อย่างไรก็ตาม การเสริมผงกระดูกปลาตุกที่ระดับดังกล่าวยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในระดับที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการใช้ผงกระดูกปลาตุกเป็นแหล่งแร่ธาตุธรรมชาติเพื่อเสริมในผลิตภัณฑ์คูกี้ที่ร้อยละ 10 ไม่กระทบต่อปัจจัยคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

3.3 องค์ประกอบทางเคมีคูกี้เสริมผงกระดูกปลา

คูกี้ที่ผลิตได้แต่ละสูตรมีความชื้นที่ต่ำ (ตารางที่ 4) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์จะมีความเสถียรและสามารถเก็บรักษาได้นาน การทดแทนผงกระดูกปลาทำให้ค่าความชื้นของคูกี้ลดลงเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการลดแป้งสาลีทำให้ความสามารถในการจับโมเลกุลของน้ำลดลง เมื่อมีการทดแทนผงกระดูกปลาชนิดต่าง ๆ พบว่าส่งผลต่อปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตที่ต่างกัน โดยการเสริมผงกระดูกช่วยเพิ่มโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์และแหล่งของโปรตีนที่ดีคือผงกระดูกจากปลาตุกและปลาตะเพียน ส่วนปริมาณไขมันพบว่าการเสริมกระดูกปลานิลในคูกี้ทำได้

ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันลดลงเล็กน้อยซึ่งไม่น่าจะกระทบต่อความรู้สึกขณะบริโภคอาหาร (Mouth feel) ในขณะที่ปริมาณไขมันในคูกี้ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยผงกระดูกปลา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมประมาณ 4 เท่า ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีชี้ให้เห็นว่าผงกระดูกปลาสามารถเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเพิ่มแร่ธาตุธรรมชาติให้กับคูกี้ได้เป็นอย่างดี แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากในผงกระดูกปลา โดยผงกระดูกปลานิลพบว่ามีค่าร้อยละ 75.83 ± 0.12 [4] ดังนั้นการเสริมผงกระดูกปลาในคูกี้ก็น่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมธรรมชาติในคูกี้ได้ เมื่อพิจารณาผลการประเมินทางประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าคูกี้เสริมผงกระดูกปลาตุกเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมและมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นปริมาณโปรตีนและไขมันทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณไขมันที่ลดลง ดังนั้น จึงควรแก่การนำไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมเพื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมต่อไป

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของคูกี้เสริมผงกระดูกปลาชนิดต่าง ๆ ที่ร้อยละ 10

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
สูตรคูกี้	*ความชื้น	*โปรตีน	*ไขมัน	*เถ้า
ควบคุม	2.35 ± 0.05^a	6.30 ± 0.24^b	32.48 ± 0.29^b	1.20 ± 0.05^d
ผงกระดูกปลาตุก	1.43 ± 0.03^c	7.02 ± 0.03^a	31.99 ± 0.12^c	4.42 ± 0.10^b
ผงกระดูกปลานิล	1.80 ± 0.02^b	6.53 ± 0.09^b	32.80 ± 0.05^a	4.88 ± 0.12^a
ผงกระดูกปลาตะเพียน	1.86 ± 0.07^b	6.97 ± 0.36^a	32.35 ± 0.05^b	4.15 ± 0.02^c

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$), *ค่า Mean $\pm$ SE จากการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4 ปริมาณแคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมในคูกี้เสริมผงกระดูกปลาตุกซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมเป็นอย่างดี ได้รับการตรวจวิเคราะห์ ผลการศึกษาค้นพบว่าค่า 8.33 มิลลิกรัม/กรัม ในขณะที่คูกี้สูตรควบคุมมีค่าดังกล่าวอยู่ที่ 2.12 มิลลิกรัม/กรัม ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่าการเติมผงกระดูกปลาตุกร้อยละ 10 ทำให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มมากขึ้นประมาณ 4 เท่า สอดคล้องเป็นอย่างดีกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุทั้งหมด (ตารางที่ 4) ดังนั้นการนำคูกี้หรือกระดูกปลาที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูป

มาผลิตเป็นผงกระดูกทำให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการแปรรูปปลาได้ ผงกระดูกที่ได้มีศักยภาพในการเป็นสารเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์คูกี้ได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มโปรตีนหรือแร่ธาตุธรรมชาติ การเสริมผงดังกล่าวในผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณที่เหมาะสม นอกจากจะไม่กระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้วยังเป็นช่องทางในการเสริมแร่ธาตุธรรมชาติให้กับผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพัฒนาการของกระดูกและฟัน อย่างเช่น แคลเซียม การรับแคลเซียมธรรมชาติน่าจะมีผลดีต่อพัฒนาการของร่างกายมากกว่าการเสริมแคลเซียมในรูปของ

เกลืออนินทรีย์ มีรายงานวิจัยในก่อนหน้านี้ว่าการได้รับแคลเซียมธรรมชาติมีผลต่อการออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีในหนูทดลอง การเติมผงกระดูกในขนมปังและนำไปเป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับหนูทดลอง [9] พบว่าอาหารหนูที่เตรียมจากขนมปัง (Bread based diet) ที่มีส่วนผสมของผงกระดูกช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมที่เอื้ออำนวยต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย (Bioavailable calcium) การนำผลพลอยได้ของการแปรรูปปลามาใช้ประโยชน์ต่อเนื่องในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารยังส่วนหนึ่งในการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรด้วยการใช้ทรัพยากรปลาอย่างคุ้มค่าตามนโยบายการผลิตที่มีของเสียเป็นศูนย์ (Zero-waste production) ของการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารอย่างยั่งยืน

4. สรุปผลการวิจัย

คุกกี้เพื่อสุขภาพที่พัฒนาจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงกระดูกปลาคูที่ร้อยละ 10 มีความเป็นไปได้ในการผลิตเนื่องจากไม่กระทบต่อคุณภาพและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม กระบวนการดังกล่าวมีส่วนช่วยเพิ่มโปรตีนแร่ธาตุทั้งหมด และแคลเซียมธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ กระดูกหรือก้างปลาที่เป็นผลพลอยได้ของการแปรรูปจึงมีศักยภาพในการเก็บเกี่ยวเพื่อนำกลับมาเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความช่วยเหลือในการวิเคราะห์แคลเซียมในคุกกี้จาก ผศ.ดร. มานพ ศรีอุทธา ขอขอบคุณคณะสหวิทยาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานศึกษาวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Larsen, T. and et al, "Whole small fish as a rich calcium source", *British Journal of Nutrition*, 83(2), p191-196, 2000.
- [2] Abdel-Moemin, A.R. "Healthy cookies from cooked fish bones", *Food Bioscience*, 12, p114-121, 2015.

- [3] Souza, M.L.R. and et al. "Fish carcass flour from different species and their incorporation in tapioca cookies", *Future Foods* 5, p1-8, 2002.
- [4] Hemung, B. "Properties of Tilapia Bone Powder and Its Calcium Bioavailability Based on Transglutaminase Assay", *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4), p306-309, 2013.
- [5] Sriuttha, M., Chantarangsee, M. and Hemung, B. "Characteristics of Tilapia Bone Powder and Calcium Extraction by Acid Solution". *Asian Journal of Chemistry* 26, pS103-S106, 2014.
- [6] Malde, M. K. and et al. "Calcium from salmon and cod bone is well absorbed in young healthy men: a double-blinded randomized crossover design". *Nutrition and Metabolism* 7, p1-9, 2010.
- [7] Hemung, B. and Sriuttha, M. "Effects of tilapia bone calcium on the qualities of tilapia sausage", *Kasetsart Journal: Natural Science*, 48, p790-798, 2014.
- [8] Chanshotikul, N. and et al., "Increasing calcium and dietary fiber of Mu Yo using fish bone and konjac flour", *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 23(01), p1-8, 2018.
- [9] Juma, S., Sohn, E. and Arjmandi, B. "Calcium-enriched bread supports skeletal growth of young rats", *Nutrition Research* ,19(3), p389-399, 1999.
- [10] โสมรัตน์ กล้ากล่อมจิตร, ชุตติพร วุฒิ และ อนุชา ลิ้มหา พงศธร "การพัฒนาลิขสิทธิ์คุกกี้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไส้สับปะรด", *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 27(2), , หน้า 1357-1374, 2565.
- [11] ทิวาวรรณ วิลามาต, นฤมล บุญช่วย และ นภมณี มงคล ประเสริฐ "การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวโอ๊ตในคุกกี้เนยเพื่อลดการหิวน้ำ", *การเกษตรราชภัฏ*, ปีที่ 7(2), หน้า 39-48, 2551.

แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทาน สำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

A Digital Operation Model for Educational Loan Fund Management in Supply Chain for Institution Education in Thailand

อรรถพล จันทรสมุทร^{1*} และ ทศนีย์ ลักขณาภิชนชัช²

Artaphon Chansamut^{1*} and Tassanee Laknapichonchat²

^{1*}สำนักงานคณบดี คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120

^{1*}Dean office Faculty of home Economic Technology ,Rajamangla university of Technology Krungthp , Bangkok, 10120

Received : 2023-07-03 Revised : 2023-07-19 Accepted : 2023-09-04

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้เพื่อพัฒนา และประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านห่วงโซ่อุปทาน จำนวน 10 คนซึ่งคัดเลือกโดยการสุ่มแบบเจาะจง วิเคราะห์ข้อมูลโดยค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยนี้พบว่า แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทยมี 8 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบหลัก ผู้ส่งมอบ ผู้บริหารสถานศึกษา วิทยาเขต ลูกค้า ผู้บริโภค ความพึงพอใจ และการคืนกลับ ผลการประเมิน ผู้ทรงคุณวุฒิ ยอมรับแบบจำลองมีความเหมาะสมระดับมาก ($\mu = 4.07$, $\sigma = 0.93$) เห็นว่าแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย สามารถนำไปใช้ทำงานได้จริง

คำสำคัญ : แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัล,การจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทาน, สถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

Abstract

The purpose of this research were to develop and assess a digital operation model for educational loan fund management in supply chain for institution education in Thailand. The sample group consists of ten qualified people selected by purposive sampling method. Data were analyzed by arithmetic mean and standard deviation. The results of this research revealed that assess a digital operation model for educational loan fund management in supply chain for institution education in Thailand consists of eight elements namely: main element, suppliers, school administrators, campus , customers , consumers , satisfaction and backward . An evaluation results from qualified people acceptance of the model was a high level and. ($\mu = 4.07$, $\sigma = 0.93$) found that a digital operation model for educational loan fund management in supply chain for institution education in Thailand can be appropriately used in actual work settings.

Keywords : A digital operation model, education loan fund management in supply chain , higher education institutes in Thailand

*อรรถพล จันทรสมุทร

E-mail address: artaphon.mail.rmutk.ac.th

1. บทนำ

กองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) จัดตั้งขึ้นตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2538 และมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2539 ให้เริ่มดำเนินการกองทุนในลักษณะเงินทุนหมุนเวียน ตามมาตรา 12 แห่งพระราชบัญญัติเงินคงคลัง พ.ศ. 2491 ต่อมารัฐบาลได้เห็นความสำคัญของกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษามากขึ้นจึงได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา พ.ศ. 2541 มีผลให้กองทุนให้กู้ยืมเงินเพื่อศึกษามีฐานะเป็นนิติบุคคล โดยอยู่ภายใต้กำกับดูแลกระทรวงการคลังกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) นับเป็นกลไกที่สำคัญของรัฐบาลในการสนับสนุนขยายโอกาสการศึกษา และพัฒนาการศึกษาของประเทศ เพื่อให้เยาวชนไทยได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพได้มาตรฐานและเท่าเทียมกัน โดยสนับสนุนค่าเล่าเรียน ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และค่าครองชีพแก่นักเรียนที่ขาดแคลนทุนทรัพย์มีระดับการศึกษาตั้งแต่ระดับมัธยมปลายสายสามัญและสายอาชีพอาชีวศึกษา [1] อย่างไรก็ตาม ผู้ที่จะขอกู้ยืมจำเป็นต้องมีคุณสมบัติตามเงื่อนไขของกองทุนให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา เช่น ผู้ลงทะเบียนต้องมีรายได้ของครอบครัวไม่เกินปีละ 360,000 บาท อีกทั้งกองทุนเพื่อศึกษาก็ยังอนุมัติวงเงินจากกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา [2]

ในการบริหารจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาทุกระดับของสถาบันการศึกษาไทยให้มีประสิทธิภาพนั้น หลักการสำคัญ คือ การตอบสนองต่อลูกค้าให้มีความรวดเร็ว ประกอบกับในยุคของเทคโนโลยีดิจิทัลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว รวมถึงการนำระบบห่วงโซ่อุปทานมาใช้ในสถานศึกษาของภาครัฐและเอกชนเพื่อให้ความคล่องตัวแก่องค์กร รวมถึงการได้เปรียบการบริการด้วย ฉะนั้น กระบวนการจัดการห่วงโซ่อุปทานกับเทคโนโลยีดิจิทัลจึงเป็นหัวใจที่จะช่วยสนับสนุนกิจกรรมทั้งระบบตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงขั้นปลายน้ำ สามารถตรวจสอบระบบข้อมูลได้รวดเร็ว ทุกขั้นตอนของระบบห่วงโซ่อุปทาน ดำเนินการไปอย่างราบรื่นมีประสิทธิภาพ ทำให้องค์กร ดำเนินไปตามกลยุทธ์ที่ได้วางไว้ และสามารถเพิ่มคุณค่าต่าง ๆ ให้กับองค์กรและลูกค้า เทคโนโลยีอื่นที่ใช้ในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ แท็บเล็ต ซอฟต์แวร์ โปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ การใช้บริการได้ระบบโทรศัพท์มือถือ โปรแกรมจัดการระบบรักษาความ

ปลอดภัย ระบบกล้องถ่ายวิดีโอไร้สายระยะไกล ฯลฯ เป็นต้น จึงเป็นทางเลือกที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สถานศึกษาของไทย สามารถรายงานผลข้อมูลได้ถูกต้อง ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ [5],[7],[8] ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาและประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย เพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนั้นใช้ได้จริงมีประสิทธิภาพตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

2.2 เพื่อประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

3. กลุ่มเป้าหมายที่ทำการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านห่วงโซ่อุปทาน 10 คน โดย ผู้ทรงคุณวุฒิทุกคนต้องมีวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาเอก และต้องมีประสบการณ์การทำงานมากกว่าสองปีประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

ตัวแปรต้น คือ แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

ตัวแปรตาม คือ ผลการประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

4. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษางานวิจัย

แบบประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ประกอบด้วย 1) แบบสอบถามประเมินองค์ประกอบหลักของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาใน

ประเทศไทย 2)แบบสอบถามประเมินองค์ประกอบย่อยของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

5.วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการดำเนินการวิจัยมี ดังนี้

5.1ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวกับแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

5.2ออกแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ประกอบด้วย ผู้ส่งมอบ ผู้บริหารสถานศึกษา วิทยาเขต ลูกค้า ผู้บริโภค ความพึงพอใจ การคืนกลับ

5.3นำเสนอแบบจำลองให้กับผู้ทรงคุณวุฒิด้านห่วงโซ่อุปทาน เพื่อพิจารณา แก้ไข เพิ่มเติม

5.4สร้างแบบประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปทดสอบหาความเที่ยงตรง จาก ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน หลังจากนั้นนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งผู้วิจัยเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC มากกว่า 0.5 มาใช้เป็นข้อคำถาม จาก ผู้ทรงคุณวุฒิ 5 คน ซึ่งได้ตรวจสอบแบบสอบถามแล้วเห็นว่าแบบสอบถามแต่ละองค์ประกอบ ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเที่ยงตรง ครบถ้วนแต่ละองค์ประกอบ ส่วนข้อที่มี IOC ต่ำกว่า 0.5 ผู้วิจัยได้นำมาปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญโดยแบบสอบถามในเครื่องมือมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.7-1.0

5.5แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย จะถูกส่งให้กับ ผู้ทรงคุณวุฒิ 10 คน เพื่อประเมินความเหมาะสมแบบจำลอง

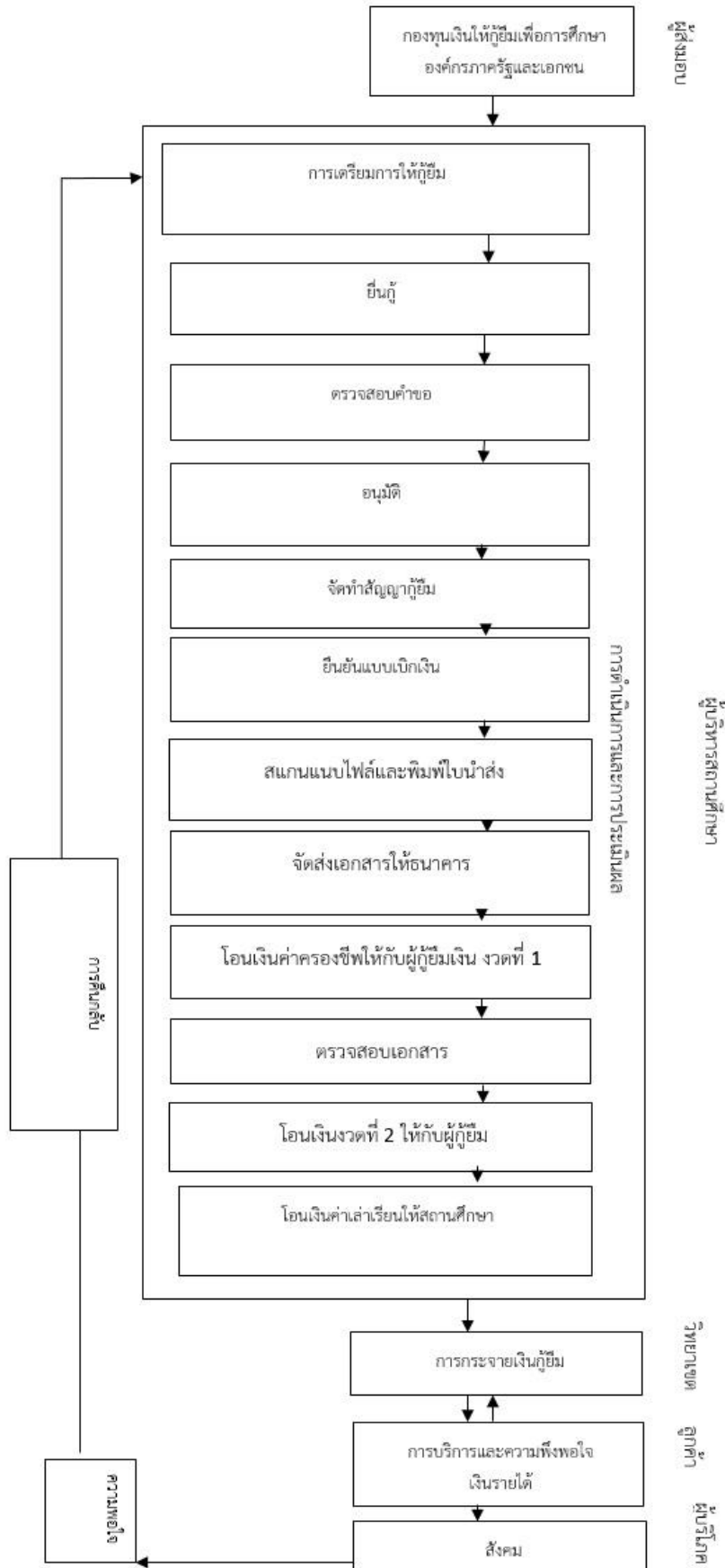
5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โดยใช้ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ตามเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับ โดยวิธีการของลิเคิร์ต (Likert Scale) ดังนี้ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ให้คะแนน 5, 4, 3, 2 และ

1 คะแนนตามลำดับ(ประคอง, 2528) 7.2 กำหนดเกณฑ์แปลผลค่าเฉลี่ย 4.51-5.00, 3.51-4.50, 2.51-3.50, 1.51-2.50 และ 0.00-1.50 หมายถึง เหมาะสมระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ตามลำดับ [3],[4]

6.ผลการวิจัย

6.1ผลการพัฒนาแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย สามารถอธิบายได้ดังนี้

วัตถุดิบ ได้แก่ เงิน เทคโนโลยีดิจิทัล จากหน่วยงานกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา องค์กรภาครัฐ และเอกชน โดยโอนเงินค่าเล่าเรียนให้กับสถานศึกษา สถานศึกษาจะดำเนินการเข้าสู่กระบวนการกู้ยืมเงินให้กับนักศึกษา เริ่มจาก การเตรียมการให้กู้ยืม การยื่นกู้ การตรวจสอบคำขอ การอนุมัติ การจัดทำสัญญากู้ยืมเงิน การยืนยันแบบเบิกเงิน การสแกนแนบไฟล์พิมพ์ใบนำส่ง การจัดส่งเอกสารให้กับธนาคาร การโอนเงินค่าครองชีพงวดที่ 1 ให้กับผู้กู้ยืม การตรวจสอบเอกสารให้ถูกต้อง การโอนเงินค่าครองชีพงวดที่ 2 ให้กับผู้กู้ยืม และการโอนเงินค่าเล่าเรียนให้กับสถานศึกษา หรือโอนให้กับวิทยาเขต การประเมินความพึงพอใจกิจกรรมทั้งหมดจะมีการประเมินผลการดำเนินงาน ด้วยการสนับสนุนการบริการ ข้อมูล ข่าวสาร ทรัพยากร มาประยุกต์รวมเข้าด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ แท็บเล็ต ซอฟต์แวร์ โปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์วัสดุ เครื่องจักร แรงงาน เงิน การจัดการ ฯลฯ การไหลของข้อมูล ที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ทำให้ลูกค้าได้รับการบริการ และมีความพอใจ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ วัสดุสำเร็จรูป หรือเงินรายได้ พร้อมส่งมอบคืนกลับให้กับหน่วยงานในทางตรงกันข้าม ลูกค้าเป็นส่วนหนึ่งของสังคมหรือผู้บริโภคในห่วงโซ่อุปทานของไทย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการดำเนินงานจัดตั้งเพื่อการจัดสรรกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในหน่วยงานสำหรับสถานศึกษาในประเทศไทย [1],[6],[7],[8],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15] [16] และ [17]

6.2 ผลการประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

ตารางที่ 1 ผลการประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

ลำดับ	รายการประเมิน	μ	σ	ระดับความเหมาะสม
ความเหมาะสมขององค์ประกอบหลัก				
1	ผู้ส่งมอบ	4.60	0.51	มาก
2	ผู้บริหารสถานศึกษา	4.30	0.48	มาก
3	วิทยาเขต	4.10	0.56	มาก
4	ลูกค้า	4.30	0.48	มาก
5	ผู้บริโภคร	4.20	1.03	มาก
6	ความพึงพอใจ	4.30	0.82	มาก
7	การคืนกลับ	4.20	1.03	มาก
	ผลรวม	4.28	0.70	มาก
ความเหมาะสมของผู้ส่งมอบ				
1	กองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา	4.20	1.03	มาก
2	องค์กรภาครัฐและเอกชน	4.30	1.15	มาก
	ผลรวม	4.25	1.19	มาก
ความเหมาะสมของผู้บริหารสถานศึกษา				
1	การให้เงินกู้ยืม	4.40	0.96	มาก
2	การยื่นกู้	4.10	1.19	มาก
3	การตรวจสอบคำขอ	4.20	1.03	มาก
4	การอนุมัติ	3.90	1.19	มาก
5	การจัดทำสัญญากู้ยืมเงิน	4.00	1.05	มาก
6	การยืนยันแบบเบิกเงิน	4.20	1.03	มาก
7	การสแกนแนบไฟล์พิมพ์ในใบนำส่ง	4.00	0.94	มาก
8	การจัดส่งเอกสารให้กับธนาคาร	3.80	0.91	มาก
9	การโอนเงินค่าครองชีพงวดที่ 1 ให้กับกู้ยืม	3.80	0.74	มาก
10	การตรวจสอบเอกสารให้ถูกต้อง	3.60	1.07	มาก
11	การโอนเงินค่าครองชีพงวดที่ 2 ให้กับกู้ยืม	3.80	1.32	มาก
12	การโอนเงินค่าเล่าเรียนให้กับสถานศึกษา	3.90	0.87	มาก
	ผลรวม	3.97	1.00	มาก
ความเหมาะสมของวิทยาเขต				
1	การกระจายเงินกู้ยืม	4.30	0.67	มาก
	ผลรวม	4.30	0.67	มาก
ความเหมาะสมของลูกค้า				
1	ความพึงพอใจและการบริการ	3.60	0.96	มาก
2	เงินรายได้	3.77	0.62	มาก
	ผลรวม	3.68	0.79	มาก
ความเหมาะสมของผู้บริโภค				
1	สังคม	4.20	1.03	มาก
	ผลรวม	4.20	1.03	มาก
ความเหมาะสมความพึงพอใจ				
1	ความพึงพอใจ	4.10	0.99	มาก
	ผลรวม	4.10	0.99	มาก

ตารางที่ 1 ผลการประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย(ต่อ)

ลำดับ	รายการประเมิน	μ	σ	ระดับความเหมาะสม
ความเหมาะสมการคืนกลับ				
1	การคืนกลับ	3.80	1.13	มาก
	ผลรวม			
	สรุปผลการประเมินทั้งหมด	4.07	0.93	มาก

ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย พบว่า ผู้ทรงคุณวุฒิด้านห่วงโซ่อุปทาน จำนวน 10 คนยอมรับแบบจำลองมีความเหมาะสมในระดับมาก ($\mu = 4.07$, $\sigma = 0.93$)

7.สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย ดังนี้

7.1แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ประกอบด้วย ผู้ส่งมอบ ผู้บริหารสถานศึกษา วิทยาเขต ลูกค้า ผู้บริโภค ความพึงพอใจ การคืนกลับ

7.2 ผลการประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย โดยรวม พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้งหมด เท่ากับ 4.07 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.93 แบบจำลองมีความเหมาะสมในระดับมาก และสามารถนำมาแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย สามารถนำไปใช้ทำงานได้จริง

8.อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัย พบว่าแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทยได้ผ่านการประเมินกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านห่วงโซ่อุปทาน มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีกระบวนการอยู่ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อ

การจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย 2) เพื่อประเมินแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรรถพล จันทรสมุทรที่ได้ศึกษาแบบจำลองการดำเนินงานห่วงโซ่อุปทานในดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ประกอบด้วยผู้ส่งมอบ ผู้ให้บริการลูกค้าการศึกษาผู้บริโภคความพึงพอใจ การย้อนกลับ [12] และงานวิจัยของ Kaewngam Chatwattana และ Piriysurawong ที่กล่าวถึง แบบจำลองห่วงโซ่อุปทานในดิจิทัลเพื่อการประกันคุณภาพการศึกษาเครือข่ายมหาวิทยาลัยอาเซียน ประกอบด้วย ผู้ส่งมอบ มหาวิทยาลัย นักศึกษาสำเร็จการศึกษา นายจ้าง ความพึงพอใจและการป้อนกลับอีกด้วย [17]

9.ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

แบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในห่วงโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ประกอบด้วย ผู้ส่งมอบ ผู้บริหารสถานศึกษา วิทยาเขต ลูกค้า ผู้บริโภค ความพึงพอใจ การคืน แบบจำลองมีความเหมาะสมในระดับมาก ดังนั้น ควรนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในสถานศึกษา

10.ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

10.1 ควรพัฒนาแบบจำลองการดำเนินงานดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทยให้มีระดับสูงขึ้นขึ้นไป เช่น แบบจำลองสนับสนุนการตัดสินใจ แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการกับผู้ใช้งานทุกระดับ

10.2 ควรสร้างระบบดิจิทัลเพื่อการจัดการกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาในโซ่อุปทานสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย

11.กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านห่วงโซ่อุปทาน 10 คน จากหน่วยงานภายใน และหน่วยงานภายนอกที่ให้คำปรึกษา แนะนำพัฒนาพัฒนาแบบจำลอง

12.เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา, “คู่มือการบริหารจัดการสิทธิ์ของผู้ใช้งานในระบบกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาแบบดิจิทัล”, [Online].
<https://www.studentloan.or.th/th/news/1640667313>. (เข้าถึงเมื่อ 3 กรกฎาคม 2566).
- [2] ณัฐวิน อิศวภูวดล, “ปัญหาการใช้เงินกองทุนให้กู้ยืมเพื่อการศึกษาตามพระราชบัญญัติกองทุนให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา พ.ศ.2541”, [Online].
http://www.journal.nmc.ac.th/th/admin/Journal/2559Vol10No1_23.pdf. (เข้าถึงเมื่อ 3 กรกฎาคม 2566).
- [3] ประคอง วรรณสุต, *สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์* (ฉบับปรับปรุงแก้ไข), หน้า 340, กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือ ดร. ศรีสง่า, 2528.
- [4] มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, การสำรวจความพึงพอใจของประชาชนผู้รับบริการที่มีต่อการบริการขององค์การบริหารส่วนจังหวัดระนองประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561. [Online]. <http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER13/DRAWER007/GENERAL/DATA0000/00000286.PDF>. (เข้าถึงเมื่อ 3 กรกฎาคม 2566).
- [5] สุรียา ม้องเสนาะ, “กองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) กับภาระหนี้”, สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, สำนักวิชาการสถานีวิจัยกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์รัฐสภา, 2563.
- [6] อรรถพล จันทรสมุทร, “ระบบสารสนเทศการบริหารห่วงโซ่อุปทานเพื่อการจัดการงานวิจัยในสถาบันอุดมศึกษา”, *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, ปีที่ 36 ฉบับที่ 2, หน้า: 210-221, 2559.
- [7] อรรถพล จันทรสมุทร และ พัลลภ พิริยะสุรวงศ์, “ระบบสารสนเทศการบริหารห่วงโซ่อุปทานเพื่อจัดการหลักสูตรตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ”, *วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2559.
- [8] อรรถพล จันทรสมุทร, “ความสัมพันธ์ระหว่างสารสนเทศกับห่วงโซ่อุปทานในสถาบันอุดมศึกษา”, *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, ปีที่ 3 ฉบับที่ 5, หน้า 1-8, 2556.
- [9] อรรถพล จันทรสมุทร, “การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานด้านการผลิตบัณฑิต”, *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3, หน้า 41-47, 2555.
- [10] Chansamut, A., and Piriya-surawong, P., “Conceptual Framework of Supply Chain Management Information System for Curriculum Management Based on Thailand Qualifications Framework for Higher Education”, *International Journal of Managing Value and Supply Chains* (IJMVSC), 5(4): 33-45, 2014.

- [11] Chansamut, A., and Piriyaawong, P.,
“Supply Chain Management Information
System for Curriculum Management
Based on The National Qualifications
Framework for Higher Education”,
*International Journal of Supply and
Operations Management* , 6(1) : 88-93, 2019.
- [12] Chansamut, A , “Supply chain in digital operation
model for student loan fund management
for higher education in Thailand”,
*International Journal of supply chain
management (IJSCM)*, 11(2): 17-20, 2022.
- [13] Habib. M, “An empirical Research of
ITESECM: integrated tertiary educational
supply chain management model”,
[Online]. [http://www.academia.edu/
MamunHabib](http://www.academia.edu/MamunHabib). (Accessed : 1 July 2023).
- [14] Habib, M. and Jungthirapanich. C,
“Research Framework of Education
Supply Chain, Research Supply Chain
and Educational Management for the
Universities”. [Online]. [http://www.academia.
edu/MamunHabib](http://www.academia.edu/MamunHabib). (Accessed : 1 July 2023).
- [15] Habib, M. and Jungthirapanich. C
“An Empirical Study of Educational
Supply Chain Management for
The Universities”. [Online].
[http://www.academia.edu
/MamunHabib](http://www.academia.edu/MamunHabib). (Accessed : 1 July 2023).
- [16] Habib, M. and Jungthirapanich, C.
“Integerated Education Supply
Chain Management (IESCM) Model for the
Universities”. [Online].
[http://www.academia.edu. /MamunHabib](http://www.academia.edu/MamunHabib).
(Accessed : 1 July 2023).
- [17] Kaewngam, A. Chatwattana.. P.,
Piriyaawong, “Supply chain
Management Model in Digital Quality
Assurance for ASEAN University Network
Quality Assurance (AUN-QA) Higher
Education Studies”, 9(4) : 12-20, 2019.

การสกัดปริมาณน้อยด้วยการประยุกต์วิธีแคชเชอร์สำหรับวิเคราะห์อะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร A Small-Volume Extraction using the Modification of QuEChERS for the Determination of Acrylamide in Food Products

พริยา กันตา¹, วรารัตน์ บุญตา² และ วรพรรณ พรหมศิลา^{3*}
Preeraya Kanta¹, Wararat Boonta² and Worapan Pormsila^{3*}

^{1,2,3*}สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร, 10120

^{1,2,3*}Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120

Received : 2023-07-03 Revised : 2023-07-23 Accepted : 2023-07-26

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์วิธีการสกัดแบบ QuEChERS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารที่มีแปรรูปผ่านความร้อน ได้แก่ มันฝรั่งแผ่นทอด ขนมหั้วกรอบและกาแฟคั่วบด โดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตนไนโตรส ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ในการสกัดตัวอย่างจำนวน 2.00 กรัม ร่วมกับการเติมเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต จำนวน 0.20 กรัม และโซเดียมคลอไรด์จำนวน 0.05 กรัม จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที สารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างจะถูกแยกออกมาอยู่ในชั้นตัวทำละลายอะซิโตนไนโตรส ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ด้วยเทคนิค HPLC ที่มีอะซิโตนไนโตรสร้อยละ 4.0 โดยปริมาตร ทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ จากการทดสอบคุณลักษณะทางเคมีวิเคราะห์ พบว่า ความใช้ได้ของวิธีมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.998 ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์ (LOD) เท่ากับ 1.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความแม่นยำที่แสดงในรูป ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และค่าความถูกต้องในรูปร้อยละการกลับคืนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ค่าปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่พบในตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามแม้ว่ายังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานสารอะคริลาไมด์ในอาหาร การตรวจหาปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างที่ทดสอบ สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้บริโภค และผู้วิจัยในลำดับต่อไป อีกทั้งงานวิจัยนี้เป็นการเห็นถึงประสิทธิภาพการสกัดสารด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อยโดยการประยุกต์การสกัดแบบแคชเชอร์แบบไม่ใช้ชุดสกัดแบบสำเร็จรูป

คำสำคัญ : แคชเชอร์, อะคริลาไมด์, การสกัด

Abstract

The work was to modify the QuEChERS extraction for the determination of acrylamide in the thermal process foods; French-fried, bread sticks, and roasted coffee. The optimal solvent used was a 2.50 ml acetonitrile for 2.00 g of sample weight, following the addition of 0.20 g magnesium sulfate and 0.05 g sodium chloride. Then, a 3 min centrifugation time was performed. Acrylamide was efficiently separated under optimal solvent, and it was determined by the HPLC method using 4% acetonitrile as a mobile phase. From the tests of analytical chemistry characteristics, the linearity in terms of correlation coefficient was present at 0.998 and the limit of detection (LOD) was 1.48 mg/L. The precision, displayed as %RSD, and the accuracy in terms of recovery percentage were acceptable. The amount of acrylamide in food samples was less than 2.0 mg/L. However, the standards of acrylamide in foods have not been recommended. The work has given the information to the customer for consumption foods. Moreover, these modified QuEChERS without using a test kit represented the small volume of reagent and solvent consumption.

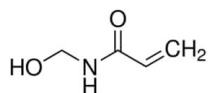
*วรพรรณ พรหมศิลา

E-mail address: worapan.p@mail.rmuk.ac.th

Keywords : QuEChERS, Acrylamide, Extraction

1. บทนำ

อะคริลาไมด์ (Acrylamide) เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเป็น C_3H_5NO มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 71.08 กรัมต่อโมล อะคริลาไมด์มีชื่อเรียกตามระบบ International Union of Pure and Applied Chemistry: IUPAC ว่า prop-2-eamide มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 1 อะคริลาไมด์เป็นสารเคมีที่สามารถพบได้ในอาหารผ่านกระบวนการเตรียม การปรุง หรือการแปรรูปอาหาร โดยต้องใช้ความร้อนสูง (สูงกว่า 120 องศาเซลเซียส) ไม่ว่าจะเป็นการอบ ปิ้ง ย่าง อบ คั่ว หรือทอด อะคริลาไมด์พบได้ในอาหารที่มีแป้งสูง ตัวอย่างเช่น มันฝรั่ง ขนมปัง ธัญพืช รวมถึงกาแฟด้วย โดยความร้อนจากการแปรรูป จะกระตุ้นการเกิดอะคริลาไมด์ โดยจะความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนแอสพาราจีน (กรดอะมิโนอิสระในอาหาร) กับน้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) เช่น ฟรุกโตสและกลูโคส เกิดเป็นสารอะคริลาไมด์ โดยปริมาณอะคริลาไมด์ที่เกิดขึ้นในอาหารนั้นมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ระดับความร้อนที่ใช้ ระยะเวลาที่ให้ความร้อน และปริมาณกรดอะมิโนแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิวซิงในอาหาร [1]



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของอะคริลาไมด์
ที่มา : <https://www.sigmaaldrich.com>

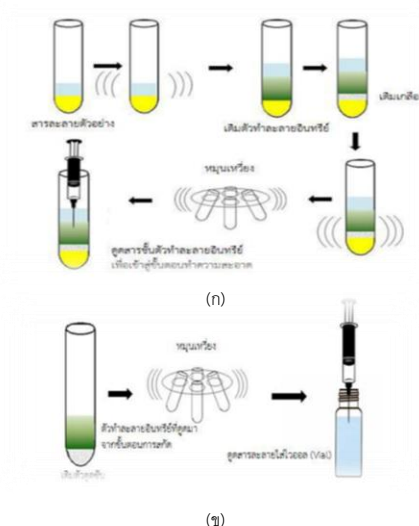
อะคริลาไมด์ เชื่อว่าเป็นสารก่อมะเร็ง โดยหน่วยงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (OARA) ได้จัดให้สารอะคริลาไมด์เป็นสารที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A (Probably carcinogenic to humans) [1-2]. สำหรับอาหารไทย มีการรายงานการตรวจพบสารอะคริลาไมด์ครั้งแรกในตัวอย่างแกงเขียวหวาน แกงกะหรี่ แกงแดง แกงมัสมั่น และฉู้อีปลาที่มีขายทั่วไป ทั้งในรูปของอาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง และอาหารปรุงสำเร็จ ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีหลากหลายตั้งแต่ต่ำกว่า 60 จนถึง 606 นาโนกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งของอาหาร [3] หรือแม้แต่เผือกทอดและกล้วยทอด ยังมีรายงานปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 34.65 และ 40.44 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

ตามลำดับ [4] ดังนั้น การบริโภคอาหารตามที่กล่าวมานี้ รวมถึงอาหารจืดร้อน ขนมนับเคี้ยวจำพวกมันฝรั่ง ขนมปังอบกรอบ บิสกิต คูกี้ อาหารเข้าธัญพืช หรือกาแฟ ถือว่ามีโอกาสรับสารอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายได้ และถึงแม้สารอะคริลาไมด์จะสามารถขับออกทางปัสสาวะ แต่ยิ่งถือว่าการบริโภคอาหารกลุ่มนี้ต่อเนื่อง ก็ยังมีความเสี่ยงที่ร่างกายจะรับสารนี้เข้าไปอะคริลาไมด์

การสกัดแบบแคชเชอร์ (QuEChERS extraction) นั้น QuEChERS เป็นคำเรียกกย่อที่มาจากคำว่า “Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe” แปลตามความหมายของคำ หมายถึง “เร็ว ง่าย ถูก มีประสิทธิภาพ มีความทนทาน และปลอดภัย” แคชเชอร์เป็นเทคนิคการสกัดเพื่อเตรียมตัวอย่างที่มีสิ่งรบกวน (Matrices) โดยมีขั้นตอนการสกัด 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการสกัด (Extraction step) เป็นการแยกสารที่ต้องการวิเคราะห์มาอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ร่วมกับการเติมเกลือ ($MgSO_4$ และ $NaCl$) และการหมุนเหวี่ยง ซึ่งการเติมเกลือช่วยในการแยกเฟสของสารที่ต้องการออกมาอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ และการหมุนเหวี่ยงทำให้ตัวทำละลายและตัวอย่างสัมผัสกันได้ดีขึ้น จากนั้นสารที่สกัดนำเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาดกำจัดสิ่งเจือปน และ 2) ขั้นตอนการทำความสะอาดหรือกำจัดสิ่งรบกวน (Clean up step) เพื่อกำจัดสิ่งรบกวน (Interference) ที่อาจมีเหลือหรือกำจัดไม่หมดออกจากสารตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่จะผ่านสารตัวอย่างลงบนตัวดูดซับของแข็งร่วมกับการหมุนเหวี่ยง เพื่อแยกสารรบกวนกับสารที่ต้องการ ตามรูปที่ 2 การสกัดด้วยแคชเชอร์เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ ใช้ตัวทำละลายและตัวอย่างในปริมาณน้อย และได้รับการรับรองให้เป็นวิธีมาตรฐานของ AOAC นำมาใช้อย่างกว้างขวางในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ที่มีความเข้มข้นสูง มีไขมันต่ำ และมีสารรบกวนอื่น จนในปัจจุบันวิธีนี้ได้ถูกปรับปรุงให้ใช้กับตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น [4] ใช้วิเคราะห์สารปริมาณน้อย ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น สารสเตียรอยด์ในยา [5-6], อะฟาทอกซินบี 1 อาหารสัตว์ [7]

สารอะคริลาไมด์ ถือเป็นภัยเงียบที่แฝงมากับการบริโภคอาหารชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านความร้อน การตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในการอาหารจะช่วยเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภค รวมถึงการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ที่หลากหลายขึ้น ได้แก่ เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีเมทริกซ์

โซลิต ดิสพอซชันร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิด โครมาโทกราฟี [9] การเตรียมตัวอย่างด้วยการวิธีการสกัดแบบเฟสของแข็ง ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิด โครมาโทกราฟี [10] เทคนิคโวลแทมเมทรีแบบโอดิกสตริปปีง [11] หรือ เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี [12-13]



รูปที่ 2 การประยุกต์วิธีแคชเซอร์

(ก) ขั้นตอนการสกัด (ข) ขั้นตอนการกำจัดสิ่งเจือปน

ที่มา : พุทธมนต์ อัครฮาด และอรุณโรจน์ ผจญศึก [8]

2.วัตถุประสงค์และขอบเขตของงาน

2.1ขอบเขตของงาน

2.1.1ศึกษาตัวแปร (ชนิดตัวทำละลาย, ปริมาตรตัวทำละลาย, น้ำหนักและอัตราส่วนของเกล็ด และเวลาในการสกัด) ที่มีผลต่อการสกัดสารอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และกาแฟคั่วบด โดยประยุกต์วิธีการสกัดแบบแคชเซอร์โดยไม่ใช้ชุดสกัดแบบสำเร็จรูป

2.1.2ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีวิเคราะห์ของวิธีเพื่อแสดงความถูกต้องและแม่นยำ ได้แก่ ความเป็นเส้นตรง (Linearity), ค่าต่ำสุดที่ตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และ ค่าต่ำสุดที่สามารถรายงานได้ (Limit of Quantity, LOQ) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหาร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วิธีแคชเซอร์แบบไม่ใช้ชุดสกัดแบบสำเร็จรูป สำหรับสกัดสารปริมาณน้อยในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหาร และศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

วิเคราะห์ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

3.วิธีดำเนินการวิจัย

3.1การเตรียมตัวอย่างอาหาร

นำตัวอย่างอาหารที่มีจำหน่ายทั่วไปตามร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และตัวอย่างกาแฟคั่วบด นำมาบดและบั่นให้ละเอียด บรรจุตัวอย่างที่บดละเอียดลงในถุงซิปล็อก เก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

3.2วิธีสกัดอะคริลาไมด์ปริมาณน้อย

ชั่งตัวอย่างอาหารบดละเอียดจำนวน 2.0 กรัม ละลายในตัวทำละลายอะซิโตนไตรล ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์ เขย่าด้วยมือให้เข้ากัน และหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ แรงเหวี่ยง 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ตัวทำละลายและตัวอย่างเข้ากัน จากนั้นเติมเกล็ดแมกนีเซียมซัลเฟต จำนวน 0.20 กรัม และเกล็ดโซเดียมคลอไรด์จำนวน 0.05 กรัม (อัตราส่วนเกล็ดทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 4 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ลงในสารละลายตัวอย่าง เขย่าด้วยมือ แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ แรงเหวี่ยง 2,000 รอบต่อนาที เพื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 นาที การหมุนเหวี่ยงจะเป็นการเพิ่มการสัมผัสระหว่างตัวอย่างอาหารกับตัวทำละลายอินทรีย์และการเติมเกล็ดจะช่วยให้เกิดการแยกชั้นของสาร จากนั้นดูดชั้นสารละลายอินทรีย์ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์ที่บรรจุถุงถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.005 กรัม นำไปหมุนเหวี่ยง แรงเหวี่ยง 2,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง อีกครั้ง เป็นเวลา 3 นาที ดูดชั้นสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง (Membrane filter) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ต่อไป การเตรียมตัวอย่างนี้การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ปริมาณน้อย และการเติมเกล็ดแบบวิธีแคชเซอร์ ร่วมกับการหมุนเหวี่ยงเพื่อให้เกิดการสกัดและแยกเฟสที่ดีขึ้น ขั้นตอนวิธีการทดลองตัวอย่างอาหาร

3.3การวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

วิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ด้วยเทคนิค HPLC แบบรีเวิร์สเฟส ใช้คอลัมน์ชนิด C18 (ขนาด 4.6x150 นาโนเมตร) โดยเฟสเคลื่อนที่เป็น ใช้สารผสมระหว่างอะซิโตนไตรลและน้ำ

ในอัตราส่วน 4 ต่อ 96 จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 3.5 ด้วยกรดอโทฟอสฟอริก การวิเคราะห์ใช้อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ เท่ากับ 0.70 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ตัวตรวจวัดชนิดยูวี ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีวิเคราะห์ของวิธี

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีวิเคราะห์ของวิธีเป็นกระบวนการในเคมีวิเคราะห์ที่แสดงถึงผลของความถูกต้องและความแม่นยำที่เกิดจากการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยการทดสอบตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นต่ำ จำนวน 10 ครั้ง เป็นการทดสอบการวัดสารละลายระหว่างวัน เป็นเวลา 3 วัน เพื่อหาค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์ ในรูปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ และหาค่าต่ำสุดที่ตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และ ค่าต่ำสุดที่สามารถรายงานได้ (Limit of Quantity, LOQ) จากสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$LOD = \bar{X}_{blank} + 3 SD_{blank} \quad (1)$$

$$LOQ = \bar{X}_{blank} + 10 SD_{blank} \quad (2)$$

สารละลายตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้น นำมาเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น และปริมาตรที่แน่นอนระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) ตามสมการ (3)

$$\% Recovery = \frac{(\text{ตัวอย่าง} + \text{สารมาตรฐาน}) - (\text{ตัวอย่าง})}{\text{สารมาตรฐาน}} \times 100 \quad (3)$$

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การเตรียมตัวอย่างและการสกัดตัวอย่างด้วยวิธีการประยุกต์วิธีแคชเซอร์

ตัวอย่างอาหารที่นำมาทดสอบ ได้แก่ มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และกาแฟคั่วบด นำมาบดละเอียด ตามรูปที่ 3 ซึ่งตัวอย่างตามจำนวนมาสกัดหาปริมาณสารอะคริลาไมด์วิธีประยุกต์การสกัดแบบแคชเซอร์ โดยอาศัยหลักการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนไทรล์ ร่วมกับการเติมเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และการหมุนเหวี่ยงภายใต้เวลาที่เหมาะสม รวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพียงพอ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของตัวอย่างในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ และการแยกเฟสที่ชัดเจนระหว่างสาร ซึ่งการสกัดดังกล่าวเป็นการสกัดโดยประยุกต์หลักการสกัดแบบแคชเซอร์แบบไม่ใช้ชุดสกัดสำเร็จรูป รวมถึงเป็นการสกัดนี้ใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย ซึ่งส่งผลดีต่อความปลอดภัยต่อผู้ทำการทดลองและต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3 ตัวอย่างอาหารมันฝรั่งทอดชนิดแผ่น ขนมปังกรอบ และกาแฟคั่วบด ที่นำมาทดสอบ

4.1.1 ผลของชนิดตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการศึกษา คือ เมทานอล และอะซิโตนไทรล์ พบว่า ตัวทำละลายทั้งสองสามารถแยกเฟสของสารออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นตัวอย่าง ชั้นเกลือ และชั้นตัวทำละลายได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบสารที่สกัดได้จากตัวทำละลายทั้งสอง โดยการพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีคพบว่า ปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่สกัดออกมาได้ มีปริมาณพื้นที่ใต้พีคที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่สิ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนคือ ในชั้นการสกัดสารละลายที่สกัดด้วยอะซิโตนไทรล์มีลักษณะใสกว่าสารละลายที่สกัดด้วยเมทานอล ตามรูปที่ 4ก. อีกทั้งเป็นตัวทำละลายอะซิโตนไทรล์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดเดียวกับเฟสเคลื่อนที่ ๆ ใช้ ซึ่งจะมีความเข้ากันได้ (Compatibility) ของตัวทำละลายสกัดกับเฟสเคลื่อนที่ ดังนั้นเลือกอะซิโตนไทรล์ เป็นตัวทำละลายในการทดลองต่อไป

4.1.2 ผลของปริมาตรตัวทำละลาย

เทคนิคการสกัดแคชเซอร์ ถือว่าเป็นเทคนิคการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายในการสกัดน้อย ลดการสิ้นเปลือง และลดความเป็น

พิษของสารอินทรีย์ที่มีต่อผู้ทำการทดลองและต่อสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษาชนิดตัวทำละลายในการสกัด เลือกอะซิโตน ไตรล์ในการสกัดสารอะคริลาไมด์ เมื่อนำสารที่สกัดได้ไป วิเคราะห์ด้วย HPLC พบเวลาที่ถูกหน่วง (Retention time, t_R) อยู่ที่ประมาณ 3.5 นาที และเมื่อศึกษาผลของปริมาตร ของอะซิโตน ไตรล์ที่แตกต่างกัน (2.50, 3.50 และ 4.50 มิลลิลิตร) พบว่า พื้นที่ใต้พีกในแต่ละปริมาตรมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการทดลองตามตารางที่ 1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาตรไม่มีผลต่อพื้นที่พีกอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มปริมาตร ตัวทำละลายไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ใต้พีก และเมื่อ พิจารณาในเรื่องการดูดสารละลายในชั้นตัวทำละลาย ในเรื่อง ความยากง่าย และความเพียงพอของปริมาตร พบว่า ปริมาตร สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตน ไตรล์ ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร มีปริมาตรน้อย แต่เพียงพอต่อการดูดเก็บชั้นตัวทำ ละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ดังนั้น ในการศึกษา ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ปริมาตรตัวทำละลายมากกว่า 2.50 มิลลิลิตร ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ ที่มุ่งเน้น ลดการใช้ตัวทำ ละลายอินทรีย์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ปริมาตรอะซิโตน ไตรล์ที่ 2.50 มิลลิลิตร ในการสกัดในลำดับต่อไป

ตารางที่ 1 ผลของปริมาตรตัวทำละลาย

ปริมาตรอะซิโตน ไตรล์ (มิลลิลิตร)	เวลาที่คงอยู่ (t_R) (นาที)	พื้นที่ใต้พีก $\times 10^6$ ($\mu V \cdot sec$)
2.50	3.558	6.996
3.50	3.520	6.225
4.50	3.570	6.891

4.1.3 ผลของน้ำหนักเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์

การสกัดแบบแคชเชอร์ เป็นการสกัดอาศัยหลักการสกัด ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ร่วมกับการเติมเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) จำนวนเล็กน้อย เกลือจะช่วยให้สารที่ต้องการวิเคราะห์เกิดการกระจายตัวในชั้น ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น เกิดการแยกเฟสดีขึ้น และการ สกัดร่วมกับการหมุนเหวี่ยงจะเป็นการทำให้ตัวทำละลายสัมผัส กับตัวอย่างมากขึ้นด้วย ในงานวิจัยนี้กำหนดอัตราส่วนน้ำหนัก เกลือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) เท่ากับ 4 ต่อ 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดอะคริ ลาไมด์ โดยอ้างอิงจาก [8] การทดลองใช้น้ำหนัก $MgSO_4$:

$NaCl$ ดังนี้ 0.40 : 0.10, 0.30 : 0.075 และ 0.20 : 0.05 และ จากการศึกษ พบว่า การเติมเกลือในปริมาณที่ต่างกันมีผลต่อ การสกัดอะคริลาไมด์ (ผลการทดลองตามตารางที่ 2) โดย พิจารณาจากพื้นที่พีกที่มีค่าแตกต่างกัน โดยน้ำหนักเกลือ แมกนีเซียมซัลเฟต จำนวน 0.20 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ จำนวน 0.05 กรัม ให้พื้นที่พีกมากที่สุด นอกจากนี้สิ่งที่สังเกต ได้ชัดเจน คือ ก่อนเติมเกลือสารละลายใส สีเหลือง แต่เมื่อเติม เกลือร่วมกับการหมุนเหวี่ยง สารละลายที่ได้มีลักษณะใส ไม่มีสี แสดงว่าการเติมเกลือนอกจากจะช่วยแยกเฟสของสาร ยังช่วย กำจัดสีของตัวอย่างได้ (ในกรณีนี้ตัวอย่างมีสี เช่น กาแฟคั่วบด)

ตารางที่ 2 ผลของน้ำหนักเกลือ $MgSO_4$ และ $NaCl$

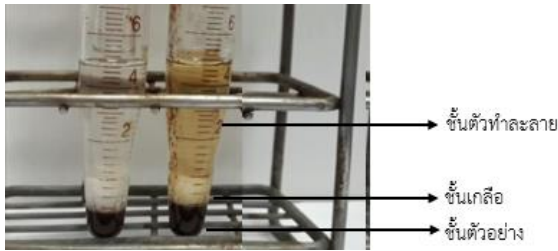
$MgSO_4$: $NaCl$		เวลา (t_R) (นาที)	พื้นที่ใต้พีก $\times 10^6$ ($\mu V \cdot sec$)
$MgSO_4$ (กรัม)	$NaCl$ (กรัม)		
0.40	0.10	3.526	1.114
0.30	0.075	3.522	5.839
0.20	0.05	3.546	8.607

4.1.4 ผลเวลาในการสกัด

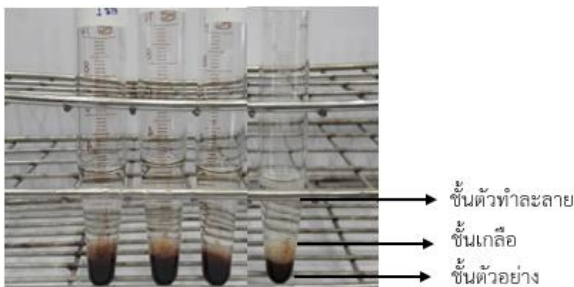
เวลาในการหมุนเหวี่ยงเพื่อสกัด คือ 1, 3, 5 และ 10 นาที พบว่า พื้นที่ใต้พีกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา (ผลการทดลอง ตามตารางที่ 3) เมื่อเวลาการสกัดมากขึ้น มีแนวโน้มในการ สกัดอะคริลาไมด์ออกมาได้ตามเวลา อย่างไรก็ตามการสกัด แบบแคชเชอร์เป็นการสกัดที่ผู้วิจัยเน้นเวลาที่ต้องรวดเร็ว (Quick) แต่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เพราะการสกัดมีการเติม ตัวทำละลายอินทรีย์และร่วมกับการเติมเกลือ จึงไม่ต้องการใช้ เวลาในการหมุนเหวี่ยงนานจนเกินไป ในการศึกษาพิจารณาจาก พื้นที่พีกแล้ว เลือกใช้เวลาในการสกัดที่ 3 นาที ไปใช้ในการ วิเคราะห์หาปริมาณอะคริลาไมด์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 ผลของเวลาในการสกัดหมุนเหวี่ยง

เวลาในการสกัด (นาที)	เวลาที่คงอยู่ (t_R) (นาที)	พื้นที่ใต้พีก $\times 10^6$ ($\mu V \cdot sec$)
1	3.658	3.017
3	3.670	5.385
5	3.671	5.760
10	3.665	9.450



รูปที่ 4ก. ลักษณะของสารละลายที่ได้ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เมทานอล (ขวามือ) และอะซิโตนไตรล (ซ้ายมือ)

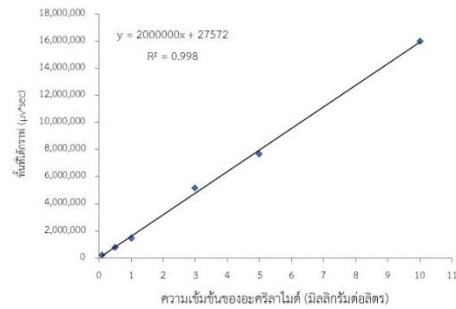


รูปที่ 4ข. การแยกชั้นของสารสกัดที่เกิดจากการประยุกต์การสกัดแบบแคชเชอร์

ภายใต้สภาวะการสกัดที่เหมาะสม (ตัวทำละลายอะซิโตนไตรล ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร เติมเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต จำนวน 0.20 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์จำนวน 0.05 กรัม หมุนเหวี่ยง เป็นเวลา 3 นาที) พบว่า การสกัดภายใต้สภาวะดังกล่าวสามารถแยกชั้นตัวทำละลาย ชั้นเกลือ ชั้นตัวอย่างได้ชัดเจน ตามรูปที่ 4ข สารละลายอินทรีย์ที่ได้มีลักษณะใสและสามารถดูดสารละลายอินทรีย์ออกมาวิเคราะห์ได้ง่าย และเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์สารอะคริลาไมด์ด้วยเครื่อง HPLC ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลองพบพิกสารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ ที่เวลาการหน่วง (Retention time, t_R) ประมาณ 3.5-3.7 นาที

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีวิเคราะห์ของวิธี

การทดสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity) ด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กับสัญญาณที่ได้จากการวัด (พื้นที่ใต้พีก) กับความเข้มข้น พบความเป็นเส้นตรง (Linear range) ในช่วงความเข้มข้น 0.10 ถึง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นไปตามสมการ $y = 2000000x + 27572$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R_2) เท่ากับ 0.998 ตามรูปที่ 7

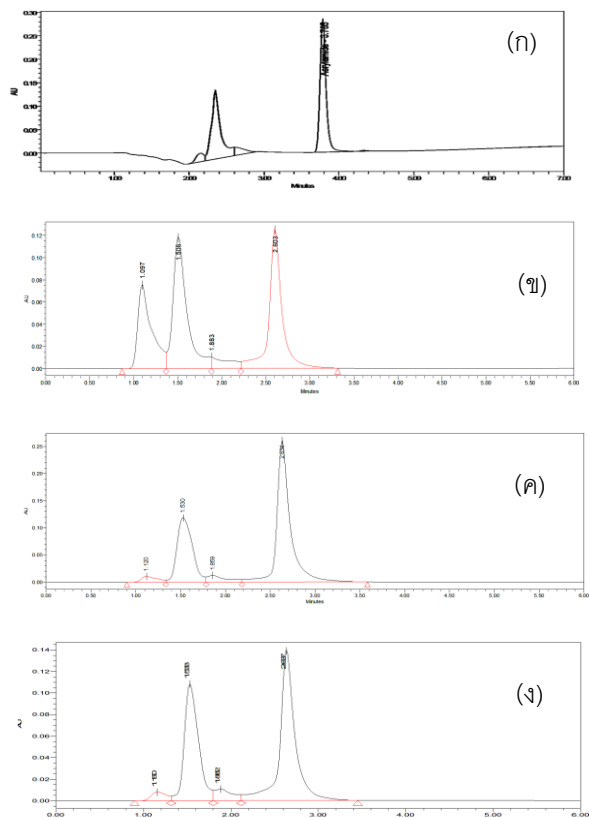


รูปที่ 5 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานอะคริลาไมด์ในช่วงความเข้มข้น 0.10 – 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความแม่นยำในการวิเคราะห์ (Precision) ที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำ ๆ ในสภาวะเดียวกัน โดยใช้วิธีเดียวกันในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกัน และผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน (Repeatability หรือ Within day precision) จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ที่มีความเข้มข้น 7.04 มิลลิกรัมต่อลิตรซ้ำ 7 ครั้ง ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation, % RSD) จากผลการทดลอง ได้ค่า % RSD ของพื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับร้อยละ 12.50 และได้ค่า % RSD ของเวลาหน่วงสารมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.2 และวิเคราะห์ Reproducibility (การวิเคราะห์ผลระหว่างวัน เป็นเวลา 3 วัน) ได้ค่า % RSD ของพื้นที่ใต้พีกมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.12 และได้ค่า % RSD ของเวลาหน่วงสารมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ สำหรับการคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (Limit of detection, LOD) จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ ความเข้มข้นอะคริลาไมด์เท่ากับ 1.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าต่ำสุดที่สามารถรายงานได้ (Limit of Quantity, LOQ) เท่ากับ 1.66 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่าง ได้แก่ มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และกาแฟคั่วบด พบปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่าง น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐาน ผลการทดลอง ตามตารางที่ 4 และโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ และของตัวอย่างแสดงตามรูปที่ 8



รูปที่ 6 โครมาโทแกรม (ก) สารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ ความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และของตัวอย่าง (ข) มันฝรั่ง (ค) ขนมอบ (ง) กาแฟควัด

ค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) ของการวิเคราะห์จะเป็นการแสดงถึงความถูกต้อง (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น โดยการเติมสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป ได้ผลการคำนวณตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การกลับคืนของอะคริลาไมด์ (ร้อยละ) ในตัวอย่างอาหารที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการสกัดปริมาณน้อยตามหลักการแคชเชอร์

ตัวอย่าง	ปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่าง (มก.ต่อ ล.)	ปริมาณสารมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่าง (มก.ต่อ ล.)	ร้อยละการกลับคืน
มันฝรั่งทอดชนิดแผ่น	0.60	9.80	93.90
ขนมปังกรอบ	1.15	28.30	95.94
กาแฟควัด	0.76	53.60	98.58

5.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการสกัดด้วยวิธีประยุกต์หลักการของการสกัดแบบแคชเชอร์ โดยการสกัดไม่ใช่ชุดสกัดสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการทดสอบปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร ซึ่งการสกัดใช้หลักการสกัดสารภายใต้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ร่วมกับการเติมเกลือ และการหมุนเหวี่ยง จะช่วยเพิ่มการกระจายตัวของตัวอย่างในชั้นตัวทำละลาย ทำให้ตัวอย่างและตัวทำละลายเกิดการแยกได้ดีขึ้น การทดลองนี้เลือกใช้ตัวทำละลายอะซิโตนไตรคลอไรด์ ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร เติมเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต จำนวน 0.20 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์จำนวน 0.05 กรัม หมุนเหวี่ยง เป็นเวลา 3 นาที ภายใต้สภาวะการสกัดสามารถแยกเฟสของสารได้ เป็นการสกัดที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ ใช้ปริมาณสารตัวอย่างและตัวทำละลายในปริมาณน้อย ใช้อุปกรณ์และสารเคมีพื้นฐานที่มีในห้องปฏิบัติการ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค HPLC และตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีวิเคราะห์ของวิธีที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าความเป็นเส้นตรงในช่วงกว้าง มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยให้ค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) เฉลี่ย 96.14 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ค่าความแม่นยำ ซึ่งแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของพื้นที่ใต้พีคมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.12 และค่า % RSD ของเวลาหน่วงสารมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ นอกจากนี้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด เท่ากับ 1.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าต่ำสุดที่สามารถรายงานได้ เท่ากับ 1.66 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีการสกัดที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นวิธีที่สามารถสกัดสารปริมาณน้อยได้ ด้วยการใช้ปริมาณตัวทำละลายและตัวอย่างน้อยได้อย่างดี

6.ข้อเสนอแนะ

6.1สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคในการสกัดแบบแคชเชอร์ในการสกัดเพื่อหาสารปริมาณน้อยชนิดอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลผู้บริโภค

6.2แนะนำศึกษาน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มเติมเพื่อให้ได้น้ำหนักที่เหมาะสมกับปริมาตรตัวทำละลาย

7.กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ในการสนับสนุนในสารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมืองานนี้ให้สำเร็จลุล่วง

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม, อะคริลาไมด์. [Online]. http://fic.nfi.or.th/foodsafety/upload/damage/pdf/acrylamide_2.pdf. (เข้าถึงเมื่อ : 26 เมษายน 2566).
- [2] อาทิตยา จิตจำนง, “สารก่อมะเร็งในงานอุตสาหกรรม”, *EAU HERITAGE JOURNAL (Science and Technology)*, ปีที่ 10 ฉบับที่ 2, หน้า 6-16, 2559.
- [3] จิตติมา เจริญพานิช, “สารอะคริลาไมด์ที่แฝงมากับอาหารไทย”, *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 40 ฉบับที่ 4, หน้า 1059-1072, 2555.
- [4] ธณิศวรร ไซยมงคล และ ชีรวิทย์ วิทยา นันท์, “การพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในอาหารที่ยากต่อการวิเคราะห์”, *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 23 ฉบับที่ 3, หน้า 1426-1437, 2561.
- [5] นันทนา กลิ่นสุนทร, ดวงพร เข้มทอง และปริญญ มาประดิษฐ์. “การเตรียมตัวอย่างด้วยเทคนิคแคชเชอร์สำหรับการหาปริมาณสเตียรอยด์ที่ปลอมปนในยา ลูกกลอนสมุนไพร”, *วารสารอาหารและยา ฉบับเดือน มกราคม-เมษายน*, ปีที่ 21 ฉบับที่ 1, หน้า 59-66, 2557.
- [6] Pormsila W, Jityongchai D, Tesphon W, “A modified QuEChERS extraction for the determination of dexamethasone”, *European Scientific Journal*, 10(33): 138-144, 2014.
- [7] ศศิประภา ชูช่วย, ประกรณ์ จาละ, ธนภูมิ มณีบุญ, ปาริยา อุดมกุลศรี และ ณัฐสิทธิ์ ต้นสกุล. “การตรวจวิเคราะห์อะฟลาทอกซินปี 1 ในวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. ปีที่ 36 ฉบับที่ 2, หน้า 254-259, 2560.
- [8] พุทมนต์ อัครฮาด และ อรุณโรจน์ ผจญศึก, การศึกษาการสกัดแบบแคชเชอร์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป, *วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ*, 2558.
- [9] จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข และ สมภพ ลาภวิบูลย์สุข, “การทดสอบหาปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทอดด้วยเทคนิคเมทริกซ์ โซลิด ดิสเพอชั่นและอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิด โครมาโทกราฟีแทนเดมแมสสเปกโทรเมตรี”, *วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, ปีที่ 11 ฉบับที่ 11, หน้า 21-34, 2565.
- [10] Zeng S, Xu T, Wang M, Yang C., “Determination in roasted coffee by UPLC-MS/MS”, In: *Proceeding of the 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering*, 27-28 June 2015, page 376-379. Guangzhou, China, 2015.
- [11] Vesela H, Šucman E., “Determination of Acrylamide in Food Using Adsorption Stripping Voltammetry”. *Czech J. Food Sci.* 4: 401-406. 2013.
- [12] Nemoto S, Takatsuki S, Sasaki K, Maitani T. “Determination of Acrylamide in Foods by GC/MS Using ¹³C-labeled Acrylamide as an Internal Standard”. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 43(6): 371-376, 2002.
- [13] Pittet A, Perisset A, Oberson KM., “Trace level determination of acrylamide in cereal-based foods by gas chromatography-mass spectrometry”. *Journal of Chromatography A*, 1035(1): 123-130, 2004.

พฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างอสัณฐาน An Oxidation Behavior of the Amorphous Titanium Chromium Nitride Thin Films

อดิศร บุรณวงศ์¹ และ นิรันดร์ วิทิตอนันต์^{2*}
Adisorn Buranawong¹ and Nirun Witit-anun^{2*}

^{1,2*}ห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมวัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

^{1,2*}Material Innovation Research Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University Chonburi 20131

Received : 2023-08-21 Revised : 2023-10-30 Accepted : 2023-10-31

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ (TiCrN) เคลือบบนแผ่นซิลิคอนด้วยเทคนิครีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงจากเป้าสารเคลือบแบบโมเสก พฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบาง TiCrN ศึกษาโดยอบฟิล์มในบรรยากาศที่อุณหภูมิในช่วง 500-900°C นาน 1 ชั่วโมง นำฟิล์มทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), เอกซ์เรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDS) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิล์มอีมิสชัน (FE-SEM) สำหรับอัตราการเกิดออกซิเดชันและพลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันคำนวณจากสมการของวากเนอร์และสมการของอาร์เรเนียส ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มที่เตรียมได้คือไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์แบบอสัณฐานหลังการอบถึงอุณหภูมิ 900°C พบว่าฟิล์มยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐานไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนผลจาก EDS พบว่าฟิล์มไทเทเนียม, โครเมียม, ไนโตรเจน และออกซิเจนในสัดส่วนต่าง ๆ โดยพบว่าปริมาณออกซิเจนในฟิล์มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบอ่อน ส่วนภาคตัวขวางจากเทคนิค FE-SEM พบว่าที่อุณหภูมิ 700°C เริ่มมีชั้นออกไซด์ที่บางมากอยู่บนผิวหน้าของฟิล์ม TiCrN โดยความหนาของชั้นออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เตรียมได้เกิดเป็นออกไซด์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 900°C ผลการศึกษานี้ให้เห็นว่าฟิล์มทนการเกิดออกซิเดชันได้ที่ 600°C โดยอัตราการเกิดออกซิเดชันแปรตามอุณหภูมิอบอ่อน และมีค่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มมีค่าเท่ากับ 134.90 kJ/mol

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง, สปัตเตอริง, ออกซิเดชัน

Abstract

Titanium chromium nitride (TiCrN) thin films were deposited on Si by reactive DC magnetron sputtering technique from a mosaic target. The oxidation behavior of TiCrN films was investigated by annealing in ambient air at 500-900°C for 1 h. The as-deposited film was characterized by X-ray diffraction techniques (XRD), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM). The oxidation rate and oxidation activation energy were calculated from Wagner's equation and Arrhenius's equation, respectively. The results showed that the as-deposited thin film had an amorphous TiCrN structure. After annealing up to 900°C, the films still showed the amorphous structure. The EDS analysis found that the as-deposited films were composed of titanium, chromium, nitrogen, and oxygen in a different ratio. In addition, the oxygen content in the film increased with annealed temperature. The cross-sectional analysis from the FE-SEM technique showed a very thin oxide layer on surface of the as-deposited TiCrN film at 700°C and the oxide layer thickness was increased with the annealed temperature. Moreover, the as-deposited films were fully oxidized at 900°C. The results revealed that the as-deposited films can resist the oxidation up to 600°C, and the oxidation rate of films varied with annealing temperature. The oxidation activation energy was 134.90 kJ/mol.

Keywords: thin film, sputtering, oxidation

* นิรันดร์ วิทิตอนันต์

E-mail address: nirun@buu.ac.th

1. บทนำ

การปรับปรุงสมบัติเชิงผิวของวัสดุให้มีสมบัติเฉพาะทางที่ดีเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ โดยเฉพาะการเคลือบผิววัสดุด้วยสารเคลือบที่เหมาะสมในลักษณะของฟิล์มบาง (thin film) ด้วยการเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coating) โดยเฉพาะการเคลือบด้วยไอกายภาพ (Physical Vapor Deposition; PVD) หรือที่ภาคอุตสาหกรรมเรียกว่าการเคลือบด้วยเทคนิค PVD ซึ่งเป็นกระบวนการเคลือบที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถควบคุมการเกิดฟิล์มบางได้แม่นยำและเที่ยงตรง ทั้งในด้านความหนาและองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์ม อีกทั้งการยึดติดของฟิล์มกับวัสดุรองรับดีมาก นอกจากนี้ยังสามารถเคลือบผิววัสดุได้หลายประเภททั้งที่เป็นโลหะหรือโลหะ ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มมีความปลอดภัยสูงและสูญเสียน้อย ที่สำคัญการเคลือบวิธีนี้ไม่มีการใช้สารเคมีจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ปัจจุบันการเคลือบผิววัสดุด้วยเทคนิค PVD ถูกนำมาใช้ในหลายด้าน เช่น (1) การเคลือบแสง (optical coating) เพื่อให้อุปกรณ์มีการส่งผ่านแสงที่ดีหรือมีการส่งผ่านแสงบางช่วงหรือเพื่อป้องกันการสะท้อนแสง หรือ (2) การเคลือบความสวยงาม (decorative coating) เพื่อให้ผิวของวัสดุเงางามคล้ายโลหะ รวมถึงให้สีที่สวยงาม และ (3) การเคลือบแข็ง (hard coating) เพื่อให้ผิวชิ้นงานทนการขีดข่วนขีดสีซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งาน ทั้งนี้ช่วงที่ผ่านมาภาคอุตสาหกรรมและกลุ่มนักวิจัยเริ่มสนใจการเคลือบแข็งผิววัสดุด้วยสารเคลือบในลักษณะฟิล์มบางจากเทคนิค PVD มากขึ้นเป็นลำดับ โดยช่วงแรกนิยมใช้ฟิล์มบางของสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสองชนิด (binary nitride) เช่น ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) โครเมียมไนไตรด์ (CrN) หรือเซอร์โคเนียมไนไตรด์ (ZrN) แต่ที่น่าสนใจคือไทเทเนียมไนไตรด์ เพราะมีความแข็งแรงสูงมาก (ประมาณ 15-20 GPa) อีกทั้งยังทนการขีดข่วนขีดสีและกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี [2]

อย่างไรก็ดีถึงแม้ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ใช้ในช่วงแรกจะมีสมบัติด้านความแข็งแรงที่ดีแต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ คือฟิล์มเสื่อมสภาพเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 500°C เนื่องจากฟิล์มทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศแล้วเกิดการออกซิเดชันกลายเป็นสารประกอบออกไซด์แทรกตัวอยู่ในชั้นฟิล์มซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างทำให้ชั้นฟิล์มหลุดลอกออกจากชิ้นงานที่เคลือบทำให้อายุการใช้งานลดลงในที่สุด [3]

ทั้งนี้แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการเจืออะตอมของโลหะบางชนิด เช่น อะลูมิเนียม (Al) หรือ โครเมียม (Cr) หรือ เซอร์โคเนียม (Zr) เข้าไปในโครงสร้างหลักของฟิล์มซึ่งจะฟอร์มตัวเป็นฟิล์มบางของสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสามชนิด (ternary nitride) [4] โดยฟิล์มบางแข็งชนิดหนึ่งที่น่าสนใจคือฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ (TiCrN) ซึ่งพัฒนาต่อจากฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์ ทำได้โดยการเจืออะตอมโครเมียม (Cr) เข้าไปในโครงสร้างหลักของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชันของฟิล์ม [5]

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ทำได้หลายวิธีแต่ที่มีประสิทธิภาพคือวิธีสเปตเตอร์ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามชนิดของเป้าสารเคลือบคือ (1) เป้าแบบโมเสก (mosaic target) ทำได้โดยใช้สารเคลือบชนิดหนึ่งตัดให้มีขนาดต่าง ๆ แล้วอัดฝังเข้ากับสารเคลือบอีกชนิดหนึ่งที่เป็นสารเคลือบหลักเป็นเป้าชิ้นเดียว [6] และ (2) เป้าแบบอัลลอย (alloy target) เป้าสารเคลือบชนิดนี้ทำโดยการผสมสารเคลือบสองชนิดตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำมาอัดขึ้นรูปเป็นเป้าสารเคลือบชิ้นเดียว [7] สุดท้าย (3) เป้าแบบร่วม (co-target) กลุ่มนี้ใช้เป้าสารเคลือบสองชนิดแยกกันอย่างแต่ทำงานพร้อมกัน [8]

การเตรียมฟิล์มบางแข็งของสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสามชนิดจากการใช้เป้าสารเคลือบแต่ละชนิดล้วนมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันไป [1,8] ทั้งนี้ในช่วงเวลาที่ผ่านมาการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ ส่วนใหญ่นับเป็นศึกษาผลของเงื่อนไขที่ใช้ในการเคลือบต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางที่เคลือบได้ด้วยวิธีสเปตเตอร์จากเป้าแบบร่วม อย่างไรก็ตามการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากเป้าสารเคลือบแบบโมเสกก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเพราะเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับขยายไปใช้เชิงอุตสาหกรรม นอกจากนี้การศึกษาลักษณะการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากความร้อนของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์นี้ก็ยังมีการศึกษาไม่มากและอยู่ในวงจำกัดเท่านั้น

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยซึ่งคณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มบางแข็งของสารประกอบของธาตุสามชนิดที่มีโครเมียมเป็นหลัก (Cr-based ternary hard coating) โดยบทความวิจัยนี้เป็นรายงานผลการศึกษาในส่วนของการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมด้วยวิธีแอคทีฟดีพอสิตชันบนฐานแมกนีตรอนสเปตเตอร์จากเป้าสารเคลือบแบบโมเสก โดยนำ

ฟิล์มที่ได้ไปอบอ่อนในอากาศที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำฟิล์มทั้งหมดมาศึกษาลักษณะเฉพาะ ได้แก่ โครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค ลักษณะพื้นผิว องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์ม ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FE-SEM) และเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDS) ตามลำดับ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยและประยุกต์ใช้ต่อไป

2.อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1การเตรียมฟิล์มบาง

ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้เตรียมด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงจากเป้าสารเคลือบแบบโมเสกด้วยเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสปัตเตอริงดังแสดงในรูปที่ 1 [1] ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ห้องเคลือบของเครื่องเคลือบมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ซึ่งติดตั้งเป้าสารเคลือบแบบโมเสกของโลหะไทเทเนียม-โครเมียม (Ti-Cr) มีลักษณะเป็นแผ่นกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 cm หนา 3.0 mm ที่แคโทดชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยติดกับแผ่นปิดบนของห้องเคลือบ การเคลือบใช้การจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง 3 A 1000 V สำหรับจ่ายให้แคโทดเพื่อใช้ในการสปัตเตอริงเป้าสารเคลือบ ระบบเครื่องสุญญากาศของเครื่องเคลือบประกอบด้วยเครื่องสูบบางแบบแฟรไอซึ่งมีเครื่องสูบลูกโรตารีเป็นเครื่องสูบท้ายในส่วนของการวัดความดันในห้องเคลือบตรวจวัดด้วยชุดวัดความดันของ PFEIFFER ซึ่งใช้ส่วนแสดงผลรุ่น TPG262 และใช้มาตรวัดความดันชนิด Compact Full Range Gauge รุ่น PKR251 แก๊สที่ใช้ในกระบวนการเคลือบมี 2 ชนิดได้แก่ แก๊สอาร์กอน (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ (sputter gas) และแก๊สไนโตรเจน (99.995%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา (reactive gas) การจ่ายแก๊สที่ใช้ในการเคลือบทั้งสองชนิดจะควบคุมผ่านเครื่องควบคุมอัตราไหลมวลแก๊สของ MKS รุ่น Type247D

การเคลือบเริ่มจากนำวัสดุรองรับ (แผ่นซิลิคอน) ซึ่งทำความสะอาดโดยการล้างด้วยอะซิโตนและไอโซโพรพานอลในเครื่องล้างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาทีและเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน วางในห้องเคลือบห่างจากหน้าเป้าสารเคลือบเท่ากับ 15.0 cm จากนั้นลดความดันในห้องเคลือบให้เท่ากับ 3.0×10^{-5} mbar แล้วปล่อยแก๊สอาร์กอนและแก๊สไนโตรเจนเข้า

ห้องเคลือบ โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนและแก๊สไนโตรเจนมีค่าคงที่เท่ากับ 16.0 sccm และ 6.0 sccm ตามลำดับ ทั้งนี้ระหว่างการเคลือบควบคุมความดันรวมให้คงที่เท่ากับ 5.0×10^{-3} mbar ฟิล์มแต่ละชุดใช้กำลังสปัตเตอริงเท่ากับ 200 W โดยเคลือบนาน 30 นาที เงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางในการศึกษาครั้งนี้สรุปในตารางที่ 1



รูป 1 เครื่องเคลือบ เป้าโมเสกและพลาสมาขณะเคลือบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบาง

พารามิเตอร์การเคลือบ	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ	เป้าโมเสก Ti-Cr
ระยะห่างของวัสดุรองรับ	15.0 cm
ความดันพื้น	3.0×10^{-5} mbar
ความดันรวมขณะเคลือบ	5.0×10^{-3} mbar
อัตราไหลแก๊สอาร์กอน	16.0 sccm
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน	6.0 sccm
กำลังสปัตเตอริง	200 W
เวลาเคลือบ	30 min

2.2การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบาง

พฤติกรรมของการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบได้มีขั้นตอนดังนี้คือนำฟิล์มไปอบอ่อนด้วยเตาอบของ CARBOLITE รุ่น CWF1300 ที่อุณหภูมิในช่วง 500-900°C โดยเพิ่มอุณหภูมิในอัตราคงที่จนถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้วทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยให้อุณหภูมิของฟิล์มลดลงในบรรยากาศปกติจนถึงอุณหภูมิห้องก่อนนำฟิล์มไปวิเคราะห์ต่อไป

ทั้งนี้การอธิบายพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางบอกได้ด้วยค่าอัตราการเกิดออกซิเดชัน (oxidation rate; k_p) ซึ่งคำนวณได้จากสมการวากเนอร์ (Wagner's equation) ตามสมการที่ (1) ส่วนค่าพลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชัน (activation energy; E_a) คำนวณได้จากสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ตามสมการที่ (2) [9]

$$d = 2\sqrt{k_p(t) \times t} \quad (1)$$

$$k_p(t) = k_{p0} \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

เมื่อ d คือ ความหนาของชั้นออกไซด์ (cm)

t คือ เวลาในการอบร้อน (s)

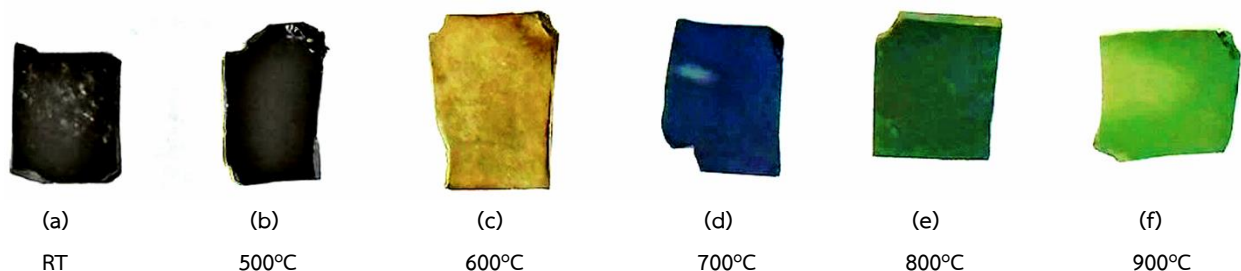
$k_p(t)$ คือ อัตราการเกิดออกซิเดชัน (cm^2/s)

k_{p0} คือ pre-exponential factor (cm^2/s)

E_a คือ พลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชัน

R คือ ค่าคงที่ของแก๊สเท่ากับ 8.3145 (J/mol K)

T คือ อุณหภูมิอบร้อน (K)



รูป 2 สีของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นซิลิคอนเมื่ออบร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะกายภาพของฟิล์ม

ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ด้วยวิธีแอคทีฟดิซิปต์เตอริงจากเป่าสารเคลือบแบบโมเสกที่ยังไม่ผ่านการอบร้อน เมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่าสีดำมันวาวดังแสดงในรูปที่ 2 (a) ส่วน รูปที่ 2 (b) – (f) เป็นลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิในช่วง $500 - 900^\circ\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง พบว่าสีของฟิล์มหลังการอบร้อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอบร้อน

การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์หลังการอบร้อนพบว่า เมื่ออบที่อุณหภูมิ 500°C สีของฟิล์ม

2.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง

ฟิล์มบางทั้งหมดในงานวิจัยนี้ทั้งในส่วนที่เคลือบได้และในส่วนที่ผ่านการอบร้อนแล้วจะถูกนำไปศึกษาลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 โครงสร้างผลึก ศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ Bruker รุ่น D8 ADVANCE โดยตรวจวัดแบบ 2 θ -scan ด้วยมุมตกกระทบเฉียง (grazing incident angle) เท่ากับ 2° และตรวจวัดมุม 2θ ระหว่างมุม 20° ถึง 80°

2.3.2 โครงสร้างจุลภาค ลักษณะพื้นผิว ภาควัดขวางและความหนาของฟิล์ม ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FE-SEM) ของ Hitachi รุ่น s4700

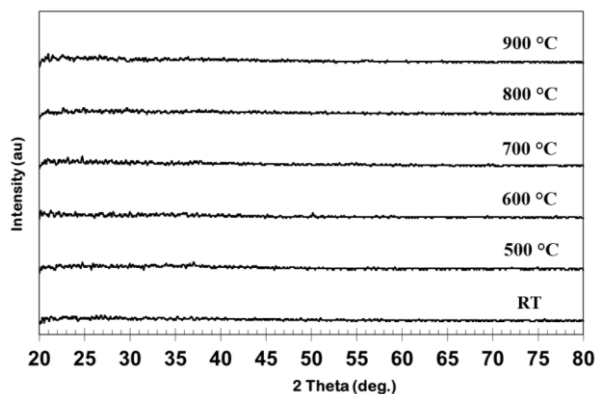
2.3.3 องค์ประกอบทางเคมี ศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDS) ซึ่งติดตั้งต่อพ่วงอยู่กับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ของ LEO รุ่น 1450VP

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสีดำเป็นสีเทาเข้ม (รูปที่ 2 (b)) เมื่ออุณหภูมิอบร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 600°C สีของฟิล์มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน (คล้ายสีทอง) (รูปที่ 2 (c)) และเมื่ออุณหภูมิอบร้อนเพิ่มขึ้นจาก 700°C เป็น 800°C และ 900°C พบว่าสีฟิล์มเปลี่ยนเป็นสีฟ้า สีเขียวเข้มและสีเขียวอ่อนตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสีของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์แปรตามอุณหภูมิการอบร้อนเพราะความร้อนจากการอบร้อนจะกระตุ้นให้อะตอมของธาตุในชั้นฟิล์มทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศเกิดเป็นชั้นออกไซด์บาง ๆ บนผิวหน้าของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ และเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะโปร่งใส ไม่มีสี ส่องผ่านแสงได้ดี จึงทำให้เกิดการหักเห

และการสะท้อนของแสงตกกระทบที่ชั้นออกไซด์ส่งกลับออกมา แทรกสอดกันเกิดเป็นสีต่าง ๆ [10] ทำให้สีของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์หลังการอบอ่อนเปลี่ยนแปลงไป

3.2 โครงสร้างผลึก

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่เคลือบได้ด้วยเทคนิค XRD ทั้งชุดก่อนอบอ่อนและชุดหลังอบอ่อนที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900°C นาน 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ก่อนอบอ่อนไม่เกิดเป็นพีค กรณีนี้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มชุดนี้มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐาน และเมื่อนำไปอบอ่อนพบว่า รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้ยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นความร้อนจากการอบอ่อนไม่ทำให้โครงสร้างผลึกของฟิล์มเปลี่ยนไป



รูปที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนช่วง 500 – 900°C

3.3 องค์ประกอบทางเคมี

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ได้เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนอบอ่อนมีไทเทเนียม โครเมียมและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนต่าง ๆ โดยมีปริมาณไทเทเนียมเท่ากับ 12.0 at% โครเมียม 24.5 at% ไนโตรเจน 55.2 at% และมีออกซิเจนเจือปนอยู่ในปริมาณน้อยประมาณ 8.5 at%

ส่วนฟิล์มหลังอบอ่อนที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900°C พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิอบอ่อน โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้นปริมาณไทเทเนียมมีค่าลดลงจาก 12.0 at% เป็น 10.0 at% โครเมียมมีค่าลดลงจาก 24.5 at% เป็น 19.5 at% ส่วนไนโตรเจนมีค่าลดลงมากที่สุด

จาก 55.2 at% เป็น 1.9 at% โดยปริมาณออกซิเจนมีฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8.5 at% เป็น 68.6 at%

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการอบอ่อนฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นจะมีปริมาณของไนโตรเจนจะลดลง แต่ปริมาณของออกซิเจนนั้นจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนเข้าไปนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างฟิล์มบางกับออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศ โดยอะตอมของออกซิเจนจะเข้าไปแทนที่ไนโตรเจน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มพลังงานกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นจึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนมากขึ้น และไนโตรเจนลดลง [11] ทั้งนี้จากผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS แสดงให้เห็นว่าเกิดออกซิเดชัน เพราะมีปริมาณออกซิเจนเกิดขึ้นและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบอ่อน

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์เมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	องค์ประกอบทางเคมี (at%)			
	Ti	Cr	N	O
RT	12.0	24.5	55.2	8.5
500	11.8	23.5	52.9	11.9
600	11.6	22.1	47.1	19.8
700	10.9	21.6	28.9	34.3
800	10.3	19.4	10.5	60.1
900	10.0	19.5	1.9	68.6

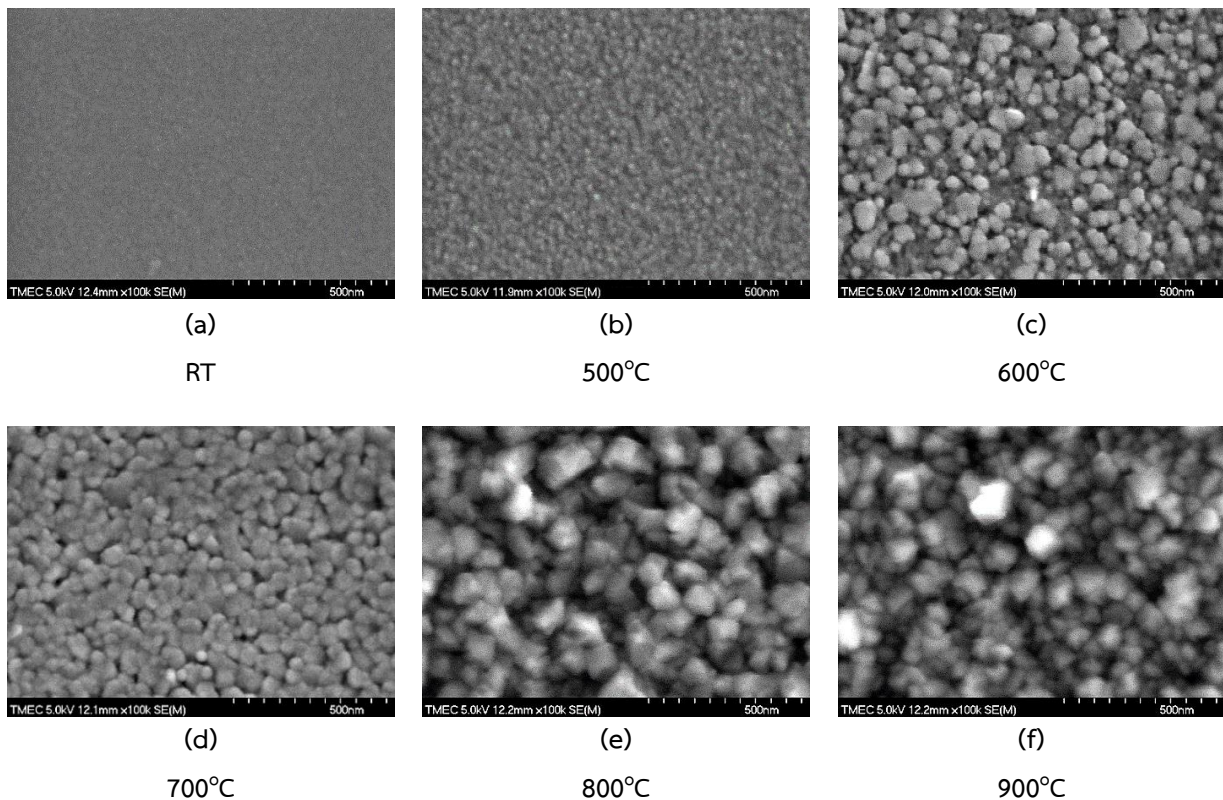
3.4 ลักษณะพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเทคนิค FE-SEM ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ก่อนอบอ่อนมีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็ก กระจายอยู่ทั่วผิวหน้าของฟิล์มบาง เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500°C จะมีลักษณะพื้นผิวเป็นเม็ดกลม ๆ ขนาดเล็ก กระจายทั่วผิวหน้าฟิล์มโดยมีรูพรุนเล็กน้อย ส่วนฟิล์มอบอ่อนที่อุณหภูมิ 600°C ผิวหน้าฟิล์มจะมีลักษณะพื้นผิวเป็นเม็ดกลมขนาดใหญ่ขึ้นกระจายทั่วผิวหน้าฟิล์มและมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้นเป็น 700°C ลักษณะพื้นผิวเป็น

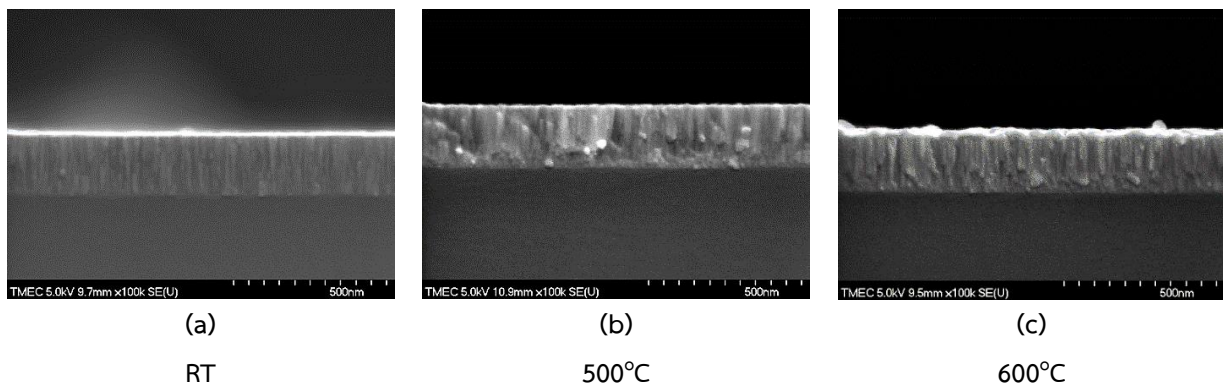
เม็ดขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วผิวหน้าของฟิล์ม ซึ่งเห็นได้ชัดว่าขนาดของเม็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นและรูพรุนมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มเป็น 800°C พบว่าขนาดของเม็ดใหญ่มากขึ้น มีรูปร่างเป็นเม็ดเหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่และมีรูพรุนมากขึ้น และสุดท้ายที่อุณหภูมิ 900°C พบว่าขนาดของเม็ดใหญ่มากและมีรูพรุนกระจายทั่วทั้งผิวหน้าของฟิล์ม

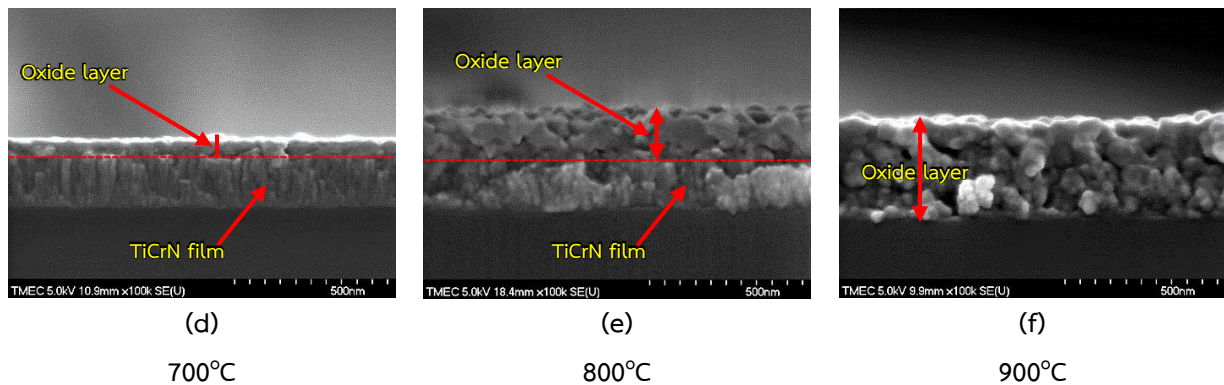
จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนและหลังอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า

ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์อบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีลักษณะพื้นผิวเป็นเม็ดกลมสลับกับเม็ดเหลี่ยมมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีรูพรุนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความร้อนเข้าไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างฟิล์มบางกับออกซิเจน และยังเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับอะตอม ทำให้อะตอมมีการจัดเรียงตัว รวมตัวมากขึ้น และทำให้มีขนาดของเกรนใหญ่ขึ้น [12]



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่าง ๆ





รูปที่ 5 ภาควัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่าง ๆ

3.5 ภาควัดขวาง

ผลวิเคราะห์ลักษณะภาควัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเทคนิค FE-SEM ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ภาควัดขวางของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนอบอ่อนมีโครงสร้างแบบคอลัมน์โดยมีลักษณะเป็นแท่งเรียงชิดติดกัน เมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500°C และ 600°C พบว่าโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงมีลักษณะเหมือนฟิล์มก่อนอบ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มเป็น 700°C พบว่าภาควัดขวางของฟิล์มมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยมีการจัดเรียงตัวใหม่เกิดขึ้นจากที่มีลักษณะเป็นคอลัมน์กลายเป็นลักษณะก้อนกลม ๆ ขนาดเล็ก มีรูพรุนเกิดขึ้นและสังเกตเห็นชั้นบาง ๆ ของชั้นออกไซด์อยู่ด้านบนของชั้นฟิล์มที่เคลือบได้ และเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้นเป็น 800°C พบว่าฟิล์มมีการจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่มเป็นก้อนมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เกิดมีช่องว่างหรือรูพรุนเพิ่มขึ้นด้วย ในชั้นนี้จะเห็นชั้นของออกไซด์ที่อยู่ด้านบนของฟิล์มที่เคลือบได้อย่างชัดเจน โดยชั้นของออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีความหนาเพิ่มขึ้นได้ชัดเจน สุดท้ายเมื่อใช้อุณหภูมิอบอ่อนเท่ากับ 900°C พบว่าโครงสร้างฟิล์มเปลี่ยนไปทั้งหมดกล่าวคือมีลักษณะเป็นก้อนกลมโตซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างของชั้นออกไซด์

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบอ่อนฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนและหลังอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500-900°C สรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ในช่วง 500 - 900°C มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนไปจากโครงสร้างแบบคอลัมน์กลายเป็นคอลัมน์ผสมกับกลุ่มก้อน และกลายเป็นมีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งหมดตาม

อุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศ และการให้ความร้อนจากการอบอ่อนจะเพิ่มพลังงานกระตุ้นให้อะตอมของออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น และเพิ่มพลังงานเกรนในฟิล์มบางให้เกิดการรวมตัวกันมากขึ้นจนหลอมรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ [9,12]

3.6 ความหนาฟิล์ม และความหนาของชั้นออกไซด์

ผลความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ และความหนาของชั้นออกไซด์ของฟิล์มที่ไม่ได้อบอ่อนและอบอ่อนที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 900°C ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์วิเคราะห์จากรูปภาควัดขวางแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อนมีความหนาเท่ากับ 317 nm และเมื่อนำฟิล์มบางไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500°C และ 600°C ฟิล์มบางมีความหนาเท่าเดิมคือ 317 nm และไม่พบชั้นออกไซด์ ส่วนฟิล์มบางที่อบอ่อนด้วยอุณหภูมิ 700°C ความหนาลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 259 nm และเกิดชั้นออกไซด์บาง ๆ บริเวณผิวด้านบนฟิล์มบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ 55 nm ส่วนฟิล์มบางที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 800°C พบชั้นฟิล์มบางมีความหนาเท่ากับ 92 nm แต่ชั้นออกไซด์มีความหนาเพิ่มขึ้นโดยมีความหนาเท่ากับ 225 nm สุดท้ายฟิล์มบางที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 900°C ไม่พบชั้นฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ แต่พบชั้นออกไซด์ทั้งแผ่นฟิล์มบางแทน โดยความหนาของชั้นออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 314 nm แสดงดังตารางที่ 3

จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 500 และ 600°C ความหนาของฟิล์มจะเท่าเดิมและไม่มีชั้นออกไซด์เกิดขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนความหนาของฟิล์มบางจะมีค่า

ลดลง แต่จะพบชั้นออกไซด์ที่บริเวณผิวหน้าของฟิล์มและชั้นออกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อน เนื่องจากให้ความร้อนเข้าไปจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเกรน ทำให้อะตอมของออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศจะแพร่เข้าไปในชั้นของฟิล์มบาง แล้วเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟิล์มบางกับออกซิเจนจนกลายเป็นชั้นออกไซด์บนผิวหน้าของฟิล์มบางเรียกว่าเกิด ออกซิเดชัน ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบอ่อนก็จะเป็นการกระตุ้นให้อะตอมออกซิเจนแพร่ลงไปชั้นฟิล์มบางได้มากขึ้น เกิดการออกซิเดชันมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาของชั้นจะหนาขึ้นตามอุณหภูมิอบอ่อน [11-14]

ตารางที่ 3 ความหนาของชั้นฟิล์มและชั้นออกไซด์ของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์อบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาชั้นฟิล์ม (nm)	ความหนาชั้นออกไซด์ (nm)
RT	317	0
500	317	0
600	317	0
700	259	58
800	52	225
900	0	317

3.7 พฤติกรรมการเกิดออกซิเดชัน

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM ของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ก่อนการอบอ่อนและหลังอบอ่อนที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 900°C สามารถนำมาคำนวณค่าอัตราการเกิดออกซิเดชันจากสมการที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าความหนาของชั้นออกไซด์ จากตารางที่ 3 จะมีค่าดังตารางที่ 4 พบว่า ฟิล์มบางก่อนการอบอ่อน และฟิล์มบางที่อบอ่อนในช่วง 500 °C – 600°C นั้นไม่เกิดสามารถคำนวณ ค่าอัตราการเกิดออกซิเดชันได้ เพราะไม่พบชั้นของออกไซด์ เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันบนฟิล์มบาง พิจารณาได้จากผลของภาคตัดขวางที่มาจากเทคนิค FE-SEM แต่เมื่อนำฟิล์มบางไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 700°C มีค่าอัตราการเกิดออกซิเดชันเท่ากับ $2.30 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนเป็น 800°C และ 900°C ฟิล์มบางมีค่าอัตราการ

เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเป็น $3.52 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ และ $6.84 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ ตามลำดับ

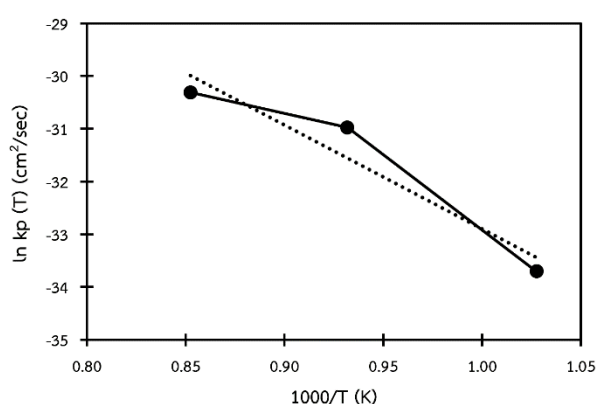
เมื่อนำค่าอัตราการเกิดออกซิเดชันและอุณหภูมิในการอบอ่อนจากข้อมูลในตารางที่ 4 มาแทนค่าในสมการอาร์เรเนียส (สมการที่ 2) จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบอ่อนกับอัตราการเกิดออกซิเดชัน และนำความชันของกราฟมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 134.90 kJ/mol สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีอัตราการเกิดออกซิเดชันมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนเข้าไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างฟิล์มบางกับออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรยากาศ เกิดเป็นชั้นออกไซด์บริเวณผิวหน้าฟิล์ม และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปทำให้มีพลังงานกระตุ้นมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนมากขึ้น จึงส่งผลให้มีค่าอัตราการเกิดออกซิเดชันมากขึ้นตามอุณหภูมิอบอ่อน [9,11,15,16]

หากพิจารณาค่าพลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันที่คำนวณในงานวิจัยนี้ มีค่าแตกต่างจากพลังงานการกระตุ้นของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากงานวิจัยอื่นก่อนหน้านี้ซึ่งมีค่าเป็น 168 kJ/mol [15] 120 – 140 kJ/mol [16] และ 331.9 – 427.4 kJ/mol [17] ตามลำดับ ค่าที่ได้แตกต่างกันเนื่องจากกระบวนการเตรียมฟิล์ม โครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และ เงื่อนไขในการอบอ่อนที่มีความแตกต่างกัน

นอกจากค่าพลังงานกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันที่อธิบายพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันแล้ว ผลจากเทคนิค XRD EDS และ FE-SEM จะนำมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อระบุการทนการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบาง แม้ว่าจะไม่พบโครงสร้างผลึกของสารประกอบออกไซด์จากเทคนิค XRD แต่ผลจากเทคนิค EDS พบว่าปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิอบอ่อน 700°C สอดคล้องกับการพบชั้นออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 58 nm จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM ที่อุณหภูมิเดียวกันซึ่งสรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 600°C

ตารางที่ 4 อัตราการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์เมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ(°C)	อัตราการเกิดออกซิเดชัน (cm^2/s)
RT	-
500	-
600	-
700	2.30×10^{-15}
800	3.52×10^{-14}
900	6.84×10^{-14}



รูปที่ 6 Arrhenius plot ของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4.สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานที่เคลือบบนแผ่นซิลิคอนด้วยเทคนิครีแอคทีฟดีโพสิชันแมกนีตรอนสปัตเตอริงจากเป้าสารเคลือบแบบโมเสก โดยพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันทำได้โดยนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปอบอ่อนในบรรยากาศที่อุณหภูมิในช่วง 500-900°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานไปศึกษาลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคต่าง ๆ

ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้เป็นฟิล์มบางของสารประกอบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ ที่มีธาตุไทเทเนียม โครเมียมและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักในสัดส่วนต่าง ๆ ส่วนลักษณะทางกายภาพของฟิล์มก่อนการอบอ่อนมีสีดำและมีผิวหน้าเนียนเรียบ เมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปอบอ่อนพบว่า สีของฟิล์มหลังการอบอ่อนจะเปลี่ยนแปลงไป

ตามอุณหภูมิอบอ่อนโดยเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีน้ำตาลเข้ม สีเหลืองทอง สีน้ำเงิน สีเขียวเข้มและสีเขียวอ่อน ตามลำดับ ทั้งนี้จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มด้วยเทคนิค XRD พบว่าอุณหภูมิอบอ่อนไม่มีผลต่อโครงสร้างผลึก โดยฟิล์มที่ได้ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 900°C ยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน จากเทคนิค EDS สามารถระบุพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มได้จากการพิจารณาปริมาณออกซิเจนในเนื้อฟิล์ม ซึ่งพบว่าปริมาณออกซิเจนในเนื้อฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิ 700°C แสดงให้เห็นว่าฟิล์มเกิดการออกซิเดชัน ส่วนผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางจากเทคนิค FE-SEM พบว่าที่อุณหภูมิ 700°C เริ่มมีชั้นของออกไซด์เกิดขึ้นบนผิวหน้าของฟิล์มไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ ผลในส่วนนี้สนับสนุนให้เห็นว่าฟิล์มเกิดออกซิเดชันที่ อุณหภูมิ 700°C โดยความหนาของชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 58 nm เป็น 317 nm ที่อุณหภูมิ 900°C ส่วนอัตราการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มในงานวิจัยนี้ซึ่งคำนวณจากสมการของวากเนอร์พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจาก $2.30 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$ เป็น $6.84 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ เมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พลังงานกระตุ้นของการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางจากสมการของอาร์เรเนียสพบว่ามีความเท่ากับ 134.90 kJ/mol

ทั้งนี้ผลการศึกษาจากเทคนิค XRD, EDS และ FE-SEM สรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C สำหรับแนวทางในการศึกษาวิจัยหรือนำไปใช้งานต่อจากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เช่น ควรศึกษาการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยเงื่อนไขเพิ่มเติม หรือการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถและประสิทธิภาพในการต้านทานการเกิดออกซิเดชันของฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์กับฟิล์มบางประเภทอื่น ๆ หรือควรนำฟิล์มบางไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ได้ในงานวิจัยนี้ไปเคลือบบนชิ้นงานประเภทต่าง ๆ เพื่อทดสอบการใช้งานจริง

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Witit-anun, N. and Buranawong, A. "Effect of Substrate-target Distance on the Structure of TiCrN Films Deposited from Mosaic Target by Reactive DC Magnetron Sputtering," *Key Engineering Materials*. 798: 163-168, 2019.

- [2] Krzanowski, J. and Foley, D. "The Effect of Cr Content on the Oxidation Behavior of Ti-Cr-N Films," *Coatings*. 4(2): 308-319, 2014.
- [3] Danek, M., Fernandes, F., Cavaleiro, A. and Polcar, T. "Influence of Cr Additions on the Structure and Oxidation Resistance of Multilayered TiCrAlN Films," *Surface and Coatings Technology*. 313: 158-167, 2017.
- [4] Paksunchai, C., Denchitcharoen, S., Chaiyakun, S. and Limsuwan, P. "Growth and Characterization of Nanostructured TiCrN Films Prepared by DC Magnetron Co-Sputtering," *Journal of Nanomaterials*, 2014: 1-9, 2014.
- [5] Samapisut, S., Tipparach, U., Heness, G. and McCredie, G. "Effect of Magnetron Discharge Power and N₂ Flow Rate for Preparation of TiCrN Thin Film," *Procedia Engineering*. 32: 1135-1138, 2012.
- [6] Golosoc, D.A., Melnikov, S.N. and Dostanko, A.P. "Calculation of the Elemental Composition of Thin Films Deposited by Magnetron Sputtering of Mosaic Targets," *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 48: 52-59, 2012.
- [7] Forsén, R., Johansson, M.P., Odén, M. and Ghafoor, N. "Effect of Ti alloying of AlCrN Coatings on Thermal Stability and Oxidation Resistance," *Thin Solid Films*. 534: 394-402, 2013.
- [8] Witit-anun, N. and Teekhaboot, A., "Effect of Ti Sputtering Current on Structure of TiCrN Thin Films Prepared by Reactive DC Magnetron Co-Sputtering," *Key Engineering Materials*. 675-676: 181-184, 2016
- [9] Buranawong, A. and Witit-anun, N. "Oxidation Behavior of Nanostructure Sputtered Titanium Nitride Thin Films," *Current Applied Science and Technology*, 22(6): 1-11, 2022.
- [10] Komatsu, I., Aoki, H., Ebisawa, M., Kuroda, A., Kurroda, K., and Maeda, S. "Color change mechanism of niobium oxide thin film with incidental light angel and applied voltage". *Thin Solid Films*, 603: 180-186, 2016.
- [11] Aliaj, F., Sylva, N., Oettel, H. and Dilo, T. "Thermal Treatment in Air of Direct Current (DC) Magnetron Sputtered TiN Coatings". *Scientific Research and Essays*. 11: 230-238, 2016.
- [12] Chen, H.Y. and Lu, F.H. "Oxidation Behavior of Chromium Nitride Films". *Thin Solid Films*, 515: 2179-2184, 2006.
- [13] Youxing, H., Kewei, G., Huisheng, Yang., Xiaolu, P. and Volinsky, A.A. "Nitrogen Effects on Structure, Mechanical and Thermal Fracture Properties of CrN Films". *Ceramics International*, 515: 30729-30740, 2021.
- [14] Lee, D.B., Kim, M.H., Lee, Y.C., & Kwon, S.C. "High Temperature Oxidation of TiCrN Coatings Deposited on a Steel Substrate by Ion Plating". *Surface and Coatings Technology*, 141: 232-239, 2001.
- [15] Alaksanasuwan, S., Buranawong, A. & Witit-anun, N. "Structural and Oxidation Behavior of Nanocomposite TiCrN Thin Films". *Suan Sunandha Science and Technology Journal*, 9: 53-62, 2022.
- [16] Otani, Y. and Hofmann, S. "High Temperature Oxidation Behavior of (Ti_{1-x}Cr_x)N Coatings". *Thin Solid Films*. 287: 188-192, 1996.
- [17] Panjan, P., Navinsek, B., Cvelbar, A., Zalar, A. and Milosev, I. "Oxidation of TiN, ZrN, TiZrN, CrN, TiCrN and TiN/CrN Multilayer Hard Coatings Reactively Sputtered at Low Temperature", *Thin Solid Films*. 281-282: 298-301, 1996.

สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1-5
INSTITUTE OF VOCATIONAL EDUCATION :
NORTHEASTERN REGION 1-5

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
Vocational Education Commission

กระทรวงศึกษาธิการ
Ministry of Education



042-411-445 , 042-411-447



306 หมู่ 5 ต.โพธิ์ชัย อ.เมือง จ.หนองคาย 43000



WWW.IVENE1.AC.TH



IVENE1