

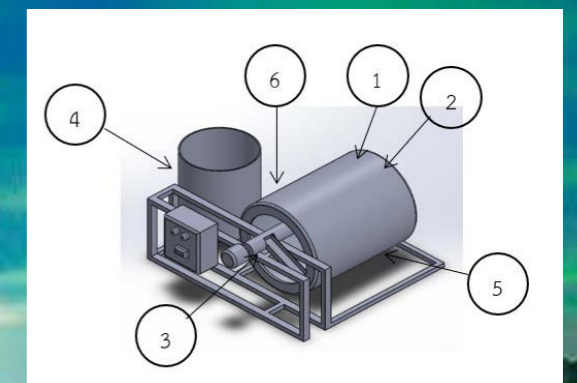
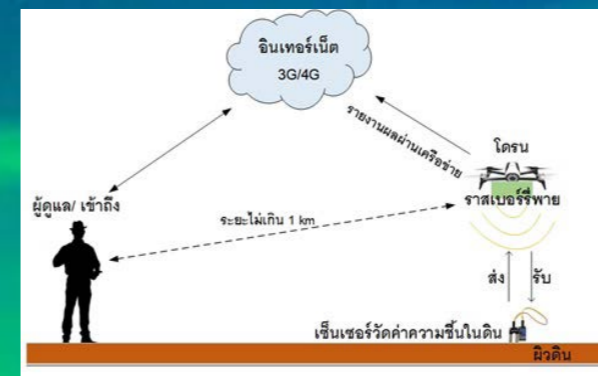


วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - ธันวาคม 2562 Vol. 2 No. 1 January - December 2019

วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - ธันวาคม 2562 Vol. 2 No.1 January - December 2019

KMITL Prince of Chumphon Journal Science and Technology



Science and Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

โทรศัพท์ 0-7750-6411, 08-8757-4846

โทรสาร 0-77506-425, 0-7750-6411

URL : <http://www.pcc.kmitl.ac.th>



วารสารสจล.ชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของสำนักงาน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร งานบริการวิชาการแก่สังคม ส่วนบริหารธุรกิจ ชั้นที่ 1 อาคารสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160 โทร 0-7750-6410, 088-7574846
วัตถุประสงค์ที่ปรึกษา	เพื่อสร้างเครือข่ายทางวิชาการของนักวิจัย และนักวิชาการในระดับชาติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค รักษาการแทนรองอธิการบดี รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิษระ ศิลป์เสวตร์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ อาจารย์อัศนัน สิริสุวพงศ์ รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดี นายโสพล จันทร์โชติ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ นางอัญชลี แก้วรักษ์ ผู้อำนวยการส่วนบริหารทั่วไป ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ รัตนเดช สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร์ นกเขา สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวีขศรี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง ยางทอง สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ดร.พัชรภรณ์ นาคเทวัญ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญจิตร สันติประชา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จาปาอะดี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ มหาวิทยาลัยรังสิต รองศาสตราจารย์ ดร. นิวุฒิ หวังชัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.सानาว์ เสาวกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา คุณณา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ดร.จงรักษ์ อรรถรัฐ มหาวิทยาลัยนเรศวร
บรรณาธิการกองบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ รัตนเดช สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร์ นกเขา สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวีขศรี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง ยางทอง สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ดร.พัชรภรณ์ นาคเทวัญ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญจิตร สันติประชา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จาปาอะดี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ มหาวิทยาลัยรังสิต รองศาสตราจารย์ ดร. นิวุฒิ หวังชัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.सानาว์ เสาวกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา คุณณา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ดร.จงรักษ์ อรรถรัฐ มหาวิทยาลัยนเรศวร
สารสนเทศ	นายอัศรัช จันทร์ทับ

สารบัญ

บทความวิจัย

การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด Performance Evaluation of Internal Surface Infrared Drum Dryer เกียรติศักดิ์ ใจโต, ธวัชชัย อาศัยนา, กระจวี ตรีอำนาจ, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, อีร์วัฒน์ ชื่นอัสดงคต, และ ณัฐพล แซ่ลิ้ม	1
กระบวนการผลิตหอยตลับแช่เยือกแข็ง Frozen Hard Clam (<i>Meritrix casta</i>) Production Process นพรัตน์ มะเท และ ดลฤดี พิชัยรัตน์	7
การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด Automatic Control Systems for the Growing of Plants in a Controlled- Environment System सानนท์ บุญมี, พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์ และ รัตนา ตั้งวงศกิจ	15
ผลของสารคล้ายบราสซิโนต่อคุณภาพผลมะนาว Effects of Brassin-like Substance (BS) on Lime Fruits Quality ทรงศักดิ์ ธรรมจรัส	25
การศึกษาความสามารถของกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยจากรดตัดอ้อยท่อน The Study of Determining Ability of a Cane Billet Measuring Board from a Chopper Harvester สมบัติ ขาวประทีป, รัตนา ตั้งวงศกิจ, พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์, ชูติ ม่วงประเสริฐ, นนทวัชร ชัยณรงค์ และ ทศพร เขาวัวพิเศษ	30
การวัดค่าความชื้นในดินโดยใช้โดรนสำหรับฟาร์มเกษตรกรรมขนาดใหญ่ 4.0 Soil Moisture Measurement using Drone for Large-Scale Agriculture Farm 4.0 อันนา ชูแสง, สิทธิพร คงนาสาร, ศรีญ ดวงสุวรรณ, พรชัย วงศ์วาสนา และปณณวีร์ จามจรีกุลกาญจน์	36
การสังเคราะห์รูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการเรียนรู้ตามกระบวนการ คิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม The Synthesis of the Multi-Agent Implementation Model to Support Learning According to the Design Thinking Process for Enhance the Innovative Thinking Skills พิชัญะ พรมลา และ สุธิดา ชัยชมชื่น	42
ล็อกเกอร์เก็บกุญแจควบคุมการทำงานด้วยอาร์เอฟไอดี The Key Locker Control by RFID ชาญวิทย์ มุสิกะ, ชนาเนตร อรรถยุกติ และ พงศกร อัครธรรมกุล	50

การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด Performance Evaluation of Internal Surface Infrared Drum Dryer

เกียรติศักดิ์ ใจโต^{1*}, ธวัชชัย อาศัยนา², กระวี ตรีอำรรค², เทวรัตน์ ตรีอำรรค¹, ธีรววัฒน์ ชื่นอัศตงคต², และ ณัฐพล แซ่ลิ้ม²
Kaittisak Jaito^{1*}, Thawatchai Arsaina², Krawee Treeeamruk², Tawarat Treeamruk¹,
Teerawat Chuenatsadongkot² and Nuttaphon Saelim²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

*Corresponding author: ball-417@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรดต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ด้วยการออกแบบระบบให้ความร้อนจากแท่งอินฟราเรด ใบมีด และสกรูลำเลียง ติดตั้งภายในลูกกลิ้งทรงกระบอกหมุน ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้จากความสามารถในการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทคือ 1) สารละลายมอลโตเดกซ์ทริน โดยกำหนดให้อัตราส่วนการผสมของน้ำเปล่าต่อมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 2:1 w/w และปัจจัยที่ทำการศึกษประกอบด้วยอุณหภูมิการอบแห้ง 150 175 และ 200°C ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.108 0.226 และ 0.453 rpm จากผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบ 0.108 rpm และอุณหภูมิ 150°C เป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดการไหม้ และมีค่าประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33 2) น้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทริน โดยกำหนดให้อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 150°C ความเร็วรอบ 0.105 rpm และอัตราส่วนการผสมของน้ำมะขามต่อมอลโตเดกซ์ทริน 1:0.8 1:0.7 1:0.6 และ 1:0.5 w/w จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วน 1:0.8 w/w เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณผลผลิต สูงสุดเท่ากับร้อยละ 22.53 และมีค่า SEC ต่ำสุดคือ 52.22 kJ/kg.

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด, สมรรถนะ, มอลโตเดกซ์ทริน, มะขาม

Abstract

The objective of this work was to evaluate the performance of prototype of internal surface infrared drum dryer. The infrared heater, scraper blade and conveyor screw were installed inside the rotational cylindrical. The performance of the dryer was evaluated in terms of drying ability and product quality by drying two materials. 1) Maltodextrin solution, with 2 : 1 mixing ratio of water to maltodextrin (%w/w). The study factors included the drying temperature of 150, 175 and 200°C and the rotation speeds of 0.108, 0.226 and 0.453 rpm. The results showed that the rotation speed of 0.108 rpm and the drying temperature of 150°C were the appropriate drying condition because the product did not burn and this condition provided the maximum drying efficiency of 33%. 2) Tamarind juice mixed with maltodextrin, the drying temperature of 150°C, rotation speed of 0.105 rpm and the mixing ratios of tamarind juice to maltodextrin at 1:0.8, 1:0.7, 1:0.6, and 1:0.5 w/w were used in this test. The results showed that the 1:0.8 mixing ratio of tamarind juice to maltodextrin was the appropriate condition because it provided the highest yield of 22.53% and the lowest SEC of 52.22 kJ/kg.

Keywords: internal surface infrared drum dryer, performance, maltodextrin, tamarind

บทนำ

ผลผลิตทางการเกษตรและอาหารบางชนิดมักเก็บเกี่ยวเป็นฤดูกาล จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเก็บรักษาเพื่อไม่ให้ผลผลิตเกิดการเน่าเสีย ซึ่งการเน่าเสียของอาหารส่วนใหญ่มักเกิดจากสาเหตุของน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลักในอาหาร (สุดสายและคณะ, 2555) ขณะที่การเก็บรักษาหรือวิธีการถนอมอาหารจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้บริโภคได้เป็นเวลานานขึ้น โดยการถนอมอาหารด้วยการทำแห้งเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด ใช้ได้กับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ การทำแห้งเป็นวิธีลดความชื้นในอาหารหรือทำให้อาหารมีความชื้นเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ส่งผลให้อาหารไม่เกิดการเน่าเสีย โดยการนำน้ำหรือความชื้นออกจากอาหารให้มากที่สุด การอบแห้งทำให้อาหารมีความปลอดภัย (ชาลีตา, 2555) และทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

เครื่องอบแห้งแต่ละชนิดจะมีลักษณะเด่นและด้อยแตกต่างกัน โดยผู้ใช้งานต้องเลือกให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ สำหรับการผลิตอาหารและผลิตภัณฑ์ผงนั้นนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) และเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) แต่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีข้อจำกัดเรื่องต้นทุนเครื่องอบแห้งที่สูงและไม่เหมาะกับของเหลวที่ข้นหนืด ส่วนเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งมีลักษณะเด่นคือมีต้นทุนในการผลิตต่ำ มีระยะเวลาในการทำแห้งสั้น อีกทั้งยังง่ายต่อกระบวนการผลิตและมีกำลังการผลิตสูง (นฤติและคณะ, 2554) แต่อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแต่ยังมีข้อเสียเรื่องการสูญเสียความร้อนออกจากระบบและการส่งผ่านความร้อนที่ต้องเกิดกระบวนการพาความร้อนที่ผิวด้านในของลูกกลิ้งกับก๊าซร้อน ลมร้อน หรือไอน้ำ ตามด้วยการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของลูกกลิ้งจากผิวด้านในสู่ผิวด้านนอก และการพาความร้อนและการนำความร้อนจากผิวลูกกลิ้งสู่ของเหลวหนืดและผลิตภัณฑ์แห้งที่จับอยู่บนผิวลูกกลิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกอย่างมหาศาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงส่วนการทำแห้งให้ฟิล์มของของเหลวหนืดอยู่ภายในลูกกลิ้งและใช้แหล่งความร้อนเป็นแท่งอินฟราเรดที่ติดตั้งอยู่ภายในซึ่งจะทำของเหลวหนืดได้รับความร้อนจากกลไกการแผ่รังสีและการนำความร้อนเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

วิธีการศึกษา

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งแบบอินฟราเรด โดยทำการพัฒนาและสร้างเครื่องอบแห้งบนผิวภายในลูกกลิ้งใช้แท่งอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อน มีส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งดังนี้

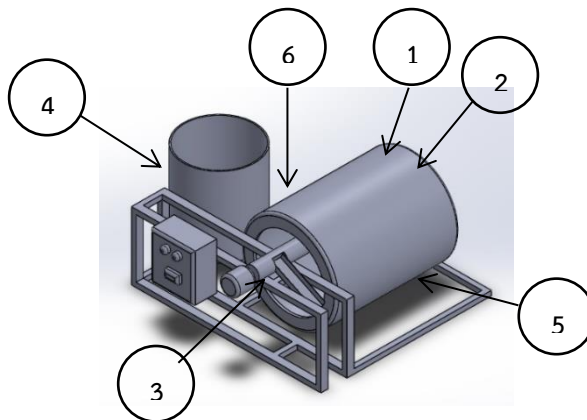


Figure 1 Internal Surface Infrared Drum Dryer

1) ระบบให้ความร้อนด้านในใช้แก๊สอินฟราเรดขนาด 1200 W ให้ความร้อนได้ 300°C ติดด้านบนของลูกกลิ้งห่างจากผิวภายใน 4 cm 2) ไบมีตชุดติดไว้ด้านบนของลูกกลิ้งทำหน้าที่ชุดผลิตภัณฑ์ออกจากผิวลูกกลิ้ง 3) สกรูล้ำเสียงทำหน้าที่นำผลิตภัณฑ์ออกจากลูกกลิ้งอบแห้ง 4) ระบบป้อนผลิตภัณฑ์ของเหลวที่นำมาอบแห้ง 5) ลูกกลิ้งอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ยาว 40 cm 6) มอเตอร์หมุนลูกกลิ้งควบคุมความเร็วรอบด้วย Inverter หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งลูกกลิ้งผิวในแบบอินฟราเรดคือ ทำการตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วรอบที่ต้องการที่ตู้ควบคุมจากนั้นทำการป้อนของเหลวที่ต้องการอบแห้งลงไปในถังอบแห้ง จากนั้นลูกกลิ้งหมุนทำให้ของเหลวเคลือบกลายเป็นแผ่นฟิล์มบริเวณผิวของถังพร้อมกับรับความร้อนจากแก๊สอินฟราเรด เมื่อแผ่นฟิล์มเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณไบมีต ไบมีตก็จะชุดแผ่นฟิล์มลงไปยังสกรูล้ำเสียงออกมาจากลูกกลิ้งอบแห้ง

การทดสอบการอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ

1) ทดสอบการอบแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายในอัตราส่วนของน้ำต่อมอลโตเดกซ์ทรินที่ 2 : 1 สภาวะที่ทำการอบแห้งคือที่อุณหภูมิ 150°C ความเร็วรอบที่ 0.108 รอบต่อนาที ที่ 175°C ความเร็วรอบที่ 0.226 rpm ที่ 200°C ความเร็วรอบที่ 0.453 rpm ทำการอบแห้งสารละลายจำนวน 300 g เป็นเวลา 1 h เก็บตัวอย่างนำไปหาค่าคุณภาพต่างๆ 2) ทดสอบการอบแห้งน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทริน ศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำต่อมะขามโดยศึกษาจากงานวิจัยของนาฏชนกและคณะ (2558) โดยเตรียมน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนของน้ำต่อมะขาม 5:1 จากนั้นผสมมอลโตเดกซ์ทรินตามอัตราส่วนน้ำมะขามต่อมอลโตเดกซ์ทริน 1:0.5 1:0.6 1:0.7 และ 1:0.8 (w/w) กึ่งสารละลายน้ำมะขามเปียกที่ได้มีสมบัติแสดงใน Table 1 จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งบนผิวในลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 150°C ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.105 rpm อบแห้งจนกว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ออกมาใช้เวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมง 50 นาที จากนั้นนำแผ่นมะขามไปปัดให้เป็นผงและหาค่าคุณภาพต่างๆ

Table 1 Properties of tamarind mixed with maltodextrin

Properties	Ratio of Tamarind to maltodextrin			
	1:0.5	1:0.6	1:0.7	1:0.8
Viscosity (Pa.s)	0.11	0.32	0.53	0.92
Total solid (%)	40.43	43.9	47.13	49.68
Moisture (%)	59.57	56.1	52.87	50.32

ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งโดยพิจารณาจากค่า 1) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (อัจฉราและคณะ, 2556) บันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย Kilo-Watt hour meter ที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง โดยค่า SEC สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$SEC = \frac{3.6(E)}{m_{water}} \quad (1)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (MJ/kg_{water})

E คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh)

m_{water} คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg_{water})

2) ประสิทธิภาพการอบแห้งหาได้จากสัดส่วนปริมาณของแข็งที่อยู่ในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งกับปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารละลายที่นำมาอบแห้งหาได้จากสมการที่ (2)

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{input}} \times 100 \quad (2)$$

3) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) วิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ml ผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 10 ml ใส่ลงในขวดลูกชมพู่ พร้อมทั้งหยดสารอินดิเคเตอร์ลงไป 3 หยดจากนั้นทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ สารละลายจะเกิดเป็นสีชมพูอ่อนค่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไปบันทึกผลนำไปคำนวณปริมาณกรดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดทาร์ทาริก (เปาว์, 2548) ดังสมการที่ (3)

$$\text{Totalacidity} = \frac{V \times N \times m_w}{U} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ	V	คือ	ปริมาณของต่างที่ใช้ในการไทเทรต (ml)
	N	คือ	นอร์มัลของต่างที่ใช้ในการไทเทรต
	M _w	คือ	น้ำหนักโมเลกุลของกรดทาร์ทาริกมีค่า 0.75
	U	คือ	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ผลการทดสอบการอบแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่อุณหภูมิ 150°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำแห้งใกล้เคียงกันและผลิตภัณฑ์ที่ได้สมบูรณ์แตกต่างกับอุณหภูมิอื่นที่ผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้ทำให้สูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำแห้งสูงที่สุดด้วยดัง Table 2

ผลการทดสอบน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า เมื่ออัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง โดยที่อัตราส่วนมอลโตเดกซ์ทรินที่ 80% เป็นสภาวะการอบแห้งที่ใช้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด 52.22 kJ/kg (ดังแสดงใน Figure 2) เนื่องจากสารตัวพาช่วยให้สารละลายมะขามไม่เกิดความเหนียวในระหว่างกระบวนการทำแห้งส่งผลให้ใบมีดชุดผลิตภัณฑ์ออกมาได้มากขึ้นทำให้มีค่าประสิทธิภาพการทำแห้งสูงสุดตามมาด้วยดังแสดงใน Figure 3 ส่วนค่าความเป็นกรดของมะขามพบว่า น้ำมะขามเริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่น้ำมะขามหลังผสมสารมอลโตเดกซ์ทรินและมะขามผงจะมีค่าความเป็นกรดลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินที่เติมลงไปสามารถเจือจางปริมาณของกรดที่มีอยู่ในน้ำมะขามทำให้ปริมาณกรดที่อยู่ในน้ำมะขามมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่าความเป็นกรดของมะขามผงมีค่ามากกว่าน้ำมะขามเริ่มต้นเนื่องจากน้ำเป็นตัวเจือจางความเป็นกรดเมื่อระเหยน้ำออกไปแล้วทำให้ค่าความเป็นกรดเข้มข้นขึ้นดังแสดงใน Figure 4

Table 2 Performance evaluation of maltodextrin drying

Conditions		Performance Evaluation of Drying			
Temperature (°C)	Roller speed (rpm)	SEC (kJ/kg)	%Moisture content (%wb)	Efficiency (%)	Characteristics of Product
150	0.108	11.28	0.942	33	Complete
175	0.226	12.23	0.785	30.35	Slightly burn
200	0.453	15.78	1.372	21.16	Burn

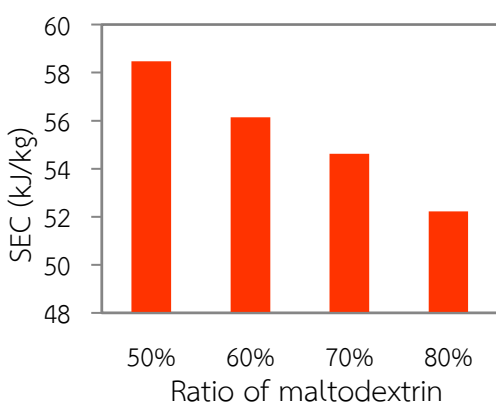


Figure 2 Specific energy consumption tamarind

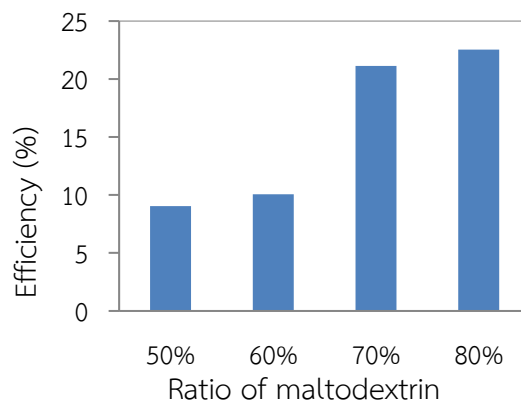


Figure 3 Efficiency of powdered of powdered tamarind

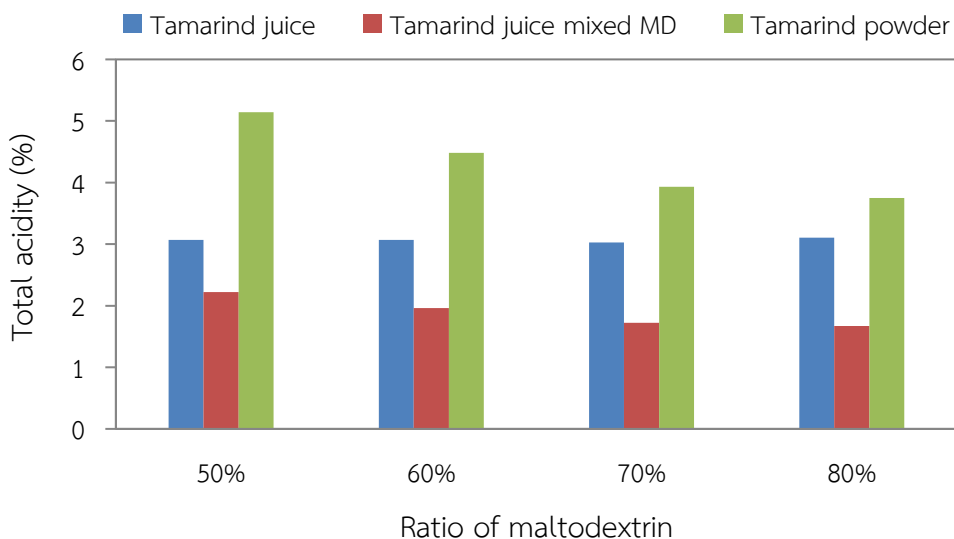


Figure 4 Total acidity of powdered tamarind

สรุป

ผลการทดสอบสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินพบว่า สภาวะการทำแห้งที่ความเร็วรอบ 0.108 rpm และอุณหภูมิ 150°C เป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดการไหม้ และมีค่าประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33 ส่วนน้ำมะขามผสมมอลโตเดกซ์ทริน พบว่าที่อัตราส่วน 1:0.8 w/w เป็นสภาวะการทำแห้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับร้อยละ 22.53 และมีค่า SEC ต่ำสุดคือ 52.22 kJ/kg.

เอกสารอ้างอิง

- ชาติดา บรมพิชัยชาติกุล. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 35 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2555
- นฤดี พงศ์กิจจิฑูร, สุวิษ ศิริวัฒนโยธิน ,สายลม สัมพันธ์เวชโสภาก และทิพาพร อยู่วิทยา. 2544. ปัจจัยในการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, ปีที่ 24, ฉบับที่ 1, หน้า 69-84.
- นางอุษณกร ปรางปรุ, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และ กระวี ตรีอำนาจ. 2558. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตัวพาทที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 16 นานาชาติครั้งที่ 8
- เปาว์ คงสุนทรกิจกุล. 2548. ผลของสารช่วยทำแห้งและสภาวะการทำแห้งต่อสมบัติผลิตภัณฑ์ผงในการผลิตมะขามผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 93 น.
- มหาลัยมहितล คณะสาธารณสุขศาสตร์. องค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร. 2551. [http://thaidietetics.org/File/ReviewofFiveKnowledge/RFK20120530012920_22-04-51% 20\).pdf](http://thaidietetics.org/File/ReviewofFiveKnowledge/RFK20120530012920_22-04-51%20).pdf) (20 มิถุนายน 2560)
- อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ภูริระวินัยกุล และยุทธนา ภูริระวินัยกุล. 2556. ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 18 ฉบับที่ 1. 166-180 หน้า.

กระบวนการผลิตหอยตลับแช่เยือกแข็ง Frozen Hard Clam (*Meritrix casta*) Production Process

นพรัตน์ มะเห* และ ดลฤดี พิชัยรัตน์
Nopparat Mahae*, and Donrudee Pichairat

สาขาอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง
Department of Food Industry and Fishery Product, Faculty of Science and Fisheries Technology,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang
* Corresponding author: nopparat.mutsv@gmail.com

บทคัดย่อ

หอยตลับเป็นหอยที่สำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดตรัง แต่หอยตลับเสื่อมเสียง่าย จึงต้องการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง โดยทำการศึกษาสภาวะในการเตรียมตัวอย่างก่อนการแช่เยือกแข็ง ด้วยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 40 และ 50 นาที ศึกษาคุณภาพของเนื้อหอยหลังการต้ม โดยศึกษาค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณต่างที่ระเหยได้ (TVB) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing lose) จากนั้นทำการศึกษา กราฟการแช่เยือกแข็ง และอัตราการแช่เยือกแข็ง ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างก่อนการแช่เยือกแข็งคือการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 40 นาที การแช่เยือกแข็งตัวอย่างหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวอย่างเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง ถือเป็นแช่แข็งแบบช้า (Slow Freezing) ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถนำไปใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งหอยตลับของชุมชนชาวประมงในท้องถิ่นได้

คำสำคัญ: หอยตลับ, การแช่เยือกแข็ง, การยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

Abstract

Hard clam is an important economic clam of Trang province, but it is perishable. Then the freezing process as preservation method was selected for this clam. The study on preparation process as boiling in water (30, 40 and 50 minutes) was studied. pH value, total volatile base (TVB), water holding capacity (WHC) and % thawing lose were investigate for quality evaluation. After that, freezing graph and freezing rate were studied. The result showed that suitable boiling time for this clam was 30 minutes. Thermal arrest time to reach -18°C at the center of sample was 7 hours 54 minutes (474 minutes). Freezing rate was 0.30 cm/hr., which was slow freezing. This condition could be used for freezing process of Hard clam in local fishery community.

Keywords: Hard clam, freezing, food preservation

บทนำ

หอยตลับ มีชื่อเรียกอื่นๆ คือ หอยกระปุก หอยหวาน หอยปะ บางชนิดเปลือกเรียบเป็นมัน และมีลายเป็นแถบสีน้ำตาล บนพื้นสีขาวหรือสีครีม บางชนิดไม่มีลาย แต่มีสันและร่องในแนวที่ขนานกับขอบเปลือกทั่วทั้งเปลือก อาศัยตามพื้นท้องทะเล ที่เป็นทราย และโคลนปนทราย ในเขตน้ำตื้น (วันทนา และคณะ, 2552) หอยในกลุ่มหอยตลับมีหลายชนิด พบทั้งทางฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน ที่สำคัญได้แก่ ชนิด *Meretrix meretrix* พบมากทางฝั่งอ่าวไทย เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และชนิด *Meretrix casta* พบมากทางฝั่งอันดามัน และแถบจังหวัดสมุทรสงคราม ชลบุรี หอยตลับนอกจากจะบริโภคสดในรูปหอยตลับทั้งเปลือกแล้ว ยังมีการแกะเนื้อเพื่อส่งจำหน่ายยังต่างประเทศ หอยตลับชนิด *M. meretrix* มีราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 35-50 บาท ส่วนชนิด *M. casta* มีปริมาณมากและมีราคาถูกกว่า คือกิโลกรัมละประมาณ 15-20 บาท (ทรงชัย และคณะ, 2530)

การถนอมอาหารโดยการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่มนุษย์รู้จักกันมานานแล้ว หลักการพื้นฐานในการแช่เยือกแข็งคือ การลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถจะดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ โดยทั่วไปมักจะเป็นที่อุณหภูมิ -18°C หรือต่ำกว่า ซึ่งหลักสำคัญคือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นน้ำแข็ง เพื่อมิให้น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่างๆในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสับสเตรทให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนมากับอาหารได้ (สายสนม, 2539) ปัจจุบันกฎการเก็บรักษาอาหารแช่แข็งส่วนใหญ่ จะให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C (หรือ 0°F) ได้ในระยะเวลา 6 เดือน ถึง 2 ปี ด้วยความเย็นระดับนี้จะไม่มีจุลินทรีย์ชนิดใดสามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ชนิด Psychophilic Organism ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิต่ำถึง -5 องศาเซลเซียส ทำให้การแช่เย็นทั่วไปป้องกันไม่ได้ เพราะอุณหภูมิจะอยู่ที่เพียง 0-5 องศาเซลเซียส (บุหลัน และ เปรมจิตต์, 2538) การนำหอยตลับมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง นอกจากพิจารณาในแง่ของการเป็นหอยเศรษฐกิจแล้ว หอย *Meretrix* sp ยังอุดมไปด้วย ด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และสรรพคุณทางยา เช่น ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (anticancer) (Xie *et al.*, 2012) การควบคุมการตอบสนองทางระบบภูมิคุ้มกัน immuno-regulating (Xie *et al.*, 2012) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Jiang *et al.*, 2013) ลดความดันและไขมันในเส้นเลือด (antihypertensive and hypolipidemic activities) (Xu, *et al.* 1999) นอกจากนั้นน้ำที่ได้จากการต้มหอยยังมีการผลิตจำหน่ายในรูปแบบของ nutraceutical product เนื่องจากมีองค์ประกอบของ กรดอะมิโนอิสระ และ เปปไทด์ (Wu and Shiau, 2002) สำหรับองค์ประกอบหลักของเนื้อหอยนั้น จะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของหอยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารอาหารที่มีในเนื้อหอยที่ใช้เป็นอาหาร 7 ชนิด ได้แก่ หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยเทพรส หอยเป่าฮื้อ หอยหลอด และหอยกะพง พบว่า ปริมาณสารอาหารในหอยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จากน้ำหนักเนื้อหอยสด 100 กรัม พบว่า มีโปรตีน 6.9 – 22.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.58 – 1.6 กรัม ไขมันรวม 0.4 – 1.4 กรัม แคลเซียม 14 – 98 มิลลิกรัม หอยชนิดที่มีโปรตีนมากที่สุด คือ หอยเชลล์ หอยนางรมมีคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมมากที่สุด ส่วนหอยกะพงมีไขมันรวมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหมู (ส่วนที่ไม่ติดมัน) พบว่า มีโปรตีน 20.14 กรัม ไขมันรวม 12 กรัม และแคลเซียม 9 มิลลิกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่า เนื้อหอยมีโปรตีนใกล้เคียงกับเนื้อหมู แต่มีไขมันรวมน้อยกว่า และมีแคลเซียมมากกว่า (วันทนา และคณะ, 2552) ส่วนหอยตลับมีการรายงานถึงคุณค่าทางโภชนาว่า หอยตลับเป็นแหล่งที่มาชั้นดีของวิตามิน B12 และประกอบไปด้วยสารอาหารจำพวกโพแทสเซียม (นิรนาม, 2559)

การศึกษาครั้งนี้ต้องการนำหอยตลับซึ่งเป็นหอยเศรษฐกิจของจังหวัดตรังมายืดอายุการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากหอยตลับมีการเสื่อมเสียง่าย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการผลิตหอยตลับแช่เยือกแข็งของชาวประมง เพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชนชาวประมงต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง

นำหอยตลับจากกลุ่มชาวประมงในอำเภอกันตัง จ.ตรัง มาล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด และล้างด้วยน้ำผสมคลอรีนความเข้มข้น 50 ppm โดยหอยที่ซื้อมาจะทำการทดลองในทันที นำหอยทั้งตัวที่ผ่านการ

ล้างทำความสะอาดแล้วมาวางให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเติมน้ำ อัตราส่วนหอยต่อน้ำ เท่ากับ 2:1 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที ตรวจสอบ ร้อย ละเอียดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% Cooking loss) โดยคัดแปลงวิธีการของ AOAC (1995) แกะเนื้อหอยแยกจากเปลือก นำเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอยบรรจุใส่ถุงพลาสติก โดยทำการชั่งน้ำหนักของ เนื้อหอยและน้ำหอยก่อนทำการแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างหอยที่ผ่านการลวกและน้ำหอยที่ได้จากการ ต้มซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกไปปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึก จากนั้นทำการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 °C เป็น เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งคัดแปลงสภาวะจาก Hong and Choi (2016) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการละลายน้ำแข็ง (Thawing) โดยผ่านน้ำไหลเป็นเวลา 30 นาที (Hong and Choi, 2016) คัดเลือกสภาวะในการต้มที่ เหมาะสม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรดต่าง ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)
- ปริมาณค่าที่ระเหยได้ ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)
- ร้อยละเอียดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% Cooking loss) โดยคัดแปลงวิธีการ ของ AOAC (1995)
- ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) ตามวิธีการของ Hong et al. (2008)
- ร้อยละเอียดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing loss) ตามวิธีการของ AOAC (1995)

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอย

เตรียมหอยตลับเช่นเดียวกับข้อ 1 โดยใช้สภาวะในการต้มที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกจากข้อ 1 หลังจากนั้นนำตัวอย่างหอยที่ผ่านการลวกและน้ำหอยที่ได้จากการต้มซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกไปปิดปากถุงด้วย เครื่องปิดผนึก ทำการแช่เยือกแข็งและศึกษาการแช่เยือกแข็งดังนี้

2.1 กราฟการแช่เยือกแข็ง

ศึกษากราฟการแช่เยือกแข็ง ตามวิธีการของ Boonsumrej *et al.* (2007) โดยทำการแช่เยือก แข็งตัวอย่าง ด้วยตู้แช่แข็ง (ยี่ห้อ Haier รุ่น FZD8V3333 ผลิตโดย บริษัทไฮเออร์ อีเล็กทริก (ประเทศไทย) จำกัด) ที่อุณหภูมิ -25 °C ซึ่งเป็นตู้แช่เยือกแข็งที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ราคาไม่แพง หากต้องถ่ายทอดผล การทดลองสู่กลุ่มชาวประมง บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางตัวอย่าง เท่ากับ -18 °C ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger Temperature) โดยใช้สายเสียบเข้าไปตรงกลางของชิ้น เนื้อหอย บันทึกอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิ -18 °C

2.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) โดยคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็ง ตามสมการ ของ Pan and Yeh (1993) ดังนี้

$$\text{Freezing rate (cm/h)} = \frac{\text{Minimum distance from the surface to the thermal center of sample (cm)}}{\text{Thermal arrest time (hr.) to reach } -18^{\circ}\text{C}}$$

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

1. การศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยทำการต้มหอย ตลับในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างๆกัน 3 ระดับคือ 30, 40 และ 50 นาที จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆคือ ค่าความ เป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณค่าที่ระเหยได้ (Total volatile base: TVB) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity: WHC) ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing loss) และ ร้อยละเอียดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing loss) ผลการทดลองแสดงดัง Table 1-5

Table 1 Effect of boiling time on pH value of Hard clam meat

Boiling time (minute)	pH Value
30	7.06 ± 0.05 ^a
40	6.98 ± 0.04 ^{ab}
50	6.95 ± 0.03 ^b

Remark: -The different letters within the same column indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันพบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของหอยตลับต้มที่ต้มเป็นระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที มีค่าเท่ากับ 7.06 ± 0.05 , 6.98 ± 0.04 และ 6.95 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งระดับค่า pH ดังกล่าวเป็นระดับค่า pH ของหอยสดปกติที่ยังไม่มีการเสื่อมเสีย จากการศึกษา Jo *et al.* (2014) ซึ่งทำศึกษากระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (high hydrostatic pressure: HHP) กระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้ความดันสูงเพื่อถนอมอาหาร พบว่าการใช้ความดัน 0.1 MPa, 100 MPa, 200 MPa, 300 MPa, 400 MPa และ 500 MPa ค่า pH ของหอยที่ได้มีค่าเท่ากับ 6.31 ± 0.15 , 6.30 ± 0.04 , 6.05 ± 0.01 , 6.35 ± 0.01 , 6.45 ± 0.03 และ 6.45 ± 0.03 ตามลำดับ

Table 2 Effect of boiling time on cooking loss of Hard clam meat

Boiling time (minute)	Cooking loss (%)
30	24.79 ± 3.09 ^a
40	26.94 ± 0.98 ^a
50	27.40 ± 1.16 ^a

Remark: -The different letters within the same column indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$).

จากตารางที่ 2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการต้มเป็นระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มของร้อยละการสูญเสียเนื่องจากการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการสูญเสีย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ เลิศเกียรติ (2542) พบว่าผลของวิธีและเวลาในการลวกหอยแมลงภู่ โดยลวกหอยแมลงภู่ด้วยไอน้ำและน้ำเดือดเป็นเวลา 2, 6, 8 และ 10 นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ผลผลิตที่มีร้อยละของผลผลิต (% yield) ลดลงจากร้อยละ 18.76 เป็นร้อยละ 16.67 สำหรับการลวกในน้ำเดือด และลดลงจากร้อยละ 22.30 เป็นร้อยละ 15.99 สำหรับการลวกไอน้ำ ซึ่งการลดลงของผลผลิตส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Table 3 Effect of boiling time on water holding capacity (WHC) of Hard clam meat

Boiling time (minute)	Water holding capacity (%)
30	47.67 ± 3.40 ^a
40	47.42 ± 3.26 ^a
50	37.05 ± 31.46 ^b

Remark: -The different letters within the same column indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 3 ความสามารถในการอุ้มน้ำของหอยตลับที่ผ่านการต้มด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ 30, 40 และ 50 นาที มีค่าลดลง ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจาก 40 นาทีเป็น 50 นาที นิธิยา (2545) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัด ได้แก่ การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ

น้ำ (water holding capacity) การหดตัว (shrinkage) ของกล้ามเนื้อ และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) โปรตีนแต่ละชนิดจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในสภาวะที่ต่างกัน และการทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติดังกล่าวมีหลายวิธี วิธีหนึ่ง คือ การให้ความร้อน โปรตีนในเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 57 ถึง 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการอุ้มน้ำและการหดตัวของเนื้อสัตว์

Table 4 Effect of boiling time on total volatile base (TVB) of Hard clam meat

Boiling time (minute)	Total volatile base (mg Nitrogen/100 g sample)
30	ไม่พบ
40	ไม่พบ
50	ไม่พบ

จากตารางที่ 4 ผลการศึกษาปริมาณต่างที่ระเหยได้ ของหอยตลับที่ผ่านการต้มเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าไม่พบปริมาณต่างที่ระเหยได้ที่ระยะเวลาการต้ม 30, 40 และ 50 นาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ วิชชญา (2548) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ กลั่นทิกา (2550) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณต่างที่ระเหยได้จะไม่พบปริมาณต่างที่ระเหยได้ในอาทิตย์แรกของการเก็บรักษา

Table 5 Effect of boiling time on thawing loss of Hard clam meat

Boiling time (minute)	Thawing lose (%)
30	14.68 ± 5.82 ^a
40	12.35 ± 4.15 ^{ab}
50	8.82 ± 3.35 ^b

Remark: -The different letters within the same column indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันพบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากการต้มเป็นเวลานานทำให้ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (ตารางที่ 2) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง (ตารางที่ 3) เนื่องจากการต้มเป็นเวลานานทำให้โปรตีนเสียสภาพ ซึ่งการเสียสภาพของโปรตีน ส่งผลต่อการสูญเสียสมบัติในการอุ้มน้ำของโปรตีน (Zayas, 1997) นั่นคือเมื่อต้มเป็นระยะเวลานาน หอยจะสูญเสียน้ำมาก เมื่อนำมาแช่เยือกแข็ง หอยที่เสียน้ำมากก็จะมี การสูญเสีย น้ำออกมาเนื่องจากการละลายน้อยลง เพราะมีน้ำเหลืออยู่ในเซลล์น้อย

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำต้มหอย

2.1 กราฟการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำต้มหอย การศึกษากราฟการแช่เยือกแข็งโดยทำการแช่เยือกแข็งตัวอย่างแบบ Air-blast freezing ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger temperature) ผลการทดลองแสดงดัง Figure 1

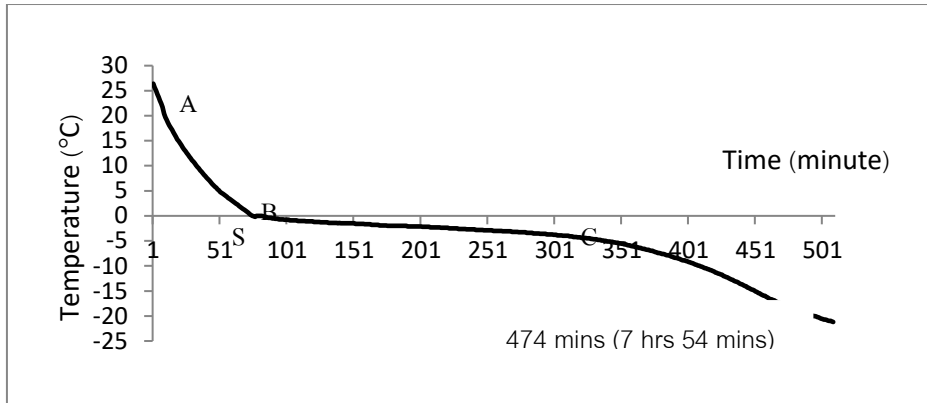


Figure 1 Change of temperature during frozen time of Hard clam

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีการแช่เยือกแข็ง (Rahman *et al.*, 2002) การศึกษากราฟแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ (Figure 1) พบว่าช่วงที่ 1 (A-S) เมื่อนำตัวอย่างเนื้อหอยตลับไปแช่เยือกแข็งซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้น A อุณหภูมิของตัวอย่างจะลดต่ำลงเนื่องจากมีการคายความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของน้ำในตัวอย่างเนื้อหอยตลับ จนถึงจุดทำให้เย็นยิ่งยวด (super cooling : S) ณ จุดนี้อุณหภูมิน้ำลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ คือ 0 องศาเซลเซียส แต่ยังไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นเสมอก่อนที่จะเกิดผลึกน้ำแข็ง ช่วงที่ 2 (S-B) เมื่อเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็ง จะมีการคายความร้อนของการเกิดผลึกหรือความร้อนแฝง (Latent heat) ช่วงที่ 3 (B-C) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในตัวอย่างเนื้อหอยตลับไปเป็นน้ำแข็งโดยอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิ -5.3 องศาเซลเซียส ในระหว่างนี้คงมีการคายความร้อนแฝงออกมาจนกระทั่งตัวอย่างเนื้อหอยตลับเป็นน้ำแข็งหมด ช่วงที่ 4 เมื่อตัวอย่างเนื้อหอยตลับกลายเป็นน้ำแข็งจนหมดแล้วหากยังคงทำการแช่แข็งต่อไปอุณหภูมิน้ำแข็งจะลดลงไปจนกว่าจะเท่ากับอุณหภูมิจากเครื่องแช่เยือกแข็ง ในช่วงนี้จะมีการคายความร้อนสัมผัสของน้ำแข็ง การทดลองครั้งนี้ทำการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของเนื้อหอยตลับถึงอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที

2.1.1 อัตราการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing rate) ของเนื้อหอยตลับ โดยคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็งตามสมการ (Pan and Yeh, 1993)

$$\begin{aligned} \text{Freezing rate (cm/hr)} &= \frac{\text{Minimum distance from the surface to the thermal center of sample (cm)}}{\text{Thermal arrest time (hr) to reach } -18^{\circ}\text{C}} \\ &= 2.40/7.90 \text{ (เซนติเมตร/ชั่วโมง)} \\ &= 0.30 \text{ เซนติเมตร/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

จากการศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ โดยคำนวณจากอัตราการแช่เยือกแข็งพบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง เป็นการแช่แข็งแบบช้า โดยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็งอยู่ในช่วง 0.2-0.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งชิ้นอาหารขนาดใหญ่ (Bulk) ในห้องเย็นที่มีลมเป่า (Air Blast Room) (วิลโลว์, 2547) LaBell (1991) อธิบายว่าระหว่างที่มีการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ซึ่งการเกิดผลึกจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์เมมเบรนของยีสต์ แต่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าเมื่อของเหลวภายในเซลล์เกิดการเย็นตัวแบบยิ่งยวด จะมีความดันไอที่แตกต่างกันระหว่างของเหลวภายในและเซลล์ภายนอก ทำให้น้ำในเซลล์ไหลออกมาภายนอกแล้วเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งและน้ำภายในเซลล์จะคงเหลืออยู่ ทำให้ไม่สามารถเป็นผลึกน้ำแข็งได้ ดังนั้น การแช่แข็งแบบช้าจึงทำให้เกิดอัตราการรอดชีวิตมากกว่า แต่การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การแช่เยือกแข็งแบบช้าเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง

ที่สามารถดำเนินการได้โดยใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่ราคาไม่สูงมากนัก กลุ่มชาวประมงที่ต้องการแปรรูปหอยตลับในลักษณะของหอยตลับแช่เยือกแข็งสามารถดำเนินการได้

สรุป

จากการศึกษากระบวนการแช่เยือกแข็งหอยตลับพบว่า การเตรียมตัวอย่างหอยก่อนการแช่เยือกแข็งโดยการต้มเป็นระยะเวลา 40 นาทีที่มีความเหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาคุณภาพของเนื้อหอย และเมื่อนำหอยไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางบล็อกของหอยที่ แช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที โดยมีอัตราการ แช่เยือกแข็งเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง เป็นการแช่แข็งแบบช้า (Slow Freezing) ซึ่งรูปแบบการแช่เยือกแข็งดังกล่าวสามารถถ่ายทอดผลการทดลองให้กับกลุ่มชาวประมงชายฝั่ง ซึ่งต้องการแปรรูปผลิตภัณฑ์หอยแช่เยือกแข็งได้ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถหาซื้อตู้แช่เยือกแข็งทั่วไปได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กัณฑ์กา แพทย์สิทธิ์. 2550. การผลิตหอยเป่าฮื้อ *Haliotis asinine* L. แช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ทรงชัย สหวัชรินทร์, คมนัน ศิลปาจารย์, สุทธิโณ ลิ้มสุรัตน์ และ สมพงษ์ กลางณรงค์. 2530. การเพาะพันธุ์หอยตลับ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 47/2530. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. 9 น.
- นิรนาม. 2559. 12 สุดยอดอาหาร. แหล่งที่มาของวิตามิน B12. <http://www.natui.com.au/articles/item/view/6380> (3 ตุลาคม 2561).
- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- บุ หลัน พัทธ์พัล และ เปรมจิตต์ สระวาสี. 2538. การถนอมผลผลิตผลการเกษตร. <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=19&chap=3&page=t19-3-infodetail07.html> (28 กันยายน 2561).
- เลิศเกียรติ พูลผล. 2542. การผลิตหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) แช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและแบบโครโอจีนิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วันทนา อยู่สุข ธีระพงศ์ ดั่งดี และ สิริจันทร์ ช่วงโชติ. 2552. หอยในทะเลไทย. <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=34&chap=5&page=t34-5-infodetail08.html> (28 กันยายน 2561)
- วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ. 500 น.
- วิษณุภา นระราแก้ว. 2548. การยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อ *Haliotis asinine* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2539. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร. ในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 131-163. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16thed. The Association of Official Analytical Chemists. Virginia.

- Boonsumrej, S., S.Chaiwanichsiri, S. Tantratian, T. Suzuki and R. Takai. 2007. Effect of freezing and thawing on the quality of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering* 80: 292-299.
- Hasegawa, H. 1987. *Laboratory Manual on Analytical Method and Procedures of Fish Products*. Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.
- Hong, G. P., S.H. Ko, M.J.Choi and S.G.Min. 2008. Effect of glucono- δ -lactone and K-carrageenan combined with high pressure treatment on the physico-chemical properties of restructured pork. *Meat Science*, 79, 236–243.
- Hong, G. P. and M.J. Choi. 2016. Comparison of the quality characteristics of abalone processed by high-pressure sub-zero temperature and pressure-shift freezing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 33: 19–25.
- Jiang, C.X., Q.P. Xiong, D. Gan, Y. Jiao, J. Liu, L. Ma, X. Zeng. 2013. Antioxidant activity and potential hepatoprotective effect of polysaccharides from *Cyclina sinensis*. *Carbohydrate Polymers* 91: 262–268.
- Jo, Y.J., K.H. Jung, M.Y. Lee, M.J. Choi, S.G. Min, G.P. Hong. 2014. Effect of high-pressure short-time processing on the physicochemical properties of abalone (*Haliotis discus hannai*) during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 23: 33–38.
- LaBell, F. 1991. Enzyme for bread extends freshness. *Food Processing April*: 118-119
- Pan, B.S. and W.T. Yen. 1993. Biochemical and Morphological changes in grass shrimp (*Penaeus monodon*) muscle following freezing by air blast and liquid nitrogen method. *Journal of Food Biochemistry* 17: 147-160.
- Rahman M.S., N. Guizani, M. Al-Khaseibi, S.A. Al-Hinai, S.S. Al-Maski, K. Al-Hamhami. 2002. Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. *Food Hydrocolloids* 16: 653-659
- Wu, H.C. and C.Y. Shiau. 2002. Proximate composition, free amino acids and peptides contents in commercial chicken and other meat essences. *Journal of Food and Drug Analysis* 10:170–177.
- Xie, W., C. Chen, X. Liu, B. Wang, Y. Sun, M. Yan and X. Zhang. 2012. *Meretrix Meretrix*: Active Components and Their Bioactivities. *Life Science Journal* 9(3): 756-762
- Xu, X.L., T.M. Li, C.R. Zhang. 1999. Experimental study on the stability of thrombin activity. *Chinese Journal of Biochemical and Pharmaceutics* 20: 298–299.
- Zayas, J.F. 1997. Water Holding Capacity of Proteins. pp.76-133. In: Zayas, J.F., ed. *Functionality of Proteins in Food*. Springer, Berlin, Heidelberg.

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด Automatic Control Systems for the Growing of Plants in a Controlled-Environment System

सानนท์ บุญมี*, พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์ และ รัตนา ตั้งวงศ์กิจ
Sanon Boonmee*, Pongsak Chontanaswat and Rattana Tongwongkit

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University Kamphaengsean Campus Nakorn Pathom, 73140
* Corresponding author: sanonb1@gmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัตโนมัติประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การควบคุมแสงเทียมจากหลอดไฟ ความเป็นกรด-ด่าง และการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืช ควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ตรวจวัดประมวลผล ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานระบบการควบคุมอัตโนมัติ พบว่ามีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิร้อยละ 99.60 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 99.82 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายร้อยละ 99.00 และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) ร้อยละ 98.75 สามารถเปิดปิดแสงไฟจากหลอดไฟแอลอีดีได้อย่างแม่นยำตามความต้องการ มีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 42.66 และ 26.83 ตามลำดับ ความเข้มของแสงจากหลอดไฟแอลอีดีเท่ากับ $227.35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ซึ่งมีความเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

คำสำคัญ: ระบบควบคุมอัตโนมัติ, โรงเรือนปลูกพืช, การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

Abstract

Development of automatic control systems for growing plants was applied by using in a closed system greenhouse. The objective was to design and create an automatic environment control system in the greenhouse consisting of the control systems such as temperature, relative humidity, light control, acidity and alkaline including the electrical conductivity (EC) of the solution used in growing crops. Control of measuring equipment for processing. The results of testing of the environmental control system indicated that temperature control accuracy was 99.60%. The relative humidity was 99.82%. The pH was 99.00%. The EC of the solution was 98.75%. The light control from the light-emitting diode (LED) bulb can work precisely according to the setting value. The automatic control system had the efficiency in controlling the temperature and relative humidity around 42.66% and 26.83% respectively. The light intensity from LED was $227.35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ which was sufficient for photosynthesis.

Keywords: Automatic Control System, Greenhouse, Hydroponics

บทนำ

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญต่อสุขภาพกันมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเลือกบริโภคอาหารที่ปลอดภัย อาหาร ผักในระบบไฮโดรโปนิคส์ซึ่งไม่ปนเปื้อนสารเคมีในดิน (Jeonghan Hwang, Hoseok Jeong, and Hyun Yoe, 2014) โดยผักไฮโดรโปนิคส์ และพืชผักโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะปลูกในโรงเรือนเพื่อช่วยลดการใช้สารเคมี หรืออาจไม่ใช้สารเคมี (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) แต่ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน (วัชชัย และคณะ, 2015) สภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดตามฤดูกาล ประกอบกับสภาวะโลกร้อนที่ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น (อิซกร และคณะ, 2557) ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตไม่คงที่ และคุณภาพต่ำลง นอกจากอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศแล้ว คุณภาพน้ำ สารอาหาร ความเข้มของแสง ก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามความต้องการของพืชผักแต่ละชนิด (อภิชาติ, 2560) โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาโรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling system) ด้วยการปล่อยให้น้ำไหลผ่านแผงกระดาษเคลือบ (Cooling pad) ซึ่งพัดลมจะดึงอากาศจากภายนอกเข้าโรงเรือนผ่านเคลือบกระดาษ ทำให้อุณหภูมิลดลง (จารุวัฒน์, 2557) แต่อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะมีค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งสูงหรือต่ำแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับระยะห่างของแผ่นเคลือบกระดาษ โดยพื้นที่ภายในตำแหน่งที่อยู่ใกล้แผ่นเคลือบกระดาษจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่ภายในตำแหน่งที่อยู่ห่างแผ่นเคลือบกระดาษ ความชื้นสัมพัทธ์ก็เช่นกัน (นิติรงค์ และคณะ, 2558) ด้วยข้อจำกัดเกี่ยวกับความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนระบบปิดที่ไม่สม่ำเสมอดังกล่าว จึงได้มีการนำระบบพ่นหมอกแบบอัตโนมัติเข้ามาใช้เพิ่มเติม (ธนากร และคณะ, 2557) แต่ด้วยสภาพอากาศในปัจจุบันที่อุณหภูมิสูงขึ้น แม้จะนำระบบพ่นหมอกแบบอัตโนมัติเข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพในลดอุณหภูมิได้ส่วนหนึ่ง แต่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ยังไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายนอกและการเปิดปิดระบบพ่นหมอกอัตโนมัติ อีกทั้งโรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำใช้หลังคาแบบโปร่งแสง เพื่อให้พืชได้รับแสงจากธรรมชาติในการสังเคราะห์อาหาร ซึ่งทำให้ไม่สามารถควบคุมให้พืชได้รับแสงที่เหมาะสมและเพียงพอในการสังเคราะห์แสงเพื่อความเจริญเติบโต

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด เพื่อแก้ปัญหาและข้อจำกัดของโรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำดังกล่าว โดยพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และความเข้มแสงกับช่วงเวลาในการสังเคราะห์แสงของพืช ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมและตรงต่อความต้องการของพืชมากที่สุด โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชผักแต่ละชนิดตามความต้องการได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างโรงเรือนปลูกพืชระบบปิด ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 220x300x220 เซนติเมตร โดยใช้เหล็กประกอบขึ้นโครงและปิดผนังด้วยแผ่นสมาทบอร์ดความหนาขนาด 0.8 เซนติเมตร ทั้งด้านนอกและด้านใน โดยมีช่องว่างตรงกลางระหว่างสมาทบอร์ดกว้าง 5 เซนติเมตร สำหรับใช้ในการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติและอุปกรณ์ในการเพาะปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

2. ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ พัดลมระบายอากาศ อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุปกรณ์ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง อุปกรณ์ควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ระบบกึ่งน้ำลึก (Dynamic Root Floating Technique)

3. ออกแบบระบบการให้แสงสำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยใช้หลอดไฟแอลอีดี โดยมีระยะความกว้างระหว่างแถว 30 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร และมีความสูงจากระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน 40 เซนติเมตร

4. ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน บันทึกค่าภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนทุก 1 ชั่วโมง เวลาตั้งแต่เวลา 7.00 น.-18.00 น.

การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด โดยใช้สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักสลัด มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 EC 1.8-2.0 และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-30°C (อภิชาติ, 2560) ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พืชใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง มีอยู่ในอากาศร้อยละ 0.03 ค่อนข้างคงตัวและมากเพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยในโรงเรือนระบบปิดที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนา มีพัดลมดูดอากาศ ซึ่งจะดูดอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในโรงเรือน ดังนั้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งภายนอกและภายในโรงเรือนจึงไม่มีความแตกต่างกัน

5. ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเพาะปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด และค่าความเข้มแสง (Photosynthetically Photon Flux Density) โดยตั้งค่า ดังนี้

- 1) อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 75 ทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น Lacer Easy EL-USB-2-LCD วัดและเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
- 2) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลาย 1.6 µS/cm ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดค่า Waterproof EC testr11+
- 3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0 ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดค่า Waterproof Meter PH868-5
- 4) ตั้งค่าความเข้มแสงหลอดไฟในห้องเลี้ยงพืช ตั้งค่าเวลาเปิด-ปิดแสงเทียมเวลา 6.00 น. และ 18.00 น. โดยใช้เครื่อง Spektrales PAR Meter ยี่ห้อ UPRtek รุ่น PG-100N ด้วยเครื่องมือวัดความเข้มแสงที่ระยะห่างจากหลอดไฟแอลอีดี 40 เซนติเมตร และใช้เครื่องมือจับเวลา

ทำการทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 7.00 น. – 18.00 น. เป็นเวลา 7 วัน นำข้อมูลที่ทดสอบมาวิเคราะห์ผล ข้อมูลอุณหภูมิ (°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH%) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) และช่วงเวลาในการเปิด-ปิดหลอดเลี้ยงพืช วิเคราะห์โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยร้อยละ (%) และวิเคราะห์ค่าความแม่นยำ (Accuracy) เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

$$\text{Relative error} = \frac{|x_{\text{mea}} - x_t|}{x_t} \dots\dots\dots(1)$$

$$\% \text{Error} = \text{Relative error} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$\% \text{Accuracy} = 100 - \% \text{Error} \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (measure value)
 X_t คือ ค่าจริง (true value)

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

1. โรงเรือนแบบปิดที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีขนาด กว้าง 220 เซนติเมตร ยาว 300 เซนติเมตร และสูง 220 เซนติเมตร ปิดผนังสองชั้นด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ดความหนาขนาด 0.8 เซนติเมตร ทั้งด้านนอกและด้านใน โดยมีช่องว่างตรงกลางระหว่างแผ่นสมาร์ทบอร์ดกว้าง 5 เซนติเมตร ปูพื้นด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 1.2 เซนติเมตร สำหรับใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (Figure 1)

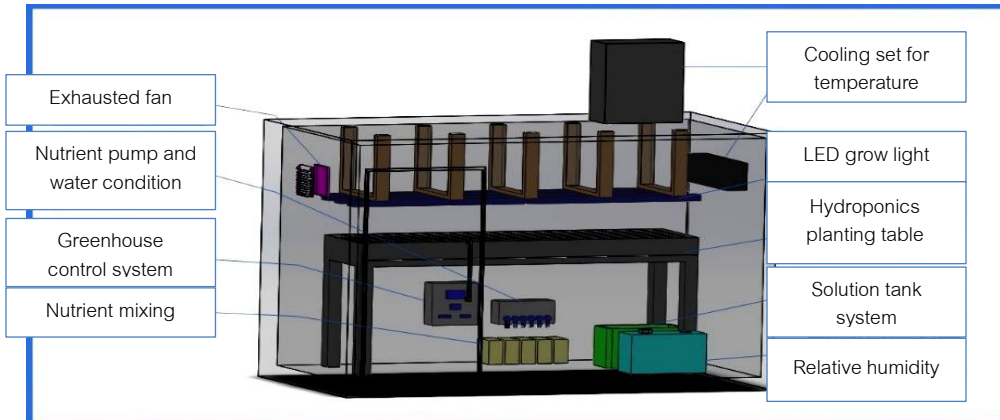


Figure 1 Closed system greenhouse for automatic environmental control system

2. ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบอัตโนมัติประกอบด้วยชุดเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ซึ่งเซนเซอร์จะทำการตรวจวัดข้อมูลและส่งข้อมูลที่ชุดควบคุมและทำการประมวลผล เสร็จแล้วจะส่งผลการประมวลผลมาที่อุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี อุปกรณ์ควบคุมพีแอลซีจะรับคำสั่งจากการประมวลผลตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ (Figure 2) พร้อมทั้งส่งคำสั่งเพื่อให้ดำเนินการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ พัดลมระบายอากาศ อุปกรณ์ผสมสารละลายธาตุอาหารเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสำหรับเพาะปลูกพืช รวมทั้งการควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟแอลอีดีสำหรับให้แสงกับพืช (Figure 2)

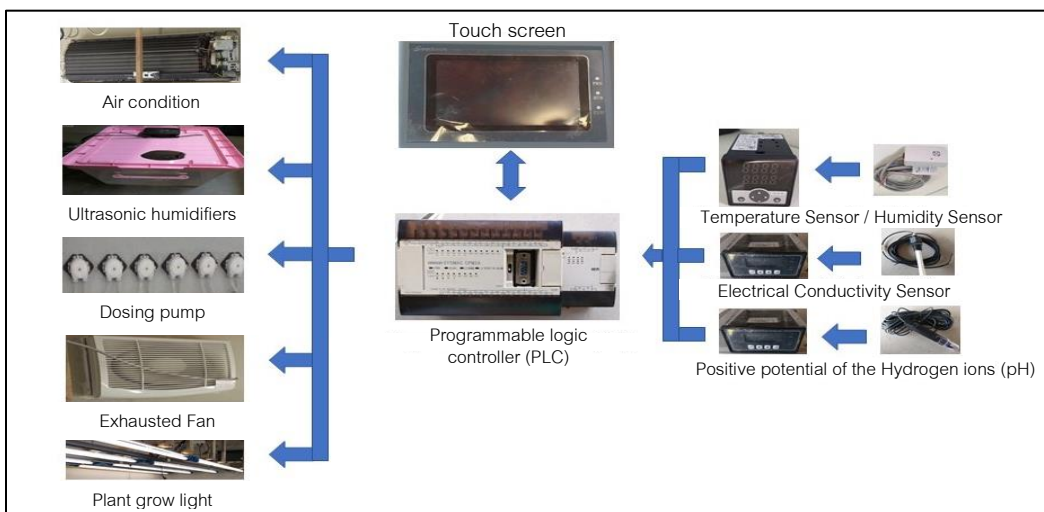


Figure 2 Environmental control equipment in the closed system greenhouse

3. ระบบให้แสงเทียมสำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชโดยใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีจำนวน 3 แถว ยาวแถวละ 120 เซนติเมตร แต่ละแถวมีจำนวนหลอดแอลอีดี 2 หลอด ระยะห่างระหว่างแถวของหลอดไฟแอลอีดี 30 เซนติเมตร โดยติดตั้งให้หลอดไฟแอลอีดีมีความสูงจากโต๊ะปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินระบบกึ่งน้ำลึก (DRFT) 40 เซนติเมตร

4. ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด สามารถวัดค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้สูงสุดและต่ำสุด 20.31 °C และ 18.94 °C ตามลำดับโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 19.55 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้สูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 90.75 และร้อยละ 74.31 ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 82.07 และผลทดสอบภายนอกโรงเรือนมีค่าอุณหภูมิได้สูงสุดและต่ำสุด 39.50 °C และ 25.28 °C ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34.10 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้สูงสุดและต่ำสุดร้อยละ 91.25 และร้อยละ 43.25 ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 60.05 อุณหภูมิภายในโรงเรือนต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนร้อยละ 42.66 ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนสูงกว่าภายนอกโรงเรือนร้อยละ 26.83 ประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 42.66 และ 26.83 ตามลำดับ (Table 1 และ Figure 3)

Table 1 Comparing between the temperature and relative humidity (both inside and outside of the Greenhouse)

Time	Average temperature			Average relative humidity		
	Outside greenhouse	Inside greenhouse	Difference	Outside greenhouse	Inside greenhouse	Difference
	(°C)	(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(%)
7.00	25.28	20.00	20.89	91.25	89.44	1.98
8.00	26.19	20.00	23.63	89.38	90.88	1.65
9.00	28.69	19.56	31.82	80.00	90.75	11.85
10.00	30.94	19.56	36.78	69.69	88.81	21.53
11.00	35.13	19.00	45.92	57.94	84.00	31.02
12.00	38.50	19.00	50.65	48.38	80.94	40.23
13.00	39.50	19.63	50.30	44.75	78.75	43.17
14.00	38.38	19.63	48.85	45.25	76.88	41.14
15.00	39.19	19.88	49.27	43.25	75.88	43.00
16.00	38.88	20.31	47.76	43.63	74.31	41.29
17.00	35.69	18.94	46.93	49.88	74.88	33.39
18.00	32.88	19.00	42.21	57.19	79.38	27.95
Average	34.10	19.55	42.67	60.05	82.07	26.83

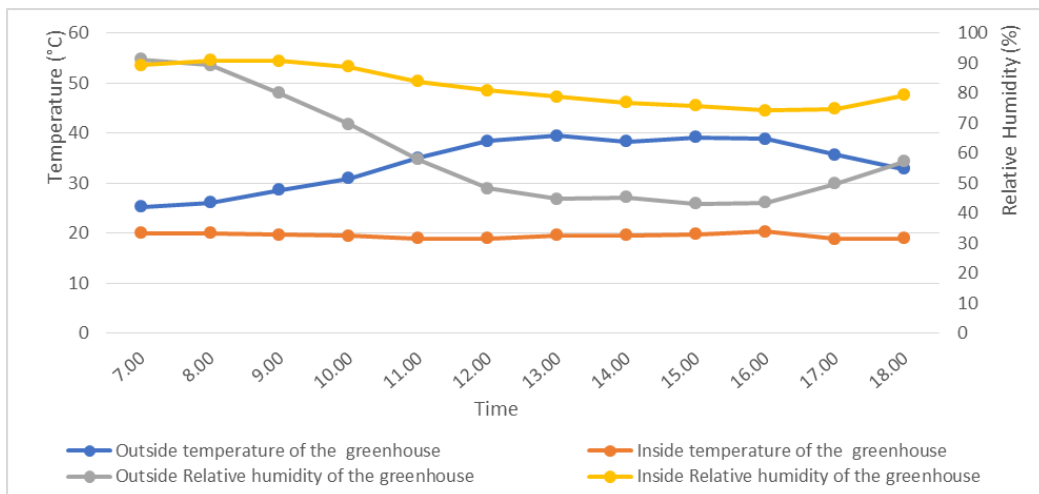


Figure 3 The difference between temperature and relative humidity within the house and outside the greenhouse.

5. ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิด (Table 2)

Table 2 Testing of automatic control system by setting control system (Temperature 25 °C, Relative humidity 75%, EC 1.6 μ S/cm and pH 6)

Time	Temperature		Relative humidity		EC		pH		Open-Close LED bulbs
	measured Value	Accuracy	measured Value	Accuracy	measured Value	Accuracy	measured Value	Accuracy	
6.00									Open
7.00	24.94	99.76	75.00	100.00	1.62	98.75	5.93	98.83	
8.00	25.06	99.76	75.19	99.75	1.63	98.13	5.87	97.83	
9.00	24.75	99.00	75.19	99.75	1.62	98.75	5.90	98.33	
10.00	25.00	100.00	73.44	97.92	1.65	96.88	5.91	98.50	
11.00	25.19	99.24	74.69	99.59	1.61	99.38	6.11	98.17	
12.00	25.44	98.24	74.56	99.41	1.63	98.13	6.14	97.67	
13.00	24.94	99.76	74.44	99.25	1.61	99.38	6.24	96.00	
14.00	24.94	99.76	74.06	98.75	1.60	100.00	6.20	96.67	
15.00	24.75	99.00	75.25	99.67	1.58	98.75	6.11	98.17	
16.00	25.00	100.00	76.00	98.67	1.60	100.00	6.14	97.67	
17.00	25.94	96.24	74.75	99.67	1.61	99.38	6.17	97.17	
18.00	25.31	98.76	75.88	98.83	1.61	99.38	6.01	99.83	Close
Average	25.10	99.60	74.87	99.83	1.62	98.75	6.06	99.00	

5.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนทำการทดสอบโดยกำหนดค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนไว้ที่ 25 °C และบันทึกค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 น.- 18.00 น. พบว่าค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 25.43 °C และต่ำสุดเท่ากับ 24.93 °C ตามลำดับโดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 25.10 °C ซึ่งการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิมีความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 99.6 (Figure 4)

5.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนทำการทดสอบโดยกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนไว้ที่ร้อยละ 75 บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-18.00 น. พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูงสุดร้อยละ 75.87 และต่ำสุดร้อยละ 74.06 ตามลำดับโดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 74.87 ทั้งนี้การทำงานของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์มีความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 99.82 (Figure 4)

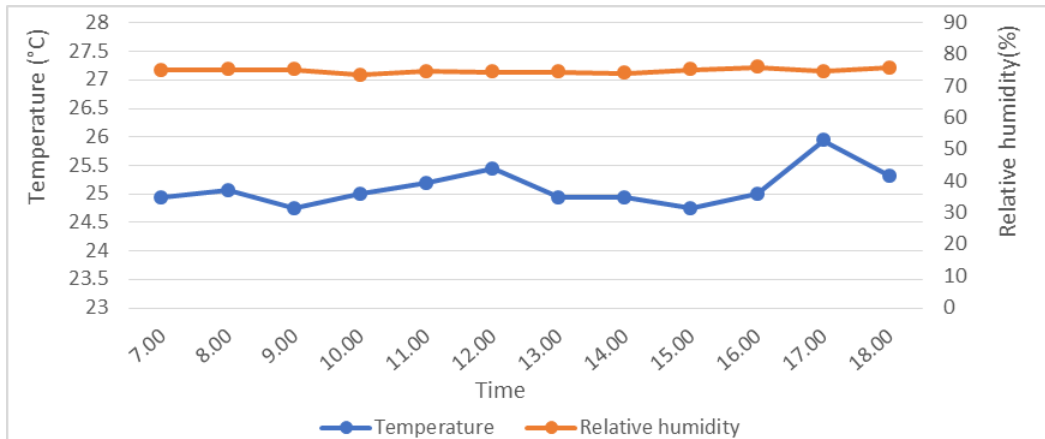


Figure 4 The temperature and relative humidity in the Greenhouse by setting temperature 25 °C and relative humidity 75%

5.3 การทำงานของระบบควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืช โดยกำหนดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ต้องการไว้ที่ 1.6 $\mu\text{S}/\text{cm}^\circ$ ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-18.00 น. พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสำหรับปลูกพืชสูงสุดเท่ากับ 1.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และต่ำสุดเท่า 1.58 $\mu\text{S}/\text{cm}$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งระบบควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีความแม่นยำในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 98.75 (Figure 5)

5.4 การทำงานของระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสำหรับการเพาะปลูกพืช ทำการทดสอบโดยกำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.00 และบันทึกค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-18.00 น. สามารถวัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้เท่ากับ 5.87 - 6.24 ตามลำดับ โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 6.06 ระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 99.00 (Figure 5)

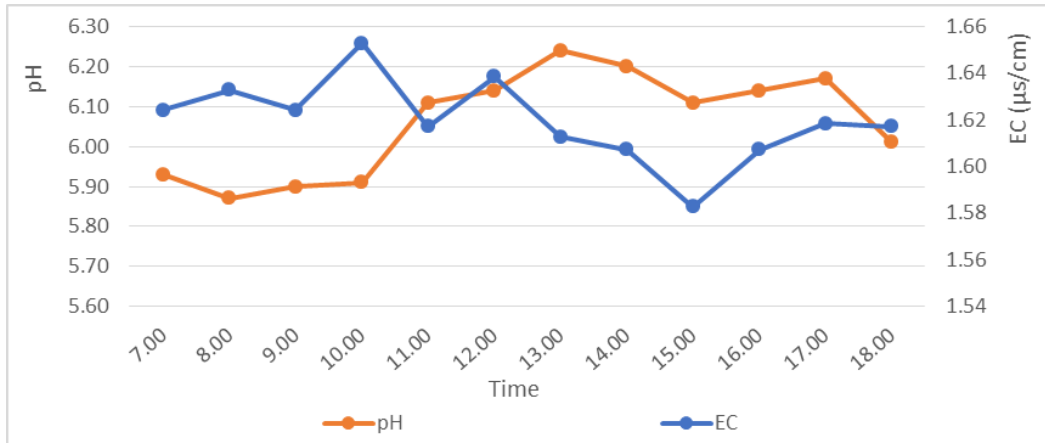


Figure 5 The differences in solution, EC and pH by setting EC 1.6 µS/cm and pH6

5.5 การทำงานของระบบควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟสำหรับการให้แสงสำหรับพืช โดยทำการตั้งเวลาในการเปิดไฟเวลา 6.00 น. และปิดไฟเวลา 18.00 น. ผลจากการทดสอบระบบควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟแอลอีดี ระบบสามารถทำการเปิด-ปิดไฟได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด และพบว่าความเข้มแสง (PPFD) จากหลอดไฟแอลอีดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $227.35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ที่ระยะความสูงของหลอดแอลอีดี 40 เซนติเมตร (Table 1)

สรุป

ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนระบบปิดที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้สามารถแก้ปัญหา และข้อจำกัดของโรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling system) ที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ และไม่สามารถควบคุมให้พืชได้รับแสงที่เหมาะสมและเพียงพอในการสังเคราะห์แสง โดยระบบที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความนำไฟฟ้า และความเป็นกรด-ด่างของสารละลายได้ตามค่าที่กำหนด โดยมีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมคิดเป็นร้อยละ 99.60 ความชื้นสัมพัทธ์คิดเป็นร้อยละ 99.82 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายคิดเป็นร้อยละ 99.00 และ 98.75 ตามลำดับ ระบบการควบคุมการให้แสงสามารถเปิดปิดแสงไฟจากหลอดไฟแอลอีดีได้อย่างแม่นยำตามค่าที่ตั้งไว้ รวมทั้งให้ค่าความเข้มของแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ทั้งนี้สามารถปรับตั้งค่า อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้าของสารละลาย เวลาในการเปิดปิดแสงไฟ ได้ตามความต้องการของพืชแต่ละชนิดได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ รศ.พงศศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์ และ รศ.ดร.รัตนา ตั้งวงศ์กิจ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ช่วยสนับสนุนทุนในการทำวิจัย พร้อมเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ไกรสร รวยป้อม. 2548. โรงเรือนเพาะปลูกระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.
กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. การผลิตผักไฮโดรโปนิคส์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.
- ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์และการใช้งาน. ด้านอุตสาหกรรมพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ธนากร น้าหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. 2557. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน แบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีที่ 8 (ฉบับที่ 1)
- ธนากร น้าหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. 2557. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้, น. 98-111. ใน วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, จังหวัดปทุมธานี.
- ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ และ กุลวดี เถนว่อง. 2557. ระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชวิธไฮโดรพอนิกส์. ใน การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2557 “Rethink : Social Development for Sustainability in ASEAN Community” 11-13 มิถุนายน 2557. ปทุมธานี.
- นิตินรงค์ พงษ์พานิช, วิชพรพล ชยประเสริฐ, ภัทราพร สญฺ์ชาติเจตน์, อธิติเดช มูลมั่งมี และกฤษฎา แสงเพ็ชรส่อง. 2558. การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, สมุทรปราการ.
- บ้านผักไฮโดร, ม.ป.ป. โรงเรือนปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในเมืองไทย. แหล่งที่มา: <http://lumlukahydroponics.com>. 25 กุมภาพันธ์ 2560.
- มานพ แยมแพง. 2547. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเลี้ยงไหม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2555. ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไร้ดิน. แหล่งที่มา:
- อภิชาติ ศรีสะอาด. 2560. ผักไฮโดรโปนิกส์. สมุทรสาคร: นาคา อินเทอร์เน็ตเดีย.
- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทย. ม.ป.ป. เซ็นเซอร์ (Sensor) คืออะไร. แหล่งที่มา: <http://tmecl.nectec.or.th>. 2 มกราคม 2559.
- Chen R., H. Liu, S. Song, G. Sun and R. Chen. 2015. Effects of light quality on growth and quality of lettuces in hydroponic. College of Horticulture, South China Agriculture University.
- Choi, H. G., B. Y. Moon and N. J. Kang. 2015. Effect of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. Scientia Horticulture 189: 22-31.
- Jeonghwan Hwang, Hoseok Jeong, and Hyun Yoe. 2014. Design and Implementation of the Intelligent Plant Factory System Based on Ubiquitous Computing. In Springer International Publishing, Switzerland
- Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki. 2016. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press., California, U.S.A. Lee, J.S., C.A. Lee, Y.H. Kim and S.J. Yun. 2013. Shorter wavelength blue light promotes growth of green perilla (*Perilla frutescens*) Int. J. Agr. Bio. 16: 1177-1182.

- Muneer S., E.J. Kim, J.S. Park and J.H. Lee. 2014. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences* 15: 4657-4670.
- Nicolle, c, cardinault, N., Gueux, E., Jafrelo, L., Rock, E, and Mazur, A. 2004. Health effect of vegetable-based diet: Nutrition.

ผลของสารคล้ายบราสซินต่อคุณภาพผลมะนาว Effects of Brassin-like Substance (BS) on Lime Fruits Quality

ทรงศักดิ์ ธรรมจำรัส
Songsak Thamjumrat

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี
Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi Province
Corresponding author: songsak427@gmail.com

บทคัดย่อ

สารคล้ายบราสซิน (BS) มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพไม้ผลหลายชนิด แต่ยังไม่มีการวิจัยในมะนาว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาคุณภาพผลมะนาว ทำการทดลองที่สวนมะนาวของเกษตรกรในอำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี (13°08'07"N 99°45'02"E) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design จำนวน 4 ซ้ำๆละ 1 ต้น พันสาร BS เข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm กับต้นมะนาวอายุผล 2 เดือนก่อนเก็บเกี่ยว พบว่า มะนาวที่ได้รับ BS ความเข้มข้น 1.0 ppm มีความกว้างผลมากกว่า 0.6 และ 0.8 ppm แต่ไม่แตกต่างกับ 0.4 ppm ความเข้มข้น 1.0 ppm มะนาวมีน้ำหนักผลมากกว่า 0, 0.6 และ 0.8 ppm ความเข้มข้น 1.0 ppm ขนาดเปลือกหนากว่าทุกสิ่งทดลอง ความเข้มข้น 0.4 ppm มีปริมาณน้ำคั้นมากกว่าชุดควบคุม และมีปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำหนักสดร้อยละ 42.54 ความเข้มข้น 0,0.4,0.8 และ 1 ppm มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน สารคล้ายบราสซินทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารคล้ายบราสซินความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 ppm สามารถเพิ่มขนาด น้ำหนักและปริมาณน้ำคั้นของผลมะนาวได้

คำสำคัญ: สารคล้ายบราสซิน , มะนาว ,คุณภาพ

Abstract

Brassin-like Substance (BS) have been widely used for increasing the quality of fruit, but have rarely been examined in lime. The aim of this research to determine its optimal application in “Pan Kaset” Lime. This research was conduct at lime orchard located in Nong Ya Plong distric, Phetchaburi Province. (13°08'07"N 99°43'03"E). The experimental design was completely randomized design (CRD) with 4 replications and 1 replication per tree. Brassin-like substance solution was sprayed at 0 (control) 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0 ppm .The brassin-like substances were sprayed on lime fruit age at 2 month before harvesting. The result showed that application of 1 ppm brassin-like substance had higher fruit width than 0,0.6 and 0.8 ppm but not significant with 0.4 ppm. Application of 1 ppm brassin-like substance has a higher fruit weight than 0, 0.6 and 0.8 ppm. Application of 1 ppm brassin-like substance had higher peel thickness than all treatment. Application of 0.4 ppm brassin-like substance had higher Juice than control and 42.54 Juice per fruit weight. The total soluble solid (TSS) °Brix of the fruit were 0, 0.4, 0.8 and 1 ppm was not significantly. All treatment was not significantly in titratable acidity (TA) (6.32-6.84%). These data suggested that BS spray from 0.4 and 1.0 ppm is in optimal concentration for Lime fruit enlargement, fruit weight and Juice.

Keywords: Brassin-like Substance (BS), lime(cv.Pan Kaset), quality

บทนำ

การผลิตมะนาวที่มีคุณภาพตรงตามต้องการของตลาด และผู้บริโภค ได้แก่ ขนาดผลใหญ่ ปริมาณน้ำคั้นมาก ก็จะทำให้เกษตรกรจำหน่ายมะนาวได้ในราคาที่สูงขึ้น ในปัจจุบันมีข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพของมะนาวอีกประการหนึ่งคือ มะนาวมีขนาดลูกเล็ก หรือมีขนาดลูกไม่สม่ำเสมอ ทำให้จำหน่ายไม่ได้ราคา ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มขนาดของผลมะนาว โดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มของบราสซิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroids, BRs) ซึ่งสารในกลุ่มของบราสซิโนสเตียรอยด์นี้ เป็นสารที่หายากในท้องตลาดและมีราคาแพง จึงได้มีการนำสารสเตียรอยด์สังเคราะห์ ได้แก่ สารคล้ายบราสซิโน นำมาใช้ในการทดลองแทน สารคล้ายบราสซิโนเป็นสารสังเคราะห์ตัวหนึ่งที่มีอนุพันธ์และฤทธิ์คล้ายบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ได้ กระตุ้นการสุกแก่ และส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (ลิลลี่ และคณะ, 2556)

การใช้สารคล้ายบราสซิโนเพื่อพัฒนาคุณภาพผลผลิต มีรายงานไว้ในไม่ผลหลายชนิด ดรูณี, 2553 พบว่า การใช้สารคล้ายบราสซิโนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ppm สามารถเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกได้ ทำให้ผลมะม่วงมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีน้ำหนักผลสดเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับกรรมวิธีควบคุม ขนาดความยาวของผลด้านยาว กว้าง และหนา ของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกเพิ่มขึ้น 18 12 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพงศ์, 2553 ทำการศึกษาผลของ BRs ที่มีการเปลี่ยนแปลงของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้โดยพื้นที่ความเข้มข้น 0 250 500 และ 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ในระยะ 30 วันหลังติดผล พบว่ามะม่วงที่ได้รับ BRs ที่ระดับความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อลิตร มีขนาดน้ำหนักผล เปลือก เนื้อ เมล็ดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด และสอดคล้องกับ ชรัสพันธ์, 2548 ศึกษาผลของการพ่น BRs ที่ความเข้มข้น 0.00 (กรรมวิธีควบคุม) 0.004 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่า การใช้ BRs ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ลำไยมีขนาดใหญ่ที่สุด

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลของสารคล้ายบราสซิโนต่อคุณภาพของผลมะนาวเพื่อให้ได้แนวทางในการใช้สารคล้ายบราสซิโนเพื่อพัฒนาคุณภาพผลมะนาวต่อไป

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองที่สวนมะนาวของเกษตรกรในอำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี (13°08'07"N 99°43'03"E) คัดเลือกมะนาวระยะ 2 เดือนก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ พันสารคล้ายบราสซิโนเข้มข้น 0 ppm (ชุดควบคุม) 0 0.4 0.6 0.8 และ 1 ppm ร่วมกับสารจับใบพ่นเป็นละอองให้กับต้นมะนาวโดยฉีดพ่นสารทั่วทั้งทรงพุ่มโดยไม่เน้นที่ผลมะนาว (ประมาณ 1.25 ลิตรต่อต้น) ดูแลรักษาตามวิธีที่เกษตรกรปฏิบัติ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ทำการทดลอง 4 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น เก็บเกี่ยวผลมะนาวเมื่ออายุครบ 5 เดือนหลังออกดอก ร่วมกับการสังเกตสีผิว เปลือกผล และขนาดผล นำผลผลิตจำนวน 80 ผลต่อสิ่งทดลอง (ไม่ผ่านการคัดขนาด) มาบันทึกข้อมูล ได้แก่ ความกว้างผล (มิลลิเมตร) ความสูงผล (มิลลิเมตร) ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ น้ำหนักผล (กรัม) โดยใช้ตาชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ปริมาณน้ำคั้น (มิลลิลิตร) ปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำหนักผล (%) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid : TSS) (°Brix) ด้วยเครื่อง Digital refractometer และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity; TA) (%) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ความกว้างและยาวผล

การให้สาร BS ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ppm ทำให้มีความกว้างผลมากกว่าการให้สารที่ความเข้มข้น 0 0.6 และ 0.8 ppm และการให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0 0.4 และ 0.8 ppm ไม่ทำให้ความกว้างผลแตกต่างกัน และการให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0 0.4 0.6 และ 0.8 ppm ไม่ทำให้ความยาวผลมะนาวแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้พบว่า การให้สาร BS ความเข้มข้น 1.0 ppm ทำให้มะนาวมีความยาวผลมากกว่าความ

เข้มข้น 0.8 ppm เมื่อเปรียบเทียบขนาดของผลมะนาวตามมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ.) เห็นได้ว่าการให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 ppm สามารถเพิ่มขนาดของผลมะนาวให้อยู่ในรหัส ขนาดผลที่ 1 ได้ (เส้นผ่าศูนย์กลางผลมากกว่า 45 มิลลิเมตร) (Table 1) เห็นได้ว่ามะนาวตอบสนองต่อสาร BS ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 ppm ได้ทำให้มีขนาดผลเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นที่ใช้มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับผลไม้อื่น จากงานวิจัยของอุบลวรรณ และธนะชัย (2555) รายงานว่า สารคล้ำยบราสซิน 0.5 1.0 และ 1.5 มก./ล. เพิ่มขนาดผลลำไยได้ทุกระดับความเข้มข้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเข้มข้น 1.5 มก./ล. สามารถเพิ่มความกว้างผลลำไยได้ 45.13%

น้ำหนักผล

การให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 1.0 ppm ทำให้มะนาวมีน้ำหนักผลมากกว่าที่ความเข้มข้น 0 0.6 และ 0.8 ppm แต่ไม่แตกต่างกับที่ความเข้มข้น 0.4 ppm (Table 1) สอดคล้องกับงานวิจัยในมะม่วงมหาชนกที่ได้รับสารคล้ำยบราสซินที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ppm สามารถเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกได้ ทำให้ผลมะม่วงมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีน้ำหนักผลสดเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ดรณี, 2553)

ความหนาเปลือก

การให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 1.0 ppm ทำให้มีขนาดเปลือกมากกว่าทุกสิ่งทดลอง และการให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0 0.4 0.6 และ 0.8 ppm ไม่ทำให้ความหนาของเปลือกแตกต่างกัน (Table 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ญัฐพงศ์ (2553) ที่พ่นสารคล้ำยบราสซินความเข้มข้น 0, 250, 500 และ 750 ไมโครกรัมต่อลิตรแก่มะม่วงน้ำดอกไม้ในระยะ 30 วันหลังติดผล พบว่ามะม่วงที่ได้รับ BRs ที่ระดับความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อลิตร มีขนาด น้ำหนักผล เปลือก เนื้อ เมล็ดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด

Table 1 Peel thickness, fruit weight and fruit weight of “Pan Kaset” Lime at harvest

Treatment	Fruit size (mm)		Fruit weight (mm)	peel thickness (mm)
	width	length		
BS 0 ppm	43.18 ^{bc}	39.38 ^{ab}	40.77 ^{bc}	1.80 ^b
BS 0.4 ppm	45.09 ^{ab}	41.46 ^{ab}	48.25 ^{ab}	1.81 ^b
BS 0.6 ppm	42.99 ^c	39.76 ^{ab}	41.54 ^{bc}	1.74 ^b
BS 0.8 ppm	43.20 ^{bc}	38.47 ^b	40.31 ^c	1.69 ^b
BS 1.0 ppm	45.53 ^a	41.99 ^a	48.83 ^a	2.11 ^a
F-test	*	**	**	**
CV (%)	3.27	4.07	10.44	8.83

ปริมาณน้ำคั้น และปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำหนักสด

การให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0.4 ppm ทำให้ผลมะนาวมีปริมาณน้ำคั้นมากกว่าชุดควบคุมและนอกจากนี้ยังพบว่า การให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0.4 ppm สามารถเพิ่ม ปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำหนักสดได้ร้อยละ 42.54 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานของผลมะนาวที่ ปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำคั้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักผล (Table 2)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(Total Soluble solid : TSS)

การให้สาร BS ที่ความเข้มข้น 0 0.4 0.8 และ 1 ppm ไม่ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะนาวแตกต่างกัน (Table 2)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

การให้สาร BS ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.32 -6.84 %

Table 2 Juice, total soluble solid (TSS) and titratable acidity (TA) of “Pan Kaset” Lime at harvest

Treatment	Juice (ml)	Juice per Fruit weight (%)	TSS (°Brix)	TA (%)
BS 0 ppm	10.97 ^b	26.97 ^b	7.13 ^{ab}	6.83
BS 0.4 ppm	20.53 ^a	42.54 ^a	7.10 ^{ab}	6.84
BS 0.6 ppm	13.40 ^{ab}	32.25 ^{ab}	6.87 ^b	6.80
BS 0.8 ppm	12.50 ^b	31.00 ^{ab}	7.27 ^a	6.41
BS 1.0 ppm	15.77 ^{ab}	32.30 ^{ab}	6.90 ^{ab}	6.32
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	33.47	23.93	3.15	7.44

การให้สาร BS ในช่วงระยะการติดผลดังกล่าวสามารถช่วยส่งเสริมคุณภาพผลมะนาวได้ เพราะ เป็นช่วงที่ผลมะนาวมีอัตราการเจริญเติบโตสูง เนื่องจากสาร BS สามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ได้ (ลิลลี่ และคณะ, 2556) ใกล้เคียงกับไม้ผลชนิดอื่นที่นิยมพ่นสาร BS แก่ผลผลิตในช่วงที่ผลมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ลำไยฉีดย่นระยะสร้างเนื้อผลและขยายเปลือก (สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2555) เงาะฉีดย่นอายุ 7-9 สัปดาห์ นับจากดอกบาน เป็นระยะที่ผลเงาะมีการพัฒนาเนื้อผล (พณิตา และคณะ, 2560)

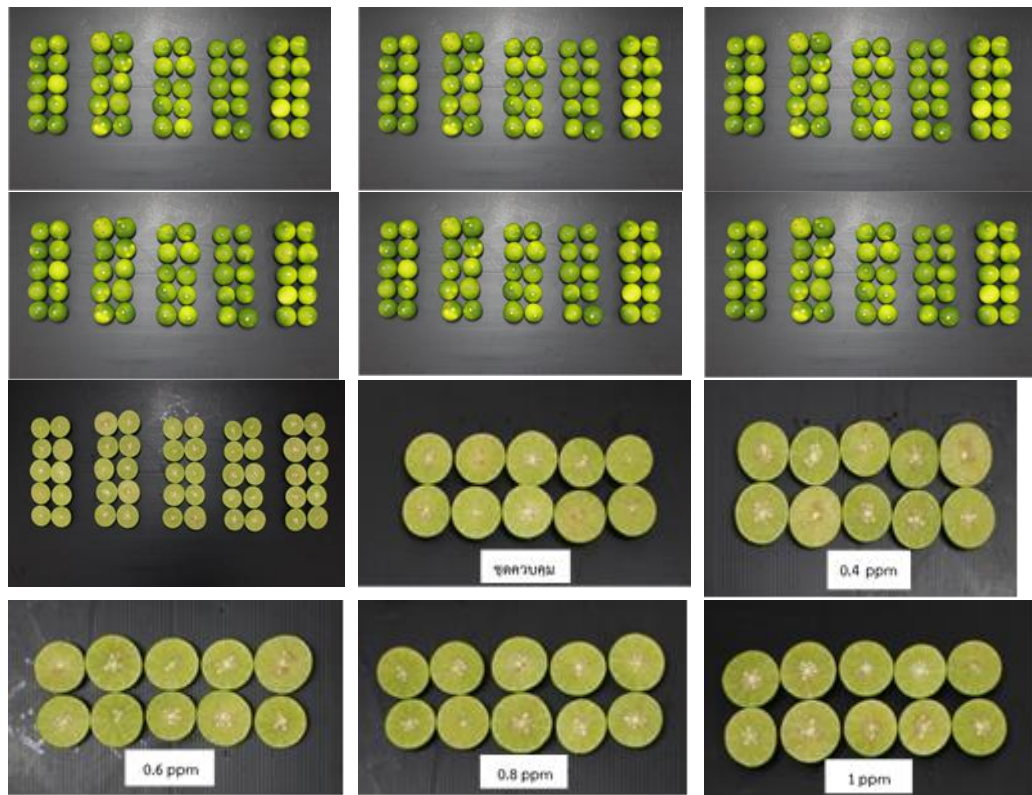


Figure 1 Fruit size and peel thickness of “Pan Kaset” Lime at harvest

สรุป

การใช้สาร BS ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 ppm สามารถช่วยเพิ่มขนาด น้ำหนักและปริมาณน้ำ คั้นของผลมะนาวได้ ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 ppm ทำให้ผลมะนาวมีปริมาณน้ำคั้นต่อน้ำหนักผลสดมากที่สุด ดังนั้นการใช้ที่ความเข้มข้น 0.4 ppm จึงเหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้สารคล้ายบราสซิโนเพื่อพัฒนาคุณภาพผลมะนาว

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินการวิจัย และนายรัตนพงษ์ นิมवाद เกษตรกรอำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี ที่อนุเคราะห์แปลงมะนาวสำหรับใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- ชรัสนันท์ ตาชม. 2548. ผลของบราสซิโนสเตียรอยด์ จิบเบอเรลลิน และออกซินต่อการเจริญเติบโตของผลลำไย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ดรุณี สมณะ. 2553. ผลของสารคล้ายบราสซิโนต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ณัฐพงศ์ สัตยพานิช. 2553. ผลของบราสซิโนสเตียรอยด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- พนิตา สุโข สุทิตา ชัยกุล นงนุช ชนะสิทธิ์ และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2560. ผลของ GA3 NAA และสารคล้ายบราสซิโน (BS) ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน. วารสารเกษตร 33(2): 175–184.
- ลิลลี่ กาวีตะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทราร. 2556. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนากระบวนการผลิตลำไยตามระบบมาตรฐานเกษตรอินทรีย์เพื่อเพิ่มศักยภาพการส่งออก. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 71 หน้า.
- อุบลวรรณ รัตนทิพยาภรณ์ และธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2555. ผลของสารคล้ายบราสซิโนต่อคุณภาพผลของลำไยพันธุ์ตอ. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร 29(2): 8-14.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.

การศึกษาความสามารถของกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยจากรถตัดอ้อยท่อน
The Study of Determining Ability of a Cane Billet Measuring Board from
a Chopper Harvester

สมบัติ ขาวประทีป*, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, ชูติ ม่วงประเสริฐ,
นนทวัชร ชัยณรงค์ และ ทศพร เชาววิเศษ

Sombat Khawprateep*, Ratana Tangwongkit, Pongsak Chontanaswat, Chuti Mungprasert,
Nonthawat Chainarong and Todsaporn Chaowiset

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม

¹Farm Mechanics Department, Agricultural Faculty at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University, Nakhon Pathom

* Corresponding author: agrsbk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวัดความยาวท่อนอ้อยจากการตัดโดยรถตัดอ้อยท่อน เป็นปัจจัยหนึ่ง que ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทำงานของรถตัดอ้อยท่อน คณะผู้วิจัยจึงได้ประดิษฐ์กระดานวัดความยาวท่อนอ้อยอย่างง่าย จุดมุ่งหมายในการศึกษาเพื่อที่จะประเมินความสามารถของกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยสำหรับการใช้งานในภาคสนาม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอ้อยและความยาวท่อนอ้อย การประเมินความสามารถในการวัดของกระดานวัดความยาวอ้อยท่อนจากการวัดเปรียบเทียบกับการใช้ไม้บรรทัดวัดความยาว พบว่าความยาวและการกระจายตัวของอ้อยท่อนทั้งสองวิธีการมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) และมีความสามารถในการวัดความยาวท่อนอ้อยของกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ย 4 วินาทีต่อท่อน ส่วนการวัดความยาวท่อนอ้อยด้วยไม้บรรทัดมีความสามารถเฉลี่ย 6 วินาทีต่อท่อน ตามลำดับ ซึ่งการวัดด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยมีความสามารถในการวัดมากกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัดคิดเป็นร้อยละ 33

คำสำคัญ: รถตัดอ้อย, ความยาวท่อนอ้อย, กระดานวัดความยาวท่อนอ้อย

Abstract

Sugarcane billet length is a one of many factors studied chopper harvester operating. A research team made a simple board applied to measure sugarcane billet lengths for using to study sugarcane billet length cut by the chopper harvester on field. The aim of this study was to evaluate the capability of the simple board to measure billet length and distribution by comparing that with a ruler method. Both of the average billet length and distribution were different but not significantly different (P-value > 0.05). The average measuring ability of the simple board was 4 second/billet. Conversely, average 6 second/billet was occurred by measuring with the ruler. When compared between the measuring capability of the simple board and the ruler methods, the measuring ability of the simple board was higher around 33%.

Keywords: Sugarcane Harvester, Sugarcane Billet Length, Billet Length Measuring Board

บทนำ

จากสถานการณ์ในปัจจุบัน ปัญหาแรงงานในภาคการเกษตรมีการขาดแคลนเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะแรงงานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ซึ่งเกิดขึ้นในทุกกิจกรรมของขบวนการผลิตอ้อยในไร่ แรงงานที่มีความจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงของการเก็บเกี่ยวอ้อย ซึ่งมีแนวโน้มลดลงในทุกปี ประกอบกับปัญหาการเผาอ้อยก่อนตัดด้วยแรงงานคน ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองซึ่งกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชนใกล้เคียงในปัจจุบัน (นิรนาม, 2562) ทำให้มีความจำเป็นในการเก็บเกี่ยวอ้อยโดย การใช้รถตัดอ้อยท่อนมาใช้เพื่อทดแทนแรงงานคนมากขึ้นและช่วยลดปัญหามลภาวะได้ระดับหนึ่งด้วยการตัดอ้อยสดส่งโรงงานน้ำตาลแทนอ้อยไฟไหม้ นอกจากนี้ยังสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้รวดเร็วกว่าแรงงานคน (วิชัย และคณะ, 2555; ทรงศักดิ์ และคณะ, 2557) ทำให้บริหารจัดการอ้อยในช่วงของการเก็บเกี่ยวอ้อยได้อย่างเป็นระบบ รถตัดอ้อยที่ใช้ในปัจจุบันจำนวนมากนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาสูง ในปัจจุบันมีการสร้างและพัฒนาการผลิตอ้อยชนิดตัดท่อนขึ้นใช้ภายในประเทศไทยมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาการผลิตอ้อยให้ได้คุณภาพและเหมาะสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทยยังมีความจำเป็นต้องศึกษาวิจัยไปพร้อมกัน เพื่อให้ได้รถตัดอ้อยที่มีความสามารถและประสิทธิภาพในการตัดอ้อยที่สูงขึ้นเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และอ้อยในประเทศไทย (วิชัย และคณะ, 2555; ทรงศักดิ์ และคณะ, 2557) อีกทั้งเพื่อที่จะลดการสูญเสียอ้อยในระหว่างการตัดและปริมาณสิ่งเจือปนในอ้อยที่จะนำส่งโรงงานน้ำตาล (Norris and Ridge, 1998; Whiteing *et al.*, 2004) ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของอ้อยท่อนที่ตัดได้ ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อการปฏิบัติงานในงานวิจัยรถตัดอ้อยท่อนจึงเป็นสิ่งที่จะต้องช่วยเหลือนักวิจัยในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาขนาดยาวและการกระจายตัวของขนาดความยาวท่อนอ้อยที่ได้จากรถตัดอ้อยท่อน (Vitale and Domanti, 1997) เป็นการบ่งบอกความสามารถในการลำเลียงอ้อยของลูกโรเลอร์ลำเลียงอ้อย น้ำหนักที่จะบรรจุได้ของรถบรรทุก (Sendell and Prestwidge, 2004) และการสูญเสียอ้อยขณะเก็บเกี่ยว (Khawprateep, 2018; Whiteing, 2013) ตลอดจนทั้งคุณภาพของอ้อยที่ลดลง ในช่วงระหว่างรอการหีบของโรงงานน้ำตาล (Solomon, 2009) เป็นต้น การวัดความยาวท่อนอ้อยเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการทดสอบรถตัดอ้อย โดยเฉพาะวิธีการวัดขนาดความยาวท่อนอ้อยจำนวนมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดการเหนื่อยล้า นอกจากทำให้เกิดความล่าช้าแล้วยังทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ และจากการศึกษาของสมบัติ และคณะ (2561) ได้พัฒนาเครื่องวัดความยาวท่อนอ้อยแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการศึกษาขนาดความยาวท่อนอ้อยที่ได้จากรถตัดอ้อย ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่พอสมควร เนื่องจากจำเป็นต้องทำการวัดในพื้นที่อาคารหรือที่ร่ม เพื่อให้เครื่องวัดอ่านค่าการวัดได้อย่างต่อเนื่อง และต้องมีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องวัดดังกล่าว ซึ่งในการวัดตัวอย่างอ้อยในพื้นที่แปลงทดสอบยังทำไม่ได้ไม่สะดวก ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาเครื่องมือวัดแบบง่าย เพื่อใช้ในการวัดและเก็บตัวอย่างในภาคสนาม สำหรับวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของปริมาณความยาวท่อนอ้อยที่เกิดจากการตัดของรถตัดอ้อย

วิธีการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวัดความยาวท่อนอ้อยในภาคสนาม โดยทำเป็นกระดานวัดค่าความยาวในช่วงการวัดต่างๆ (Figure 1) ซึ่งอุปกรณ์มีน้ำหนัก 9 กก. เพื่อให้ง่ายในการเคลื่อนย้าย เมื่อต้องปฏิบัติงาน หรือทำการวัดตัวอย่างอ้อยท่อนในแปลงอ้อยทดสอบ โดยกระดานวัดมีขนาดกว้างในการวัด 1 เมตร และแบ่งช่วงการวัดขนาดความยาวท่อนอ้อยที่เกิดจากรถตัดอ้อยท่อน 8 ช่วงความยาว (Figure 2a) บนกระดานวัดทดสอบ ดังนี้ คือ 0–100, 100–150, 150–200, 200–250, 250–300, 300–350, 350–400 และ 400–450 มม. ตามลำดับ โดยอ้างอิงการทดสอบวิธีการวัดจาก De Beer *et al.* (1985) รวมทั้งติดตั้งโลหะตั้งฉากกับกระดานวัด เพื่อเป็นจุดอ้างอิงที่ตำแหน่งเริ่มต้นการวัด (0 มม.) ซึ่งการวัดสามารถกระทำได้ทั้งสองด้านของกระดานวัดทดสอบ



Figure 1 A simple measuring board

ในการทดสอบความสามารถในการทำงานกระดานวัดความยาวท่อนอ้อย ทำการวัดโดยใช้การทดสอบความสามารถของกระดานเพียงด้านเดียว โดยได้ทำการแบ่งการทำงานได้ดังนี้ คือ

- การเตรียมอ้อยตัวอย่างสำหรับการทดสอบการวัดหาความแม่นยำ โดย โดยการใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 12 เดือน ซึ่งได้จากการตัดด้วยรถตัดอ้อยท่อนรุ่น Austoft Model 1995/7000 ทำการตัดอ้อยในแปลงทดสอบพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างขณะรถตัดอ้อยทำงาน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำหนักโดยประมาณ 20–25 กก.ต่อตัวอย่าง (5 ตัวอย่างการทดสอบ) อ้างอิงวิธีการจาก De Beer *et al.* (1985)
- ทำการวัดค่าความยาวท่อนอ้อยด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยที่ออกแบบ (Figure 2b) และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องในการวัดระหว่างกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยที่สร้างขึ้นกับการวัดด้วยไม้บรรทัดวัดความยาวในช่วงความยาวต่างๆ กัน โดยใช้ตัวอย่างอ้อยท่อนจากในซ้ำเดียวกัน ในแต่ละวิธีการทดสอบ และทำการทดสอบวัดความสามารถในการทำงาน ซึ่งบันทึกเวลาในการวัดอ้อยท่อนต่างซ้ำกัน ในแต่ละวิธีการทดสอบ โดยในการทดสอบทั้งหมด ทำการทดสอบจากผู้ชำนาญงานในการวัดเพียงผู้เดียวเท่านั้น
- ทำการคำนวณการกระจายตัวของท่อนอ้อย (De Beer *et al.*, 1985) โดยการแบ่งความยาวท่อนอ้อยที่วัดได้ในช่วงความยาวต่าง ๆ กัน และทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD)



Figure 2 Simple measuring board description

(a) Measuring range on board

(b) sugarcane billet measuring

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

จากการทดสอบการวัดความยาวท่อนอ้อยด้วยวิธีการทั้งสอง คือการวัดด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อย และไม้บรรทัดโดยตรง (Table 1) พบว่า ทั้งสองวิธีการจากตัวอย่างอ้อยในซ้ำเดียวกัน สามารถวัดการกระจายตัวของอ้อยท่อนที่เกิดขึ้นจากการตัดด้วยรถตัดอ้อยท่อนได้ค่าการวัดที่ใกล้เคียงกัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีการ มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} > 0.05$) และกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยมีความผิดพลาดเชิงสัมพัทธ์เมื่อเปรียบเทียบกับกรวัดด้วยไม้บรรทัดอยู่ในช่วง -0.12% ถึง 0.24%

Table 1 Relative error in each category of board and ruler methods

Billet length category (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450
Board (%)	2.43a	4.51a	26.47a	47.98a	10.87a	4.51a	2.31a	0.92a
Ruler (%)	2.43a	4.51a	26.71a	47.86a	10.75a	4.51a	2.31a	0.92a
Relative error (%)	0.00	0.00	+0.24	-0.12	-0.12	0.00	0.00	0.00

^a Means with the same column followed by the same letter are not significantly different ($P\text{-value} > 0.05$).

Relative error (%) = Ruler (%) - Board (%)

Data from the harvesting season in 2018.

เมื่อทดสอบตัวอย่างอ้อยที่ตัดจากรถตัดอ้อยคันเดียวกัน โดยใช้อ้อยซ้ำต่างกลุ่มกัน มีค่าเฉลี่ยความยาวท่อนอ้อยที่เกิดขึ้นมากที่สุดอยู่ในช่วงความยาว 200-250 มม. ซึ่งมีสัดส่วนความยาวท่อนอ้อย จากการวัดด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อย และการวัดด้วยไม้บรรทัดเฉลี่ยร้อยละ 70 ซึ่งแสดงผลดัง Table 2 ตามลำดับ

Table 2 Percentage of billet mean in each category of board and ruler methods

Billet length category (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450
Board (%)	3.97a	7.69a	9.15a	69.66a	8.28a	1.24a	0.67a	0.67a
Ruler (%)	2.25a	5.30a	7.82a	70.03a	13.04a	1.11a	0.21a	0.23a

^a Means with the same column followed by the same letter are not significantly different ($P\text{-value} > 0.05$).

Data from the harvesting season in 2019.

เมื่อพิจารณาความสามารถเฉลี่ยในการวัดด้วยการใช้อุปกรณ์วัดความยาวท่อนอ้อยทั้งสองแบบ (Table 3) ซึ่งเป็นข้อมูลจากปี 2562 พบว่า ความสามารถในการวัดโดยใช้กระดานวัดความยาวท่อนอ้อยใช้เวลาเฉลี่ย 4 วินาทีต่อท่อน ขณะที่ความสามารถในการวัดโดยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวท่อนอ้อยโดยตรง ใช้เวลาเฉลี่ย 6 วินาทีต่อท่อน ($P\text{-value} < 0.05$) ทั้งนี้การวัดด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยมีความสามารถในการวัดความยาวมากกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัดคิดเป็นร้อยละ 33.33

Table 3 Averages of measuring capability of board and ruler methods

Method	Billets	Time (min)	Ability of measuring (sec/billet)
Board	153a	5.52a	4a
Ruler	150a	8.23b	6b

^{a, b} Means with the same column followed by the same letter are not significantly different ($P\text{-value} > 0.05$).

จากการประดิษฐ์กระดานวัดความยาวท่อนอ้อย ซึ่งใช้วัดความยาวท่อนอ้อยสำหรับการใช้งานในภาคสนาม พบว่า ความสามารถของกระดานวัดความยาวท่อนอ้อย สามารถลดระยะเวลาในการวัดได้เฉลี่ยถึง 2 วินาทีต่อท่อน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยไม้บรรทัด โดยที่ผลลัพธ์ของการกระจายของท่อนอ้อยได้เกิดขึ้นจากการตัดของรถตัดอ้อยมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P\text{-value} > 0.05$) ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่ต้องวัดทดสอบ (จำนวน 5 ซ้ำใน 20–25 กก.ต่อซ้ำ) จากวิธีการของ De Beer *et al.* (1985) เพื่อให้เกิดความถูกต้องของข้อมูล วิธีการนี้จะช่วยปรับปรุงเวลาในการวัดได้อีกวิธีการหนึ่ง เมื่อมีความจำเป็นต้องวัดทดสอบตัวอย่างในปริมาณมาก

สรุป

การวัดขนาดความยาวท่อนอ้อยที่ได้จากรถตัดอ้อยท่อน ด้วยกระดานวัดความยาวท่อนอ้อย และการวัดด้วยไม้บรรทัด มีค่าเฉลี่ยของความยาวท่อนอ้อยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} > 0.05$) และมีสัดส่วนความยาวท่อนอ้อย ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความยาว 200–250 มม. ของท่อนอ้อยตัวอย่างจากรถตัดอ้อยท่อน และกระดานวัดความยาวท่อนอ้อยมีความสามารถในการวัดสูงกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัดคิดเป็นเวลา 2 วินาทีต่อท่อน หรือร้อยละ 33.33 ดังนั้น กระดานวัดความยาวท่อนอ้อยที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีความสามารถและประสิทธิภาพในการวัดความยาวท่อนอ้อยได้ดีกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัดซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับรถตัดอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำขอขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศูนย์การปรับปรุงพันธุ์อ้อยแห่งประเทศไทย และภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม ในการช่วยเหลือและสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ทรงศักดิ์ ผาจันทร์ดา, เสรี วงศ์พิเชษฐ และ ขวัญตรี แสงประชานารักษ์. 2557. การศึกษาเวลาที่ใช้และความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ. ใน: การประชุมวิชาการอ้อยและน้ำตาลแห่งชาติ ประจำปี 2557 13-15 สิงหาคม 2557. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ณ โรงแรมเฟลิซ ริเวอร์แควรีสอร์ท, กาญจนบุรี. หน้า 12–26.
- วิชัย โอภาณุกุล, สันธาร นาคพัฒนานุกูล, คทาวุธ จงสุขไฉ, มงคล ตุ่นเฮ้า, บาลทิพย์ ทองแดง, ดนัย สารทูลพิทักษ์ และ สุชาติ สุขนิยม. 2555. ศึกษาสภาพการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 4–5 เมษายน 2555. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. หน้า 106–115.
- นิรนาม. 2562. ค่าฝุ่นฟุ้ง แต่ชาวไร่อ้อยยังเผา ทนแบกรับต้นทุนแพงไม่ไหว ร้อง ‘รัฐ’ หามาตรการรองรับ. https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_2208236 (8 มีนาคม 2562).
- สมบัติ ขาวประทีป, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, ชูติ ม่วงประเสริฐ, นนทวัชร ชัยณรงค์ และ สมหวัง หลีคำ. 2561. เครื่องวัดความยาวท่อนอ้อยจากรถตัดอ้อยชนิดท่อน. เก่นเกษตร. 46 (ฉบับพิเศษ 2): 249–256.
- De Beer, A., S. Baxter, D. R. Ridge, C. Abreu and J. J & Clayton. 1985. Test procedures preferred by ISSCT for mechanical sugarcane harvesters or harvesting systems. In: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.
- Khawprateep, S., T. A. Jensen, B. L. Schroeder and S. Eberhard. 2018. Influence of yield and other cane characteristics on cane loss and product quality. International Sugar Journal. 120 (1432). [Online]. <https://internationalsugarjournal.com/paper/influence->

[of-yield-and-other-cane-characteristics-on-cane-loss-and-product-quality/](#) (5 April 2019).

- Norris, C. P. and R. Ridge. 1998. Harvesting slower – a win for all. BSES Advancing Sugar Bulletin. 64: 6.
- Sendell, G. and D. Prestwidge. 2004. Harvest haul model – the cost of harvesting paddocks of sugarcane across a sugar milling region. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 26.
- Solomon, S. 2009. Post-harvest deterioration of sugarcane. Sugar Tech. 11(2): 109–123.
- Vitale, M. M. and S. A. Domanti. 1997. An investigation into the optimal length of sugar cane billets. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 19: pp. 170–178.
- Whiteing, C. 2013. Measurement of in-field sucrose loss by mobile refractometry. SRDC Report No. SD13001, BSES.
- Whiteing, C., R. J. Davis, E. and J. Schmidt. 2004. Evaluation of cane loss monitoring systems. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 26.

การวัดค่าความชื้นในดินโดยใช้โดรนสำหรับฟาร์มเกษตรกรรมขนาดใหญ่ 4.0 Soil Moisture Measurement using Drone for Large-Scale Agriculture Farm 4.0

อรรณา ชูสงแสง¹, สิทธิพร คงนาศาร¹, ศรีญ ดวงสุวรรณ^{*1} พรชัย วงศ์वासนา² และปญยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์¹
Anna Chusongsang, Sittiphon Kongnasarn Sarun Duangsuwan^{*} Pornchai Wongwasna
and Punyawee Jamjareekulgarn

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹Department of Engineering, Information Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus

²ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง

²Department of Biology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

* Corresponding author: sarun.du@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการวัดค่าความชื้นในดินโดยใช้โดรนเพื่อทำหน้าที่ในการบินเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินแทนการใช้คนเดินเก็บข้อมูลในฟาร์มเกษตรกรรมที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยเจ้าของฟาร์มสามารถควบคุมสั่งการระบบโดรนให้บินเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินในแต่ละจุดที่ต้องการได้ ซึ่งระบบการทำงานของโดรนจะถูกควบคุมด้วยรีโมทไร้สาย และติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ความชื้นในดิน โดยเซ็นเซอร์ความชื้นดินจะส่งค่าข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทุก 5 วินาที จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลข้อมูลและรายงานผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 3G/4G เพื่อให้ผู้ดูแลเข้าถึงสถานะข้อมูลผ่านหน้าจอแอปพลิเคชันที่ออกแบบไว้ ซึ่งประโยชน์ของการใช้โดรนเพื่อวัดค่าความชื้นในดินสามารถช่วยให้ผู้ดูแลประหยัดระยะเวลาในการบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะฟาร์มเกษตรกรรมที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่

คำสำคัญ: เกษตรกรรมอัจฉริยะ, โดรน, การวัดค่าความชื้นในดิน, ฟาร์มเกษตรกรรมขนาดใหญ่ 4.0

Abstract

This paper presents a soil moisture measurement using drone to collect the soil moisture values which represented of human work in large-scale agriculture 4.0. By the farmer can control drone via command to collect the soil moisture values in each point. The drone flying is controlled by wireless remote and installed with Ressorri Pi to receive the data from the soil moisture sensors. For the procedure, soli moisture sensors sent data to microcontroller in every five second, and then all data are processed and report via 3G/4G network in order to show the data on the mobile application. The benefit of this proposed is to help the farmer that can manage their farm as more efficiency in the large-scale agriculture farm.

Keywords: Smart agriculture, drone, soil moisture, agriculture 4.0

บทนำ

ปัจจุบันนี้เกษตรกรรมยุคใหม่ หรือเกษตรกรรม 4.0 หรือเป็นที่รู้จักในชื่อเกษตรอัจฉริยะ (Smart agriculture) [Paolo *et al.*, 2015] ได้เริ่มต้นหลากหลายในกลุ่มเกษตรกรรุ่นใหม่ (Smart farmer) สำหรับประเทศไทย ด้วยการผสมผสานเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสารมาใช้ในการควบคุมงานทางด้านเกษตร เช่น การใช้งานโดรนบินสำรวจแปลงเกษตร [วิชัย โอภาณุกุล และคณะ 2560] การใช้โดรนรดน้ำหรือให้ปุ๋ยต้นไม้ การใช้ระบบควบคุมการให้น้ำต้นไม้อัตโนมัติ การใช้ระบบเซ็นเซอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินหรือในอากาศ การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และรายงานผลให้ผู้ดูแลหรือเจ้าของฟาร์มได้ทราบข้อมูลทุก ๆ ช่วงเวลาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งหลักการเหล่านี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานจริงในปัจจุบัน โดยเฉพาะการวัดค่าความชื้นในดินมีความสำคัญมากต่อเกษตรกรที่สามารถควบคุมปริมาณการรดน้ำต้นไม้ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตาม สำหรับฟาร์มเกษตรกรรมขนาดใหญ่พื้นที่ 4 – 10 ไร่ การใช้งานอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินอาจต้องใช้ปริมาณจำนวนมาก และติดตั้งหลายตำแหน่ง เพราะฉะนั้น ผู้ดูแลฟาร์มจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการเดินเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินจากเซ็นเซอร์แต่ละจุดเพิ่มขึ้นมาก [พรนรินทร์ ต้นกระหาด และคณะ 2556]

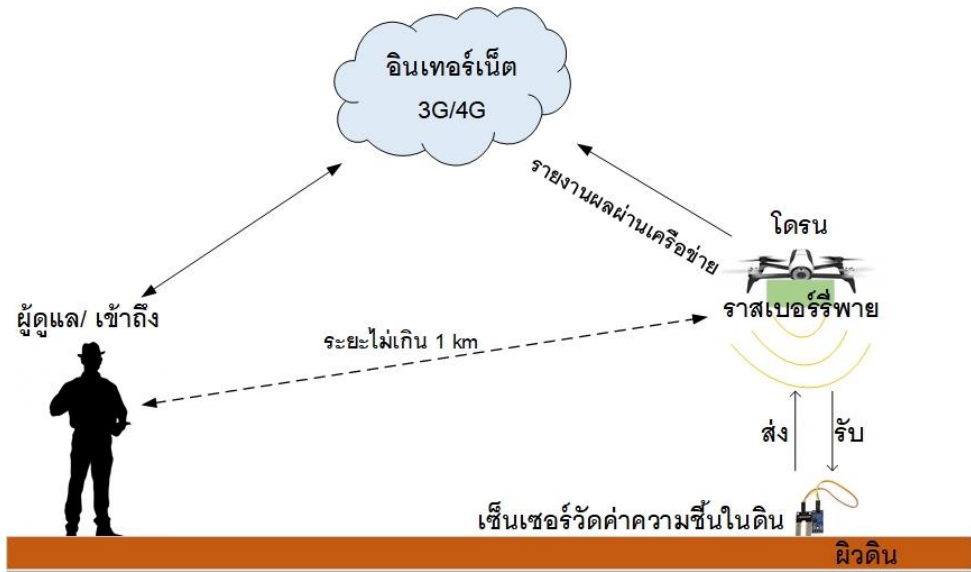


Figure 1 Model of using drone for soil moisture measurement in agriculture farm.

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความคิดที่จะพัฒนาโดรนเพื่อทำหน้าที่ในการบินเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินแทนการใช้คนเดินเก็บข้อมูลสำหรับฟาร์มเกษตรกรรมที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยผู้ดูแลฟาร์มสามารถควบคุมสั่งการระบบโดรนให้บินเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินในแต่ละจุดที่ต้องการได้ ซึ่งระบบการทำงานของโดรนจะถูกควบคุมด้วยรีโมทไทร์สาย และติดตั้งระบบตัวอ่านข้อมูล หรือรอสเบอรรีพายเพื่อรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน [Matti *et al.*, 2016] ซึ่งจะรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ความชื้นดินทุก 5 วินาที ดังภาพประกอบใน Figure 1 ข้อมูลค่าความชื้นในดินจะถูกรายงานผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 3G/4G เพื่อให้ผู้ดูแลเข้าถึงข้อมูลผ่านทางจอแอปพลิเคชันบนมือถือ เพราะฉะนั้น ประโยชน์ของการใช้โดรนเพื่อวัดค่าขึ้นในดินสามารถช่วยให้ผู้ดูแลประหยัดระยะเวลาในการบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถเก็บภาพถ่ายในแต่ละครั้งเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลอื่น ๆ ได้อีกด้วย

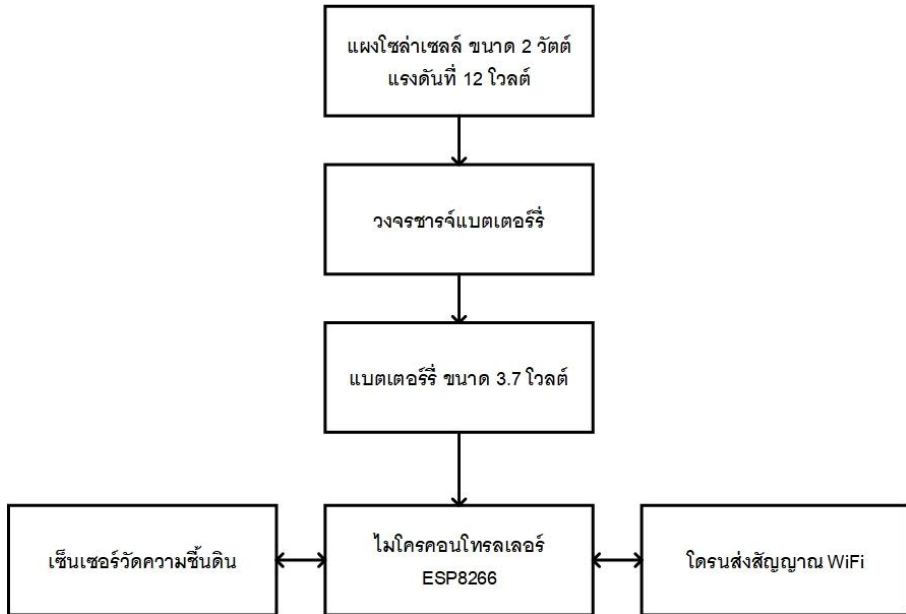


Figure 2 Block diagram of design on soil moisture sensor.

การออกแบบระบบเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน

การออกแบบชุดระบบเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดินจะประกอบด้วยส่วนสำคัญทั้งหมดของระบบไอโอที [ฉัตรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์. 2559] คือ 1. แผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังงาน 2 วัตต์ แรงดันที่ 5 - 12 โวลต์ 2. วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 3. แบตเตอรี่ขนาด 3.7 โวลต์ 4. ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 5. เซ็นเซอร์วัดความชื้น และ 6. โทรนสำหรับส่งสัญญาณไร้สาย เป็นต้น โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมดัง Figure 2

หลักการทำงาน คือ เมื่อผู้ดูแลควบคุมโทรนบินไปยังตำแหน่งของชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินติดตั้งอยู่ก็จะส่งข้อมูลของค่าความชื้นในดินผ่านสัญญาณเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์จะอาศัยพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน ข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะแสดงค่าทุก ๆ 5 วินาทีบนโมบายแอปพลิเคชัน ข้อดีของการออกแบบระบบชุดเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นแบบนี้ คือ มีขนาดกะทัดรัดและสามารถใช้งานได้ในช่วงหน้าแล้ง ประหยัดต้นทุนและเวลาให้กับผู้ดูแลฟาร์มได้เป็นอย่างดี



Figure 3 The satellite map of Ruzi grass under test in farm.



Figure 4 The arranged of soil moisture sensors and the experimental test with drone flying.



Figure 5 The result of soil moisture in each point of Ruzi grass farm.

ผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบได้ดำเนินการ ณ สถานที่ สถาบันวิจัยสัตว์ในภูมิภาคเขตร้อน มหาวิทยาลัยรามคำแหง จังหวัดสุโขทัย โดยได้ทำการทดสอบการวัดค่าความชื้นในแปลงหญ้ารูซี่ขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 50 เมตร ดังแสดงแผนภาพถ่ายดาวเทียมใน Figure 3 และติดตั้งจำนวนชุดเซ็นเซอร์ทั้งหมด 15 จุด

การทดสอบแสดงได้ดัง Figure 4 โดยเซ็นเซอร์จะมีระยะห่างกันประมาณ 10 เมตร ตามแนวของระบบให้น้ำในแปลงหญ้ารูซี่ และการใช้โดรนบินเก็บข้อมูลจะใช้ความสูงอยู่ที่ระดับ 5 เมตร หลักการทำงานคือ เซ็นเซอร์จะตรวจสอบค่าความชื้นในดินเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ % โดยที่การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ดินเปียกจะอยู่ที่ประมาณ 1 % – 30 % ดินชื้นจะอยู่ที่ 31 % - 59 % และดินแล้งจะอยู่ในช่วง 60 % - 80 % ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เพื่อประมวลผลและแสดงข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตบนโมบายแอปพลิเคชัน

ใน Figure 5 แสดงผลการทดสอบการวัดค่าความชื้นในดินสำหรับแปลงหญ้ารูซี่ผ่านโมบายแอปพลิเคชันที่ทำการติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือ จะสังเกตได้ว่า ข้อมูลสามารถแสดงสถานะระดับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินได้อย่างอัตโนมัติ และช่วยให้ผู้ดูแลฟาร์มสามารถตรวจสอบได้อย่างง่ายดาย

ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะสำหรับระบบจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ทั้งหมดจะใช้ชุดแบตเตอรี่จากถ่าน 3.7 โวลต์ และแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 โวลต์ สำหรับใช้งานเวลาแสงแดดจัดได้เป็นอย่างดี แต่อาจจะมียาอายุการใช้งานอยู่ที่ 2-3 ปี ดังนั้น ผู้ดูแลควรจะต้องตรวจสอบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ

สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการวัดค่าความชื้นในดินด้วยใช้โดรนเพื่อการเก็บค่าข้อมูลแสดงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับฟาร์มเกษตรกรรมอัจฉริยะขนาดใหญ่ 4.0 ในประเทศไทย จากผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์ชุดเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดินสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถรายงานผลข้อมูลได้ทุก 5 วินาทีบนโมบายแอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือ ประโยชน์ที่ได้รับ คือ ช่วยให้ผู้ดูแลฟาร์มสามารถประหยัดเวลาในการบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถเก็บภาพถ่ายในแต่ละครั้งเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลอื่น ๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยสามารถจะพัฒนาระบบเปิด-ปิดการให้น้ำในแปลงหญ้าซีแบบอัตโนมัติได้ในการศึกษาวิจัยครั้งถัดไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.พรชัย วงศ์वासนา และคณะ จากสถาบันวิจัยสัตว์ในภูมิภาคเขตร้อน มหาวิทยาลัยรามคำแหง จังหวัดสุโขทัย ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการศึกษาวิจัยให้โครงการนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Paolo, T., M. Satler, G. Dabisias, E. Ruffaldi and C. A. Avizzano. 2015. Towards smart farming and sustainable agriculture with drones. In: Proceeding of the International Conference on Intelligent Environments, Prague, Czech Republic. pp. 140-143.
- วิชัย โอภาณุกุล, อานนท์ สายคำฟู, พงุทธิชาติ บุญวัฒน์, อิศเรศ เทียนทัต, บาลทิตย์ ทองแดง และวีระ สุขประเสริฐ. 2560. การวิจัยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) สำหรับเกษตรอินทรีย์. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560. หน้า 219-223.
- พรนรินทร์ ต้นกระหาด และทรงวุฒิ แสงจันทร์. 2556. โดรนช่วยเซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับควบคุมให้น้ำพืช. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556. หน้า 438-443.
- Matti, S. K., T. R. Chandra, D. P. Kumar and M. S. Manikandan. 2016. Monitoring moisture of soil using low cost homemade soil moisture sensor and Arduino UNO. In: Proceeding of the International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, Coimbatore, India. pp. 1-4.
- ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์. 2559. เทคโนโลยี Internet of Things และข้อเสนอแนะในการบริหารความถี่ในประเทศไทย. วารสาร กสทช. 167-195.

การสังเคราะห์รูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการเรียนรู้
ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม
The Synthesis of the Multi-Agent Implementation Model to Support Learning
According to the Design Thinking Process for Enhance the Innovative
Thinking Skills

พิชญะ พรมลลา^{1*} และ สุธิดา ชัยชมชื่น²
Pichaya Promla^{1*} and Suthida Chaichomchuen²

¹ แผนกวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคนิคเลย จังหวัดเลย

² คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

¹Department of Information Technology, Loei Technical College, Loei

² Department of Computer Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

* Corresponding author: pichaya.promla@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์รูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม และเพื่อประเมินคุณภาพของรูปแบบที่สังเคราะห์ขึ้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยกำหนดกรอบแนวคิด ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สังเคราะห์รูปแบบ และนำเสนอรูปแบบต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านเพื่อประเมินความเหมาะสม รูปแบบมัลติเอเจนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นประกอบด้วยเอเจนต์จำนวน 2 เอเจนต์ ได้แก่ User Simulator Agent ที่จะจำลองตนเองเป็นผู้ใช้งานโครงการ นำมาใช้สนับสนุนในการจัดการเรียนรู้ ขั้นตอนการเข้าใจอย่างลึกซึ้ง (Empathize) และ Consultant Agent ทำหน้าที่ให้คำแนะนำในการค้นคว้าหาความรู้ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการแก่ผู้เรียน ใช้สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ในขั้นการสร้างต้นแบบ (Prototype) ผลการประเมินพบว่ารูปแบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$)
คำสำคัญ: ซอฟต์แวร์เอเจนต์, มัลติเอเจนต์, การคิดเชิงออกแบบ, ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม

Abstract

This study aimed to synthesize the multi-agent implementation model to support learning according to the design thinking process for enhance the innovative thinking skill and to evaluate quality of the synthesized model. The process of research are created conceptual framework, literature review, synthesized the model and presented to 5 experts to evaluate the appreciate of model. The synthesized multi-agent implementation model consists of 2 agents. The User Simulator Agent which simulates itself to the user of learner's project. Implement in the Empathize process, and the Consultant Agent which guidance learner to search the knowledge to be used in their project. This agent implements in the Prototype process. The result of the evaluation is the most appreciate ($\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$).

Keywords: Software agent, Multi-agent, Design Thinking, Innovative Thinking Skill

บทนำ

ปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยเฉพาะ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ทำให้มีแนวโน้มว่าจะมีการนำมาแทนที่การทำงานของมนุษย์ มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตอาชีพราวร้อยละ 5 ของจำนวนอาชีพทั้งหมดจะนำเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ (Automation) เข้ามาใช้ในการทำงานแทนมนุษย์อย่างสมบูรณ์ (Manyika and Sneider, 2018) ดังนั้นแรงงานในศตวรรษที่ 21 จึงจำเป็นต้องมีทักษะใหม่เพื่อให้สามารถใช้ชีวิตในโลกยุคดิจิทัลได้อย่างเต็มรูปแบบได้ รวมทั้งเตรียมพร้อมเพื่อประกอบอาชีพใหม่ที่จะเกิดขึ้น จะเปลี่ยนบทบาทจากแรงงานแบบเดิมให้กลายเป็นผู้ที่ริเริ่มสร้างสรรค์หรือผู้สร้างที่เทคโนโลยีต่าง ๆ ไม่สามารถแทนที่ได้

ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม (Innovative Thinking) เป็นทักษะที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดริเริ่มสิ่งใหม่เพื่อแก้ปัญหาหรือช่วยให้ดีขึ้น เป็นทักษะการคิดที่จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำรงชีวิตอยู่ในโลกยุคปัจจุบันและในอนาคตได้อย่างดี และเป็นทักษะที่เทคโนโลยีอัตโนมัติไม่สามารถแทนได้ สำหรับประเทศไทยเสาวณี และกัมพล (2562) ได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าแรงงานไทยต้องได้รับการพัฒนาทักษะทางด้านเทคนิค (Technical Skill) โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงนวัตกรรม ความคิดเชิงสร้างสรรค์ และความคิดริเริ่ม รวมถึงทักษะการเป็นมนุษย์ (Human Skill) ที่สามารถเข้าใจจิตใจและอารมณ์ของผู้อื่นได้ เพื่อป้องกันการถูกแทนที่ด้วยเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ

การคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) เป็นกระบวนการและทัศนคติ ซึ่งทำให้เกิดการสร้างนวัตกรรมโดยมีผู้ใช้หรือมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Human – Center Design) ที่มีขั้นตอนสอดคล้องกับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม หากมีการมาใช้ในการจัดการเรียนรู้จะช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมมากขึ้น ในการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ผู้เรียนต้องบูรณาการความรู้เพื่อสร้างโครงงาน ส่งผลให้ผู้สอนต้องปรับเปลี่ยนบทบาทของตนเองจากผู้ถือครองความรู้คอยให้แก่ผู้เรียน เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (facilitator) หรือครูฝึก (coach) จัดเตรียมความรู้ กระตุ้นผู้เรียน ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการจัดทำโครงงาน ซึ่งหากให้ข้อมูลที่ผิดพลาด หรือให้การตอบสนองล่าช้าจนผู้เรียนรู้สึกถูกทอดทิ้ง อาจส่งผลต่อการเรียนรู้ได้ ดังงานวิจัยของปาริญา และกาญจนา (2554) พบว่านักเรียนที่ได้รับคำปรึกษาอย่างสม่ำเสมอมีความรับผิดชอบตนเองสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับคำปรึกษา ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมาสนับสนุนในหลายแนวทาง

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ มีซอฟต์แวร์ที่สามารถทำงานโดยอิสระด้วยตัวโปรแกรมเองสามารถเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมเพื่อวางแผนในการทำงานให้บรรลุเป้าหมาย โดยรบกวนผู้ใช้ให้น้อยที่สุด เรียกว่า ซอฟต์แวร์เอเจนต์ (Software agent) และหากในระบบหนึ่งมีการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์มากกว่าหนึ่งเอเจนต์ มีการประสานงาน แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน เรียกระบบนั้นว่า มัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System : MAS) ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานซอฟต์แวร์เอเจนต์ในงานทางด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ทางด้านพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ดังที่ภาคภูมิ และพรฤดี (2559) ได้เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียการประยุกต์ใช้ระบบมัลติเอเจนต์แบบต่าง ๆ ไว้ หรือทางด้านการศึกษาซึ่งจะได้นำเสนอในส่วนถัดไป พบว่าสามารถช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากที่มาและความสำคัญดังที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงได้ทำการสังเคราะห์รูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อสนับสนุนทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมขั้น และตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบตามขั้นตอนที่จะได้นำเสนอถัดไป

วิธีการศึกษา

ในการสังเคราะห์รูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) *ขั้นกำหนดกรอบแนวคิด* ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดกรอบแนวคิดเพื่อใช้เป็นขอบเขตในการสังเคราะห์รูปแบบ ดังแสดงใน Figure 1

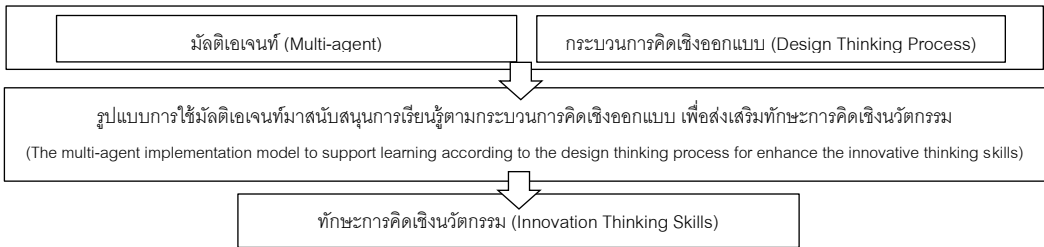


Figure 1 Conceptual Framework

กรอบแนวคิดนี้เป็นการบูรณาการการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ กับมัลติ-เอเจนต์เข้าด้วยกัน เพื่อช่วยเหลือ และสนับสนุนผู้เรียน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ทำให้ผู้เรียนไม่รู้สึกท้อทึง เนื่องจากสามารถติดต่อกับเอเจนต์ได้ตลอดเวลา

2) *ชั้นสังเคราะห์ข้อมูล ทฤษฎี จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยตามกรอบแนวคิด* แบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ประเด็นแรกคือด้านการใช้ซอฟต์แวร์เอเจนต์ทางการศึกษา พบว่าการนำซอฟต์แวร์เอเจนต์มาประยุกต์ใช้ในลักษณะต่าง ๆ สามารถช่วยสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี เห็นได้จากในงานวิจัยของ อูราพร และคณะ (2551) ได้นำมัลติเอเจนต์มาใช้ในการปรับสารสนเทศการเรียน โดยนำเสนอให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้และพฤติกรรมความสนใจสารสนเทศของผู้เรียน มัลติ-เอเจนต์ประกอบด้วย Learning Content Agent สำหรับแปลงเนื้อหาให้อยู่ในรูปแบบที่เรียกดูผ่านเว็บได้ Filter Criteria Agent ทำหน้าที่สร้างคำสำคัญในการค้นหาด้วยดัชนีหัวข้อและเกณฑ์การสืบค้นที่กำหนดไว้ Messenger Agent ทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องมือสืบค้น และ Spy Agent ทำหน้าที่รวบรวมพฤติกรรมความสนใจสารสนเทศของผู้เรียนเพื่อใช้ในการจัดลำดับการนำเสนอสารสนเทศ

Laysa et al. (2011) ได้นำมัลติเอเจนต์มาช่วยสนับสนุนในการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน ในสภาพการจัดการเรียนรู้แบบทางไกล (Distance Learning) โดยใช้กลุ่มเอเจนต์ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มเอเจนต์ป้องกันการอภิปรายนอกขอบเขต ประกอบไปด้วย Problem Detector Agent (PDAg) ทำหน้าที่ตรวจจับการสนทนาที่ไม่อยู่ในขอบเขต Student Agent (SAG) ทำหน้าที่เลือกวิธีการดึงดูดความสนใจของผู้เรียน และ Animated Interface Agent ทำหน้าที่แสดงผลวิธีการดึงดูดความสนใจ

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มเอเจนต์สำหรับจัดกลุ่มผู้เรียน ประกอบด้วย Workgroup Creation Agent Java Section (WCAg-Java) ทำหน้าที่จัดรายชื่อผู้เรียนจากการจับคู่คุณลักษณะกลุ่มกับคุณลักษณะผู้เรียน Workgroup Creation Agent Prolog Section (WCAg-Prolog) ทำหน้าที่คัดเลือกผู้เรียนที่เหมาะสมกับกลุ่ม แล้วส่งผลการจัดกลุ่มให้ผู้สอนพิจารณาต่อไป

บัณฑิต (2557) ได้พัฒนารูปแบบเว็บฝึกอบรมอัจฉริยะผ่านการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลักแบบมีระบบที่ปรึกษา ที่ประกอบด้วย Guidance Agent ทำหน้าที่ให้คำแนะนำที่เหมาะสมแก่ผู้เรียน และ Activity Monitoring Agent มีหน้าที่ติดตาม รวบรวมข้อมูลในการเรียนรู้ของผู้เรียน

และโกยสิทธิ์ และจรัสพันธ์ (2561) ได้นำเสนอรูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคกลุ่มผลสัมฤทธิ์ ร่วมกับการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานแบบปรับเปลี่ยนด้วยเอเจนต์ โดยนำเอเจนต์มาใช้ในการจัดกลุ่มผู้เรียนด้วยเทคนิค Ruled based System ด้วยข้อมูลประวัติทางการเรียนของผู้เรียน

ในส่วนของการศึกษาค้นคว้าในประเด็นด้านการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ซึ่งเป็นกระบวนการคิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงกระบวนการพัฒนาสินค้าและบริการ สามารถนำมาใช้ในการสร้างนวัตกรรมที่ใช้แนวคิดออกแบบโดยยึดผู้ใช้หรือมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Human-Center Design) ผ่านขั้นตอน 5 ขั้นตอน ตามที่ Standford d.school (2010) นำเสนอไว้ ได้แก่ การเข้าใจอย่างลึกซึ้ง (Empathize) การนิยามและตีกรอบปัญหา (Define) การระดมความคิด (Ideate) การสร้างต้นแบบ (Prototype) และการทดสอบ (Test)

กระบวนการคิดเชิงออกแบบเป็นกระบวนการคิดสร้างสรรค์นวัตกรรมอย่างเป็นระบบ โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้ที่จะนำความรู้ ความสามารถที่ตนเองมีอยู่ไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ (สุภาพรรม, 2561) เห็นได้จากงานวิจัยของพันธุยทธ์ และคณะ (2560) ที่นำเอาไปจัดการเรียนการสอน และทำการวิจัยตามระเบียบวิธีวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนของ Schmuck พบว่าผู้เรียนที่เรียนผ่านกระบวนการคิดเชิงออกแบบส่วนใหญ่มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดี และ Kwek (2011) ได้ศึกษาการนำกระบวนการคิดเชิงออกแบบไปใช้จัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนระดับมัธยมในรัฐซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าการจัดการเรียนการสอนที่ใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบเป็นประโยชน์สำหรับการเรียนรู้ที่สามารถสร้างประสบการณ์ที่หลากหลาย ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีความหมาย แต่ในการนำไปใช้ครูต้องปรับเนื้อหาให้เข้ากับกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้มีความเหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าการนำกระบวนการคิดเชิงออกแบบมาจัดการเรียนรู้จะส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมได้

สำหรับประเด็นด้านทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ซึ่งเป็นทักษะที่ช่วยให้มีความสามารถในการคิดริเริ่มสิ่งใหม่หรือปรับปรุงต่อยอดจากสิ่งเดิม เพื่อแก้ปัญหาหรือช่วยให้ดีขึ้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมตามที่ Dyer et al. (2011) นำเสนอไว้ ซึ่งประกอบด้วยทักษะย่อย 5 ทักษะ ดัง Figure 2

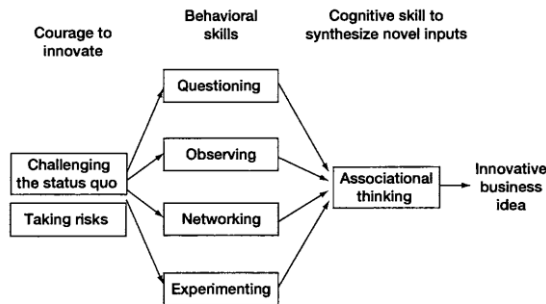


Figure 2 Innovative Thinking Skills (Dyer et al., 2011)

ในการสร้างนวัตกรรม ผู้สร้างต้องใช้ทักษะในการตั้งคำถาม (Questioning) เพื่อให้มีการตรวจสอบแนวคิดให้ชัดเจน ใช้ทักษะการสังเกตอย่างลึกซึ้ง (Observing) เพื่อรวบรวมข้อมูลการทำงานของแนวคิด เปรียบเทียบความแตกต่างจากแนวคิดเดิม รวมทั้งต้องใช้ความรู้ด้านต่าง ๆ มาบูรณาการร่วมกัน จึงต้องอาศัยทักษะการสร้างเครือข่าย (Networking) ในการขอคำแนะนำ ความร่วมมือจากผู้รู้ด้านอื่น ๆ นอกจากนั้นต้องมีการสร้างแบบจำลองแนวคิด (Prototype) เพื่อทดสอบ (Experimenting) และปรับปรุงแนวคิดอยู่ตลอดเวลา ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ในระหว่างการพัฒนาต้องใช้ทักษะการคิดแบบเชื่อมโยง (Associational Thinking) เพื่อสรุปรวบยอดจนได้นวัตกรรมที่ชัดเจน ใช้งานได้จริง

3) **ขั้นตอนออกแบบรูปแบบ** ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบที่จำเป็น กำหนดวัตถุประสงค์ขององค์ประกอบ สร้างเป็นแบบรูปแบบการใช้ผลิตภัณฑ์ในการสนับสนุนการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม โดยจะได้นำเสนอต่อไป

4) **ขั้นตอนตรวจสอบคุณภาพรูปแบบ** ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำรูปแบบที่สังเคราะห์ขึ้นไปเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินความเหมาะสม ให้ข้อเสนอแนะ ข้อควรปรับปรุง โดยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญด้วยวิธีการเฉพาะเจาะจงจำนวน 5 ท่าน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ศึกษาและกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปการสังเคราะห์รูปแบบดังที่จะได้นำเสนอในส่วนถัดไป

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบที่จำเป็น กำหนดวัตถุประสงค์ขององค์ประกอบ สร้างเป็นแบบรูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ได้ดัง Figure 3

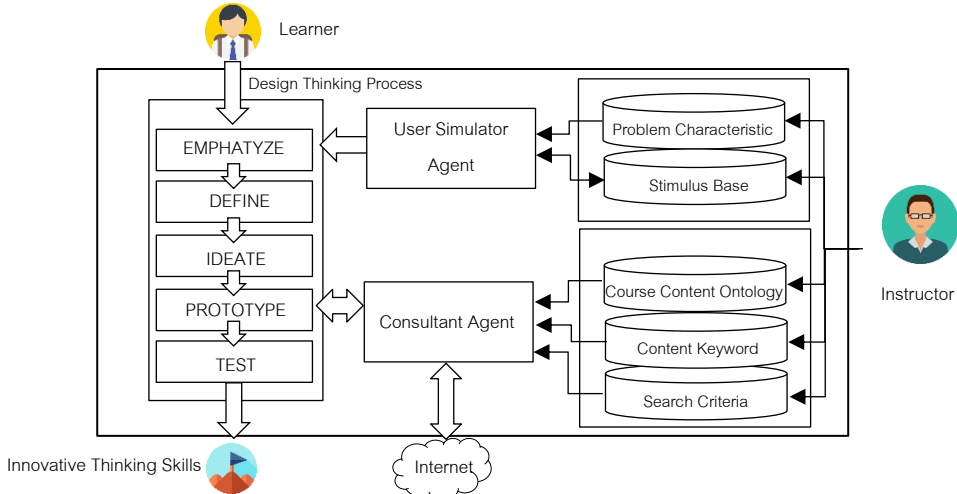


Figure 3 The multi-agent implementation model to support learning according to the design thinking process for enhance the innovative thinking skills

รูปแบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิง-ออกแบบ มัลติเอเจนต์ และฐานความรู้ของเอเจนต์

ในส่วนของการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เน้นให้ผู้เรียนลงมือดำเนินโครงการงานจริง ผู้เรียนจะเรียนรู้และดำเนินโครงการตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบทั้ง 5 ขั้นตอน ผู้สอน จะทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก แนะนำ กระตุ้น ให้คำปรึกษาแก่ผู้เรียน และในส่วนของเอเจนต์ที่ใช้ในรูปแบบจะประกอบด้วย เอเจนต์ 2 เอเจนต์ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Detail of agent implementation

เอเจนต์	รายละเอียดการทำงานของเอเจนต์
User Simulator Agent	<ol style="list-style-type: none"> 1. นำมาสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ในขั้น EMPHATYZE โดยพัฒนาให้อยู่รูปของแพลตฟอร์มเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้เรียน 2. ทำหน้าที่จำลองตนเองเป็นผู้ใช้งานโครงการที่ผู้เรียนต้องพัฒนาขึ้น 3. ผู้สอนกำหนดขอบเขต และรายละเอียดโครงการ เพื่อใช้เป็นฐานความรู้ของเอเจนต์ โดยเก็บข้อมูลไว้ในส่วนของ Problem Characteristic 4. ผู้เรียนจะต้องทำการตั้งคำถาม เพื่อรวบรวมข้อมูลจากเอเจนต์ 5. เอเจนต์จะสร้างแรงจูงใจให้ผู้เรียนถามคำถาม มีการทวนสอบข้อมูลความคิดรวบยอดที่ผู้เรียนสรุปได้จากการถาม เพื่อให้ผู้เรียนได้ข้อมูลที่มากพอจะดำเนินโครงการตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบขั้นต่อไป 6. ผู้สอนกำหนดรูปแบบการสร้างแรงจูงใจไว้ใน Stimulus Base ให้เอเจนต์เลือกใช้ และบันทึกรูปแบบที่ใช้แล้วได้ผลกับผู้เรียนแต่ละคน สำหรับใช้ในครั้งต่อไป

Table 1 (CONTINUED)

เอเจนต์	รายละเอียดการทำงานของเอเจนต์
Consultant Agent	<ol style="list-style-type: none"> นำมาสับสนุนการจัดการเรียนรู้ในชั้น PROTOTYPE ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนต้องนำความรู้มาใช้ในการลงมือปฏิบัติจริง ต้องได้รับคำแนะนำในการค้นหาหาข้อมูลอย่างใกล้ชิด และรวดเร็ว เพื่อให้ผู้เรียนมีความมั่นใจ ไม่รู้สึกถูกทอดทิ้ง โดยพัฒนาให้อยู่รูปของแซทบอทเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้เรียน ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยในการดำเนินโครงการ โดยการให้คำแนะนำในการค้นหาข้อมูล หรือทบทวนเนื้อหาวิชาตามที่ผู้เรียนร้องขอ แนะนำเนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องกับคำสำคัญที่ผู้เรียนสอบถาม โดยเรียกดูจากออนไลน์เนื้อหาวิชาที่ผู้สอนได้กำหนดไว้ ในกรณีที่ค้นหาข้อมูลจากออนไลน์เนื้อหาวิชาไว้ไม่พบ เอเจนต์จะให้คำแนะนำในการสร้างคำสำคัญในการค้นหาสารสนเทศบนอินเทอร์เน็ต โดยใช้ข้อมูลจากคำสำคัญของเนื้อหา (Content Keyword) ที่รวบรวมคำสำคัญในขอบเขตของเนื้อหาตามที่ผู้สอนกำหนด ร่วมกับข้อมูลจากเงื่อนไขในการค้นหา (Search Criteria) ที่แสดงการเชื่อมโยงของคำสำคัญ

จากรายละเอียดของรูปแบบการนำมัลติเอเจนต์มาใช้งานดังกล่าว สามารถสรุปทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมที่เอเจนต์ช่วยสนับสนุนให้เพิ่มขึ้นได้ดังแสดงใน Table 2

Table 2 List of support innovative skills by each agent.

เอเจนต์	ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม
User Simulator Agent	<ol style="list-style-type: none"> ทักษะการตั้งคำถาม (Questioning) ทักษะการคิดแบบเชื่อมโยง (Associational Thinking)
Consultant Agent	<ol style="list-style-type: none"> ทักษะการสังเกต (Observing) ทักษะการทดลอง (Experimenting) ทักษะการคิดแบบเชื่อมโยง (Associational Thinking)

สำหรับทักษะการสร้างเครือข่าย (Networking) ซึ่งทักษะที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อนในการติดต่อสื่อสาร ผู้วิจัยเห็นควรให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์จริงในชั้นเรียนมากกว่า

ผลการตรวจสอบคุณภาพรูปแบบ โดยการประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องด้วยผู้เชี่ยวชาญ แสดงดัง Table 3 4 และ 5

Table 3 The appropriateness of the theory, principles, origin and importance of model.

ประเด็นการประเมิน	\bar{X}	SD	ความเหมาะสม
1. ความเหมาะสมของที่มาและความสำคัญของการสังเคราะห์รูปแบบ	4.67	0.58	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมของทฤษฎี หลักการพื้นฐาน ที่ใช้ในการสังเคราะห์รูปแบบ	4.67	0.58	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของทักษะผู้เรียนที่ต้องการพัฒนา กับแนวคิดของรูปแบบ	4.67	0.58	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมของมัลติเอเจนต์ที่นำมาใช้สนับสนุนการจัดการเรียนรู้	4.33	0.58	มาก
ภาพรวม	4.58	0.58	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า โดยภาพรวมทฤษฎี หลักการ ที่มาและความสำคัญของรูปแบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.58$, $SD = 0.58$)

Table 4 The appropriateness of the User simulator agent.

ประเด็นการประเมิน	\bar{X}	SD	ความเหมาะสม
1. ความเหมาะสมกับการนำไปใช้สนับสนุนในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	4.33	0.58	มาก
2. ความเหมาะสมของรูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน	4.33	0.58	มาก
3. ความเหมาะสมของฐานความรู้ (Knowledge base) ของเอเจนต์	4.67	0.58	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมของรูปแบบการทำงานของเอเจนต์	4.33	0.58	มาก
5. ความเหมาะสมของทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมที่เอเจนต์สนับสนุน	4.67	0.58	มากที่สุด
ภาพรวม	4.47	0.58	มาก

จากตารางที่ 4 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า โดยภาพรวม User simulator agent มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.47$, $SD = 0.58$)

Table 5 The appropriateness of the Consultant agent.

ประเด็นการประเมิน	\bar{X}	SD	ความเหมาะสม
1. ความเหมาะสมกับการนำไปใช้สนับสนุนในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	4.67	0.58	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมของรูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน	4.33	0.58	มาก
3. ความเหมาะสมของฐานความรู้ (Knowledge base) ของเอเจนต์	4.67	0.58	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมของรูปแบบการทำงานของเอเจนต์	4.33	0.58	มาก
5. ความเหมาะสมของทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมที่เอเจนต์สนับสนุน	4.33	0.58	มาก
ภาพรวม	4.47	0.58	มาก

จากตารางที่ 5 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า โดยภาพรวม Consultant agent มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.47$, $SD = 0.58$)

เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบพบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$) สามารถนำไปใช้ในการพัฒนามัลติเอเจนต์สำหรับใช้งานจริงได้ ดังนั้นจึงควรพัฒนามัลติเอเจนต์เพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน และศึกษาผลการใช้รูปแบบต่อไป

สรุป

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี จากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการสังเคราะห์เป็นรูปแบบการใช้มัลติเอเจนต์ในการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อสร้างเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม และนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินคุณภาพของรูปแบบ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเห็นว่ามีความคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะผู้เชี่ยวชาญ ที่เสียสละเวลาในการพิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบ พร้อมให้คำแนะนำอันมีค่ายิ่งเพื่อนำไปพัฒนางานวิจัยให้มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้น และที่สำคัญยิ่งขอขอบคุณที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา จนงานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสิ้นไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

โกยสิทธิ์ อภิระติง และจิรพันธ์ ศรีสมพันธ์. 2560. การสังเคราะห์รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานแบบปรับเปลี่ยนด้วยเอเจนต์. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2. 14-25.
 นิยม กิमानุวัฒน์. 2559. การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษา. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาการศึกษาดุสิตบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

- บัณฑิต รุ่งเจริญพร. 2557. การพัฒนารูปแบบเว็บฝึกอบรมอัจฉริยะผ่านการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก แบบมีระบบที่ปรึกษา. วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2.
- ปารีญา ราพาและกาญจนา ไชยพันธ์. 2554. การให้คำปรึกษาแบบกลุ่มตามแนวทฤษฎีเผชิญความจริงและใช้ตัวแบบสัญลักษณ์ เพื่อพัฒนาความรับผิดชอบตนเองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2. 35-43.
- พันธุ์ยุทธ น้อยพินิจ, วรินทร์ สุภาพ และจักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม. 2560. ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เรื่องภาคตัดกรวย ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4. ใน: การประชุมสัมมนาวิชาการ การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก. 114-126.
- ภาคภูมิ ชัยนภาพร และ พรฤดี เนติโสภากุล. 2559. การประยุกต์ใช้ระบบมัลติเอเจนต์สำหรับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์. วารสารคณิตศาสตร์ MJ-MATH. 61. 17-35.
- วิมาน ใจดี และจรัญ แสนราช. 2557. การสังเคราะห์รูปแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องมือช่วยจำลอง การทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างโดยใช้ปัญหาเป็นหลักที่มีระบบเสริมศักยภาพบนเว็บ. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 12. 91-105.
- สุภาพรณ ศรีสุข. Design Thinking ทักษะใหม่ที่เด็กยุคดิจิทัลต้องมี. ทรูปลูกปัญญา. <http://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/67055/-parpres-par>. (16 พฤศจิกายน 2561).
- อุราพร ศุขะทัต, จรัญ แสนราช, มนต์ชัย เทียนทอง และนิดาพรรณ สุวีรัตน์นท์. 2551. การนำมัลติเอเจนต์มาใช้ในการปรับสารสนเทศการเรียนตามความสนใจของผู้เรียนในสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนผ่านเว็บ. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 1. 47-66.
- Dyer, J., Gregersen, H. and Christensen, C. M. 2011. The Innovator's DNA: Mastering the five skills of disruptive innovators. Harvard Business Review Press, Boston.
- Kwek, S.H. Innovation in the Classroom: Design Thinking for 21st Century Learning. http://www.stanford.edu/group/redlab/cgi-bin/publications_resources.php. (16 November 2018)
- Manyika, J. and Sneider, K. AI, automation, and the future of work: Ten things to solve for. McKinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/ai-automation-and-the-future-of-work-ten-things-to-solve-for>. (16 March 2019)
- Laysa, Mabel do O Fontes, Francisco Milton Mendes Neto and Alexandre A. A. Pontes. 2011. A Multiagent System to Support Problem-Based Learning. Creative Education. 5. 452-457.
- The Stanford d.school Bootcamp Bootleg (HPI). D.school Bootcamp Bootleg. Institute of Design at Standford. <https://dschool.stanford.edu/wp-content/uploads/2011/03/BootcampBootleg/2010v2SLIM.pdf> (16 November 2018)

ล็อกเกอร์เก็บกุญแจควบคุมการทำงานด้วยอาร์เอฟไอดี The Key Locker Control by RFID

ชาญวิทย์ มุสิก๊ะ* ชนาเนตร อรรถยุกติ และ พงศกร อัครธรรมกุล

Chanwit Musika*, Chananate Arthayukti and Pongsakorn Akkarathumkul³

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

* Corresponding author: chanwit@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างล็อกเกอร์เก็บกุญแจห้องเรียนของสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ผู้สอนสามารถเบิกและคืนกุญแจห้องเรียนโดยใช้บัตรอาร์เอฟไอดีตามตารางสอนของอาจารย์หรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จัดการสิทธิการใช้งานด้วยโปรแกรมประยุกต์บนเว็บซึ่งพัฒนาด้วยภาษาพีเอชพีบนราสเบอรี่พาย และ ภาษาไพธอนในการติดต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ควบคุมการปลดล็อกคอลลอนไฟฟ้าด้วย Arduino ATmega 2560 ใช้ไมโครสวิตช์สำหรับตรวจสอบการคงอยู่ของกุญแจในล็อกเกอร์ ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานล็อกเกอร์เก็บกุญแจควบคุมการทำงานด้วยอาร์เอฟไอดีโดยอาจารย์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 13 คน พบว่ามีระดับความพึงพอใจโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 อยู่ในระดับดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.60

คำสำคัญ: ล็อกเกอร์, อาร์เอฟไอดี, อาร์คยูโน, ราสเบอรี่พาย, ตารางสอน

Abstract

The main goal of this research is to design and implement the key storage locker of department of computer science classrooms at Rajamangala University of Technology Krungthep. The key locker can be unlock solenoid bolt for picking up and return key using RFID technology and timetable of the lecturers or other condition. The key locker management developed by web-based application using PHP language on Raspberri Pi and python language for connect with MySQL DMBS. Using Arduino Mega 2560 for lock and unlock the solinoid bolt. Using microswitch for the key detection. The evaluation reveals satisfaction rate usability test by 13 lecturers of computer science department, average of 4.35 and the standard deviation of 0.60, categorized in high level of satisfaction.

Keywords: Locker, RFID, Arduino, Raspberri Pi, Timetable

บทนำ

การรักษาความปลอดภัยของบุคคลหรือทรัพย์สินมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดีถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มากขึ้นเนื่องจากความคงทน สะดวกในการใช้งานและราคาไม่สูง

Prajwal D. และคณะ (Prajwal D, 2018, 186-193) ได้พัฒนาล็อกเกอร์สำหรับให้บริการลูกค้าธนาคารโดยใช้เทคโนโลยี RFID ร่วมกับรหัสผ่าน โดยเมื่อลูกค้าอยู่หน้าล็อกเกอร์เซนเซอร์อินฟราเรดจะเริ่มทำงาน ลูกค้าต้องใช้บัตร RFID และกรหัสผ่านเพื่อเปิดตู้ภายในเวลา 60 วินาที หากมีข้อผิดพลาดจะมีสัญญาณแจ้งเตือนและระงับการใช้งานจนกว่าลูกค้าจะติดต่อเจ้าหน้าที่ของธนาคารเพื่อทำการปลดล็อก

สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประสบปัญหาในการควบคุมการเบิกและคืนกุญแจห้องเรียน ซึ่งหากผู้สอนไม่ลงบันทึกจะยากในการติดตามเมื่อกุญแจสูญหายหรือไม่อยู่ในตู้เก็บกุญแจ รวมทั้งการเปิดห้องบางห้องที่สามารถใช้งานได้เฉพาะบุคคลที่มีสิทธิเท่านั้น

ผู้จัดทำจึงพัฒนาล็อกเกอร์สำหรับเก็บกุญแจห้องเรียนซึ่งล็อกด้วยกลอนไฟฟ้า สามารถเปิดล็อกเกอร์เพื่อเบิกและคืนกุญแจของแต่ละห้องด้วยบัตรอาร์เอฟไอดีตามตารางสอนของผู้ใช้งานหรือเงื่อนไขอื่นที่กำหนด จัดการข้อมูลการใช้งานผ่านโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ ยืนยันตัวตนโดยใช้กุญแจลายของมหาวิทยาลัยฯ กำหนดสิทธิการใช้งานล็อกเกอร์ จัดการข้อมูลตารางสอน รวมทั้งแสดงประวัติการเบิกและคืนกุญแจ

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้ใช้วัฏจักรการพัฒนาแบบ (กิตติ และพินดา 2546) แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาปัญหา วางแผนโครงการ และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาปัญหาของการทำงานกุญแจห้องเรียนของสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ การทำงานของกลอนไฟฟ้า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี อาร์คยูน ราสเบอร์รี่พาย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคืออาจารย์ประจำสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 13 คน

2. การวิเคราะห์ระบบ วิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานกุญแจห้องเรียนของสาขา พบว่าบางครั้งมีการเบิกและคืนกุญแจห้องเรียนโดยไม่ได้บันทึกลงสมุด หรือเมื่อใช้กุญแจเสร็จไม่นำกลับมาเก็บในตู้กุญแจ จึงเกิดปัญหากับผู้ที่ใช้ห้องเป็นคนถัดไปต้องใช้เวลานานในการสอบถามว่าใครเป็นผู้เบิกกุญแจคนสุดท้าย รวมทั้งกรณีที่มีบางห้องมีสิทธิใช้งานได้เฉพาะบุคคลเท่านั้น เช่น ห้องเก็บวัสดุและครุภัณฑ์ ห้องเซิร์ฟเวอร์ หรือห้องควบคุมระบบไฟฟ้า เป็นต้น

3. การออกแบบระบบ ประกอบด้วยการออกแบบ 2 ส่วน คือ

- 3.1) การออกแบบล็อกเกอร์เก็บกุญแจ โดยมีช่องเก็บกุญแจจำนวน 16 ช่อง ขนาด กว้าง×ยาว×ลึก 10×10×14 นิ้ว แต่ละช่องล็อกด้วยกลอนไฟฟ้าแบบโซลินอยด์ซึ่งเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านจะล็อกและปลดล็อกเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านโดยการสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีและตรวจสอบสิทธิการใช้งานตามตารางสอนหรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ สามารถบันทึกสถานะการคงอยู่ของกุญแจในแต่ละช่องเก็บ หากไฟฟ้าดับสามารถเปิดด้วยลูกกุญแจได้ ช่องเก็บกุญแจสามารถเก็บกุญแจลักษณะเดียวกับที่ใช้งานจริงในสาขา ได้ ดัง Figure 1

- 3.2) การออกแบบโปรแกรมประยุกต์บนเว็บสำหรับควบคุมการใช้งานล็อกเกอร์เก็บกุญแจ ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการบัญชีผู้ใช้งาน กำหนดสิทธิการใช้งานช่องเก็บกุญแจตามตารางสอนหรือสามารถใช้งานนอกเวลา ผู้ใช้งานทุกคนสามารถตรวจสอบสถานะการคงอยู่ของกุญแจในช่องเก็บและตรวจสอบประวัติการใช้งานช่องเก็บกุญแจ รวมทั้งการออกแบบข้อมูลเข้าและข้อมูลออก การออกแบบฐานข้อมูล การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ แผนภาพที่ใช้ในการออกแบบระบบ ได้แก่ แผนภาพยูสเคส ดัง Figure 2

แผนภาพกิจกรรม แผนภาพคลาส แผนภาพลำดับงาน แผนภาพการติดตั้งระบบ และแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

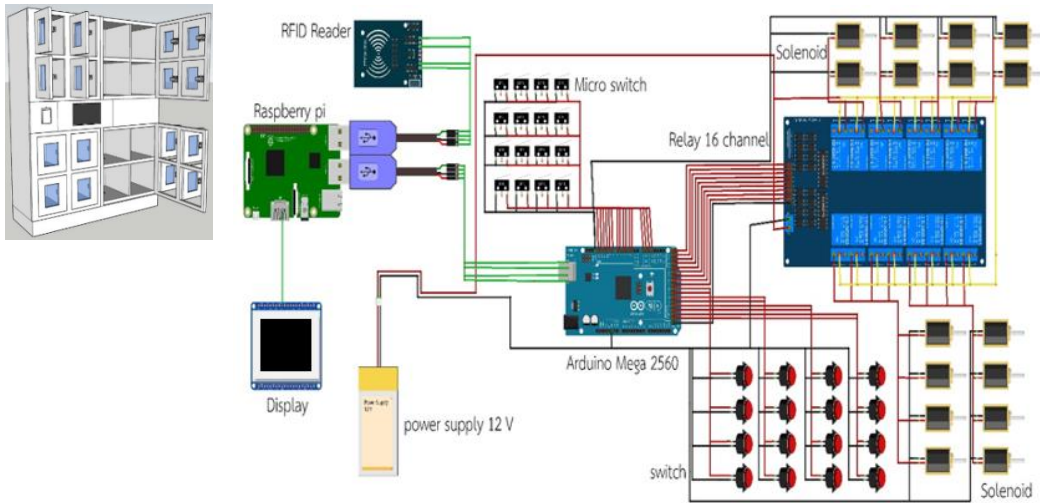


Figure 1 Architecture of The Key Locker

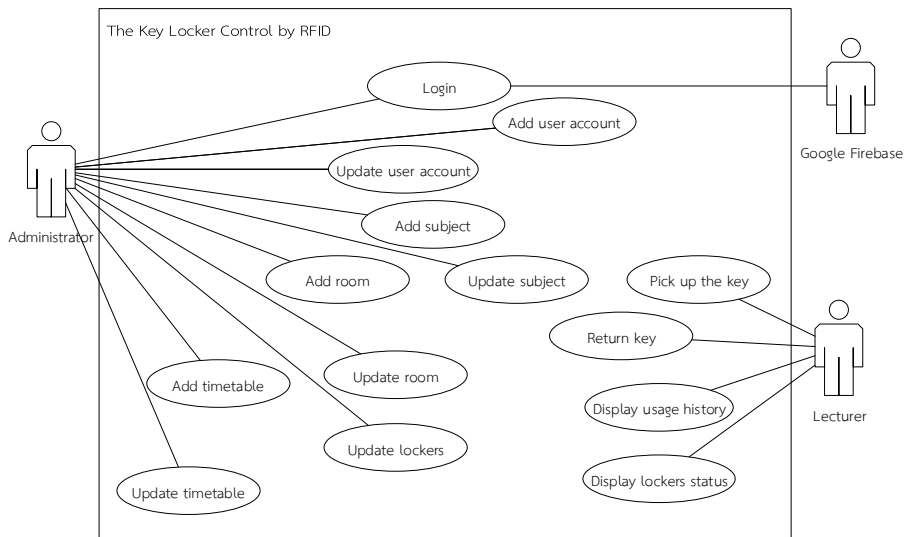


Figure 2 Use case diagram of The Key Locker Control by RFID

4. การพัฒนาระบบ พัฒนางานตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ ประกอบด้วยงาน 2 ส่วน คือ

4.1) ล็อคเกอร์เก็บกุญแจ มีช่องเก็บกุญแจจำนวน 16 ช่อง ล็อคด้วยกลอนไฟฟ้าแบบโซลินอยด์ ควบคุมการล็อคและปลดล็อคด้วย Arduino ATmega 2560 และไมโครสวิตช์สำหรับตรวจสอบสถานะการคงอยู่ของกุญแจในช่องเก็บกุญแจ ระบบประมวลผลสิทธิการใช้งานบนระบบเครือข่ายซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

4.2) โปรแกรมประยุกต์บนเว็บสำหรับควบคุมการใช้งานล็อคเกอร์เก็บกุญแจ พัฒนาโดยใช้ภาษาพีเอชพี อาปาเช่เว็บเซิร์ฟเวอร์ และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

5. การทดสอบและประเมินผล ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างอาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจำนวน 13 คน และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ มีขั้นตอนดังนี้

5.1) สร้างแบบประเมินความพึงพอใจชนิดมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ มีการประเมินความพึงพอใจในการทำงานของลิคเกอร์และการจัดการระบบ โดยมีการประเมินผล 3 ด้านคือ ด้านความถูกต้องในการทำงาน ด้านการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และด้านประโยชน์ในการใช้งาน

5.2) นำแบบประเมินความพึงพอใจไปเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ แปลผลด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากงานวิจัยลิคเกอร์เก็บกุญแจควบคุมการทำงานด้วยอาร์เอฟไอดี มีดังนี้

1. ลิคเกอร์เก็บกุญแจ จำนวน 16 ช่อง ช่องเก็บกุญแจแต่ละช่องลิคด้วยกลอนไฟฟ้าแบบโซลีนอยด์ ตรวจสอบการคงอยู่ของพวงกุญแจด้วยไมโครสวิทช์ ดัง Figure 3



Figure 3 The Key Locker

เมื่อผู้สอนสแกนบัตรอาร์เอฟไอดี ข้อมูลหมายเลขบัตรถูกส่งไปยังรหัสเบอร์วิทยุเพื่อตรวจสอบสิทธิการใช้งานโดยใช้ภาษาไพธอนติดต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ถ้าพบตารางสอนในช่วงเวลาดังกล่าวหรือก่อนเวลาไม่เกิน 30 นาที รหัสเบอร์วิทยุจะส่งงาน Arduino ATmega 2560 ให้ส่งงานรีเลย์จ่ายกระแสไฟเพื่อปลดล๊อคกลอนไฟฟ้าของช่องเก็บกุญแจนั้น หากต้องการเปิดช่องเก็บกุญแจอื่นตามสิทธิการใช้งานให้กดสวิทช์เพื่อปลดล๊อค เมื่อพวงกุญแจถูกยกจากช่องเก็บกุญแจไมโคร สวิทช์ได้พื้นรองรับน้ำหนักจะส่งสัญญาณไปยัง Arduino ATmega 2560 และถูกส่งต่อไปยังรหัสเบอร์วิทยุเพื่อบันทึกข้อมูลการเปิดกุญแจ รวมทั้งปรับปรุงสถานะของช่องเก็บกุญแจให้เป็นว่าง หากไฟฟ้าดับสามารถใช้กุญแจไขเพื่อเปิดได้

เมื่อต้องการคืนกุญแจให้สแกนบัตรอาร์เอฟไอดีเพื่อตรวจสอบสิทธิการใช้งาน ระบบจะปลดล๊อคช่องเก็บกุญแจตามตารางสอนในช่วงเวลาดังกล่าวหรือหลังเวลาไม่เกิน 30 นาที หรือกดสวิทช์เพื่อปลดล๊อคช่องเก็บกุญแจอื่นตามสิทธิการใช้งาน เมื่อวางกุญแจคืนในช่องเก็บ ไมโครสวิทช์ด้านล่างจะส่งสัญญาณไปยัง Arduino ATmega 2560 และถูกส่งต่อไปยังรหัสเบอร์วิทยุเพื่อบันทึกข้อมูลการคืนกุญแจและปรับปรุงสถานะช่องเก็บกุญแจเป็นไม่ว่าง

2. โปรแกรมประยุกต์บนเว็บสำหรับควบคุมการใช้งานลิคเกอร์เก็บกุญแจ ประกอบด้วย

2.1) การยืนยันตัวตนของผู้ดูแลระบบด้วย Gmail ของมหาวิทยาลัยฯ เพื่อลดภาระการจดจำบัญชีผู้ใช้ ประมวลผลโดยใช้ Google Firebase Authentication ซึ่งเป็นบริการระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆของ Google

2.2) จัดการข้อมูลบัญชีผู้ใช้งาน ข้อมูลห้องเรียน ข้อมูลวิชา ข้อมูลช่งเก็บกุญแจ และข้อมูลตารางสอนในแต่ละภาคเรียน ดัง Figure 4 โดยเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของชั่วโมงเรียนจะใช้ในการคำนวณเพื่อเปิดช่งเก็บกุญแจอัตโนมัติตามตารางสอน โดยเปิดก่อนและหลังเวลาได้ 30 นาที

Figure 4 Add the timetable

2.3) กำหนดสิทธิการใช้งานช่งเก็บกุญแจตามตารางสอน และ/หรือการใช้งานนอกเวลาโดยระบุช่งที่สามารถใช้งานนอกเวลาได้ ดัง Figure 5

Figure 5 Assign user roles and permissions

2.4) บันทึกข้อมูลการเบิกและคืนกุญแจเมื่อผู้ใช้นำพวงกุญแจออกจากช่งเก็บกุญแจหรือนำมาคืน

2.5) รายงานประวัติการเบิกและคืนกุญแจ ดัง Figure 6

TEACHER_NAME	TEACHER_SURNAME	ROOM_NAME	DAY	MONTH	YEAR	TIME	ACTION
มนรดา	ศิริมงคล	S903	8	March	2562	16:30	คืน
มนรดา	ศิริมงคล	S903	8	March	2562	12:52	เบิก
อรสา	พิสด	S1007	8	March	2562	12:20	คืน
มนรดา	ศิริมงคล	S903	8	March	2562	12:12	คืน
อรสา	พิสด	S1007	8	March	2562	09:10	เบิก
มนรดา	ศิริมงคล	S903	8	March	2562	07:40	เบิก

Figure 6 Display history of usage

แสดงสถานะปัจจุบันของช่งเก็บกุญแจ ดัง Figure 7 โดยสถานะสีเขียวหมายถึงกุญแจอยู่ในช่งเก็บ และสีแดงหมายถึงไม่มีกุญแจอยู่ในช่งเก็บ

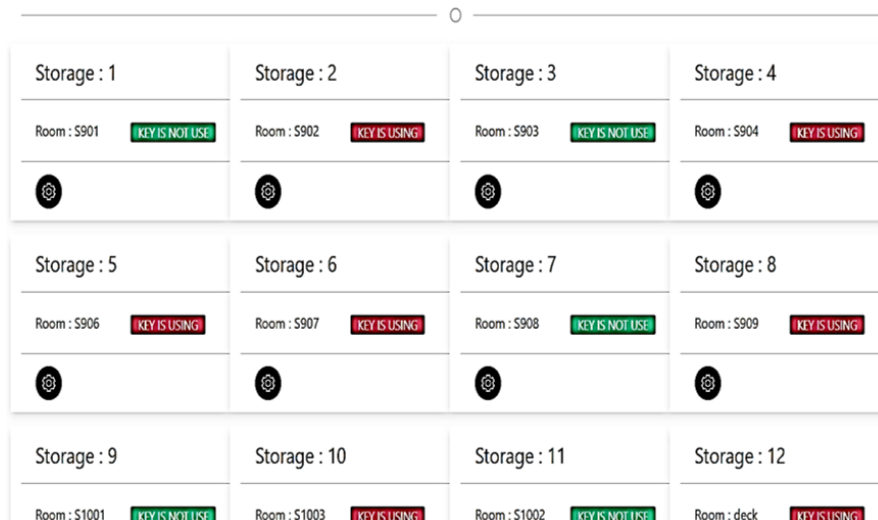


Figure 7 Display status of The Key Locker

ทดสอบการใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่างอาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจำนวน 13 คน โดยใช้ข้อมูลตารางสอนภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 และพวงกุญแจห้องจำนวน 16 อัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน แบ่งการประเมินความพึงพอใจเป็น 2 ชนิด คือ ความพึงพอใจในการใช้งานล็อกเกอร์เพื่อเปิดและคืนกุญแจ และความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้ง 2 ชนิด ในด้านความถูกต้อง ด้านการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และด้านประโยชน์ในการใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.35 อยู่ในระดับดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่า 0.60 ดัง Table 1

Table 1 The satisfaction evaluation of The Key Locker Control by RFID

Evaluation Topic	Mean	S.D.
1. The Key Locker		
1.1 Correctness	4.53	0.51
1.2 User Interface Design	4.38	0.65
1.3 Useful	4.46	0.51
2. Web-based Application		
2.1 Correctness	4.30	0.75
2.2 User Interface Design	4.15	0.68
2.3 Useful	4.30	0.48
	4.35	0.60

สรุป

สรุปผลการวิจัยพบว่าล็อกเกอร์เก็บกุญแจควบคุมการทำงานด้วยอาร์เอฟไอดีสามารถใช้งานได้จริงสามารถกำหนดสิทธิการใช้งานล็อกเกอร์เก็บกุญแจห้องเรียน และตรวจสอบประวัติการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Secure Bank Lockers Using RFID and Password Based Technology (Prajwal D., 2018, 186-193) ซึ่งพัฒนาล็อกเกอร์เก็บของสำหรับให้บริการลูกค้าของธนาคาร โดยใช้ RFID และรหัสผ่านผลการทดลองสามารถลดเวลาในการรอรับบริการจากเจ้าหน้าที่ และมีความปลอดภัยในการใช้งาน และสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องระบบล็อกเกอร์ ดีลิเวอรี่ (ศุภชัย 2560) ซึ่งพัฒนารูปแบบการส่งสินค้าสำหรับการขายสินค้าออนไลน์ เพื่อให้ลูกค้าสามารถเลือกรับพัสดุที่ล็อกเกอร์ตามจุดให้บริการ สามารถรับสินค้านอกเวลาทำการหรือในวันหยุดได้ด้วยตนเอง โดยระบุรหัสคำสั่งซื้อและหมายเลข OTP ที่ได้รับจาก SMS ล็อกเกอร์จะปลดล็อกช่องเก็บที่มีพัสดุอยู่ที่อัตโนมัติ ผลการทดลองพบว่าสามารถตรวจสอบสถานะสิ่งของภายในช่องเก็บตรวจสอบสถานะการล็อกประตูช่องเก็บ การส่งข้อความสั้นเพื่อแจ้งรหัส OTP ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งบันทึกข้อมูลการรับพัสดุได้อย่างถูกต้อง ข้อเสนอแนะ ควรเพิ่มช่องทางการปลดล็อกช่องเก็บกุญแจ เช่น ผ่านสมาร์ตโฟน หรือการตรวจสอบทางชีวภาพ และเพิ่มการแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟนในกรณีที่ไม้คืนกุญแจภายในสิ้นวัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพทุกท่านที่เป็นแรงผลักดันให้เกิดงานวิจัยนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์และร่วมในการทดสอบเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข และนายพงศกร อัครธรรมกุล ที่มีส่วนช่วยในการพัฒนาโครงงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐสิทธิ์ จำปาขาว, ศิริชัย ลิ้มรสธรรม, วิชระ เบ็ญจนิรัตน์. 2557. ตู้เก็บของควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- วิชรากร หนูทอง, อนุกุล น้อยไม้ และปรีนันท วรรณสว่าง. 2547. RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์. วารสารศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 60. 15-22.
- ศุภชัย เทียวแสง. 2560. ระบบล็อกเกอร์ ดีลิเวอรี่. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพมหานคร.
- ETT. 2557. Getting Start Raspberry Pi. ETT Company Limited. <http://www.ett.co.th/prod2013/et-rasbery-pi/Getting%20Start%20Raspberry%20Pi.pdf> (November 23, 2017)
- Joy-iT. 2017. Mega2560 R3 Starter Kit. <https://gzhlh.at/blob/ldb/5/e/9/9/a2f20497f81bf5eff4e887cdce13885c583e.pdf> (November 23, 2017)
- Prajwal D., Naaga Soujanya N., Shruthi N. 2018. Secure Bank Lockers Using RFID and Password Based Technology (Embedded System). International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR), 3: 186-193.