

วารสาร

สจล.ชุมพรเบตรอดมศักดิ์

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prince of Chumphon Campus



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเบตรอดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ISSN 2630-080X



KMITL

FIGHT



Science and Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเบตรอดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
โทรศัพท์ 0-7750-6411, 08-8757-4846
โทรสาร 0-7750-6425, 0-7750-6411
URL: <https://www.pcc.kmitl.ac.th>

KMITL Prince of Chumphon Journal

Science and Technology

วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร	
สำนักงาน	งานบริการวิชาการแก่สังคม ส่วนบริหารธุรกิจ ชั้นที่ 1 อาคารสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160 โทร 0-7750-6410, 088-7574846	
วัตถุประสงค์	เพื่อสร้างเครือข่ายทางวิชาการของนักวิจัย และนักวิชาการในระดับชาติ	
ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ วัฒนจตุรพร	รักษาการแทนรองอธิการบดี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อุดมเพทยกุล	รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัชรระ ศิลป์เสวตร์	รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดี สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ดร.รัชนิวรรณ แดงวิลลักษณ์	รักษาการแทนผู้อำนวยการส่วนบริหารงานทั่วไป สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	นายโสพล จันทรโชติ	รักษาการแทนผู้อำนวยการส่วนวิทยบริการ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
บรรณาธิการ กองบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ รัตนเดช	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร์ นกเขา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริระ สายศร	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวีขศรี	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง ยางทอง	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ดร.พัชรภรณ์ นาคเทวัญ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญจิตร สันติประชา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จาปาเวดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
	รองศาสตราจารย์ ดร. นิวุฒิ หวังชัย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี	มหาวิทยาลัยบูรพา
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
	รองศาสตราจารย์ ดร.सानาว์ เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
สารสนเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา คุณินขาว	มหาวิทยาลัยราชชมงคลพระนคร
	รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงรักษ์ อรรถรัฐ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	นายอัครัช จันทรทัพบ	

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในการแล่นประสานในสถานะของแข็งของแผ่นทองแดงที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน <i>Optimization of Solid-state Diffusion Brazing of Copper Sheets on Tensile Shear Force Using Box-Behnken Design</i> กัษกร สุขพิมาย ประจักษ์ จิตกุล วิชัย บุญโง้ง สุรจอม ลิ้มสุวรรณ และ กรรณชัย กัลยาศิริ	1
การพัฒนาโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มที่เสริมด้วยน้ำลูกหว้า <i>Development of Soy Drinking Yogurt with Jambolan Plum Juice</i> ศราวุฒิ ก้านบัว เมธพนธ์ หวังเนี่ยวกลาง วงศกร จำปาโพธิ์ และ นิดา อาบสุวรรณ	10
ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคและการจัดการโรคสัตว์น้ำของเกษตรกรในพื้นที่ภาคใต้และภาคกลางของประเทศไทย <i>Risk-factors and Management of Aquatic Diseases of Farmers in South and Central Region of Thailand</i> พรพิมล พิมลรัตน์ พัชราวลัย ศรียะศักดิ์ และ สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี	18
ผลของวิธีการเตรียมโจ๊กข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป <i>Effect of Rice Porridge Preparation on Physical Properties of Instant Porridge from Organic Rice</i> ชมภูณัฐ ช้องลา สุมาลี มุสิกกา จิรายุส วรรัตน์โกศา เพลงพิน เพียรภูมิพงศ์ อาทิตย์ อัครวสุชี และ ดุษฎี เทียมเทศ บุญมาสูงทรง	26
อิทธิพลของขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศ ที่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม <i>Effect of Litter Size, Parity and Sex on Birth Weight and Growth of Pre-weaning Piglets</i> ปิยะดา ทวีขศรี ธนรรษมลวรรณ พลมัน สมพร นพแก้ว จิรกันต์ ช่วยเทศ และ เทียมพบ ก้านเหลือง	35
การวิเคราะห์องค์ประกอบของบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์ สำหรับระดับชั้นมัธยมศึกษา <i>Factor Analysis of Teacher Roles in Learning Management on Project Based Learning in Science Subject for Secondary School</i> ณัฐพงศ์ อิ่มใจ และ ธนินทร์ รัตนโอฬาร	39
Characterization of Ionospheric Scintillation Index over low latitude: Nepal Region Kutubuddin Ansari, Tae-Suk Bae, Punyawati Jamjareegulgarn, Shakera Khan and Soo-Hyeon Lim	49
Double-walled Axisymmetric Triaxial Apparatus for Testing Unsaturated Soils Nutdanai Laichapit and Pongpipat Anantanasakul	58

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review) ประจำปี
ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - ธันวาคม 2564

รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง	อุษาบริสุทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร	ต้นสกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร	เหม็ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง	ยางทอง	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล	เสนพันธุ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คู่ขวัญ	จุลละนันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข	เสฟศิริสุข	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ	ศรีสังข์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียมพบ	ก้านเหลือง	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์	กุศล	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ	พิสุทธิธาราชัย	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์	สุวลักษณ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โษชน	ศรีเกตุ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรรณชล	วัฒนะ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ดร.กมลวรรณ	ชูชีพ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ดร.ธวิกา	เมฆอัครกมล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.สรายุทธ	อ่อนสนิท	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ว่าที่ร้อยตรี ณฤทธิ	ไทยบุรี	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
อาจารย์อดิเรก	สุริยะวงศ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
อาจารย์พุทธิพงศ์	เลชะชัยวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในการแล่นประสานในสถานะของแข็งของแผ่นทองแดงที่มีต่อ
ความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน
Optimization of Solid-state Diffusion Brazing of Copper Sheets on Tensile Shear Force
Using Box-Behnken Design

กำธร สุขพิมาย¹ ประจักษ์ จัตกุล² วิชัย บุญกอง² สุรจอม ลิ้มสุวรรณ² และ กรรณชัย กัลยาศิริ^{1*}
Kamtorn Sukpimai¹, Prajak Jattakul², Vichai Boonkong², Surajom Limsuwan² and Kannachai Kanlayasiri^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

²วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 จังหวัดสุรินทร์

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

² Surin Technical College, Institute of Vocation Education: Northeastern Region 5, Surin

*Corresponding author: กรรณชัย กัลยาศิริ, e-mail address: kannachai.ka@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแล่นประสาน เวลาในการแล่นประสาน และความดันโหลดในการกดชิ้นงานในการแล่นประสานในสถานะของแข็งที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน ซึ่งการแล่นประสานที่ใช้เป็นการแล่นประสานในเตาอบภายใต้บรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิในการแล่นประสาน 580, 600 และ 620 °C ที่ เวลาในการแล่นประสาน 10, 20 และ 30 min และความดันโหลดที่ใช้กดชิ้นงานที่ 4.713, 8.656 และ 12.173 kPa โดยใช้โลหะเติม AgCuP ชนิดที่ไร้แคดเมียม เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแล่นประสานโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการแล่นประสานกับความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อที่ได้จากการแล่นประสานเพื่อให้ได้เงื่อนไขในการแล่นประสานที่ทำให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อสูงสุด จากผลการศึกษาเงื่อนไขของการแล่นประสานเมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และจากการวิเคราะห์จากกราฟอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรในการแล่นประสาน พบว่าเงื่อนไขที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานสูงสุด คือ อุณหภูมิในการแล่นประสาน 620 °C เวลาในการแล่นประสาน 30 min และความดันที่ใช้กดชิ้นงาน 12.173 kPa โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทำนายซึ่งให้ค่าเฉลี่ยแรงดึงเฉือนสูงสุดที่ 666.226 N และจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลพบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานอยู่ที่ 741.004 N โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ 10.092

คำสำคัญ: การแล่นประสานในสถานะของแข็ง, ความแข็งแรงเฉือน, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Abstract

This research was aimed to study the effect of brazing temperature, holding time and loading pressure on the tensile shear force of the solid-state brazed joint. Furnace brazing under hydrogen atmosphere was utilized in this study and the brazing temperature was at 580, 600 and 620 °C with brazing time of 10, 20 and 30 minutes and loading pressure of 4.713, 8.656 and 12.173 kPa, by using cadmium-free CuAgP filler metal to investigate the optimal solid-state brazing condition using Box-Behnken design in order to achieve the brazing conditions with the highest achieve of the joints brazed. From the study of brazing conditions based on the statistical analysis at the level of significance $\alpha = 0.05$, the results showed that the conditions that cause the brazing joint to produce the highest tensile shear force of the brazed joint specimens are the brazing temperature of 620 °C, holding time at 30 min and Loading pressure of 12.173 kPa. The predicted tensile shear force based on the optimal brazing condition was 666.226 N. The confirmation tests were carried out and the results showed that the average shear strength of the specimens brazing joint is 741.004 N, with the percentage error of 10.092.

Keywords: Solid-state brazing, Tensile shear force, Optimization

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไมโครแชนแนล (Microchannel arrays) อย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เช่นการนำไปใช้งานกับระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) และรวมไปถึงระบบการระบายความร้อนของอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ [1,2] ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดลามิเนตไมโครแชนแนล (Laminated microchannels array: LMA) นั้นเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีในการระบายความร้อนด้วยเทคโนโลยีไมโครแชนแนล (Microchannel process technology: MPT) โดยที่แนวคิดพื้นฐานในการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไมโครแชนแนลในการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลนั้นได้มีผู้ทำการศึกษาและวิจัยเป็นจำนวนมาก [3–5] จากการศึกษาและวิจัยแสดงให้เห็นว่า การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลโดยใช้ LMA นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบดั้งเดิมหลายเท่า เนื่องจากโครงสร้างภายในของ LMA ประกอบด้วยท่อขนาดเล็ก (Microchannels) จำนวนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูง ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในท่อขนาดเล็กที่เร็วขึ้นเนื่องจากระยะทางของการแพร่ของของเหลวที่สั้นกว่า [6] ทำให้ LMA มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลที่สูงรวมทั้งมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา [7]

ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ LMA นั้นโดยทั่วไปแล้วจะมีขั้นตอนหลัก ๆ คือ การนำแผ่นโลหะมาตัดเป็นช่องขนาดเล็ก และยึดติดกันเพื่อสร้างชั้นของท่อขนาดเล็ก โดยโครงสร้างภายในที่มีช่องว่างขนาดเล็กในอุปกรณ์ LMA นั้น สามารถผลิตขึ้นจากกระบวนการตัดประเภทต่าง ๆ เช่น การกัดด้วยไฟฟ้าเคมี การตัดด้วยเลเซอร์ การตัดด้วยเส้นลวด หรือการปั๊มขึ้นรูป [8] หลังจากนั้นก็นำแผ่นโลหะที่ผ่านการตัดเป็นช่องขนาดเล็กมาทำการยึดติดกัน โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการยึดติดกันนั้นก็มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การบัดกรี การเชื่อมประสานโดยการแพร่และการเชื่อมประสานโดยการแพร่ การเชื่อมอัลตราโซนิก และการเชื่อมแบบหลอมละลาย ซึ่งกระบวนการบัดกรีนั้น เป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิการเชื่อมที่ต่ำและระยะเวลาในการเชื่อมที่สั้น แต่รอยต่อที่ได้จะไม่แข็งแรงและไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง [9] ในส่วนของกระบวนการเชื่อมประสานโดยการแพร่และการเชื่อมประสานโดยการแพร่นั้น รอยต่อที่ได้จะมีความแข็งแรงสูง แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการเชื่อมที่ยาวนานขึ้นทำให้เกิดต้นทุนการผลิตสูงขึ้น สำหรับการเชื่อมอัลตราโซนิกนั้น ใช้เวลาในการเชื่อมที่สั้น แต่ความแข็งแรงของรอยต่อต่ำและไม่เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง [10] ในกรณีของการเชื่อมแบบหลอมละลายเช่นการเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอนหรือการเชื่อมด้วยเลเซอร์ แผ่นโลหะจะถูกเชื่อมให้ติดกันเฉพาะที่ขอบเท่านั้นซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะส่งผลให้เกิดการผสมกันของของเหลวในระหว่างการใช้งาน [11] สำหรับการเชื่อมประสานในสถานะของแข็ง (Solid-state brazing) เป็นการเชื่อมประสานที่นิยมใช้กับการเชื่อมประสานโลหะชนิดต่าง ๆ เนื่องจากให้รอยต่อที่แข็งแรงและมีคุณภาพเพียงพอต่อการใช้งาน ง่ายต่อการเชื่อมประสาน จึงเป็นวิธีการเชื่อมประสานที่เหมาะสมกับการผลิต LMA

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกระบวนการผลิต LMA โดยใช้วิธีการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งของโลหะพื้นที่เป็นแผ่นทองแดงโดยใช้โลหะเติม AgCuP ชนิดที่ไร้แคดเมียม ที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อในการเชื่อมประสานและศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งโดยใช้วิธีการออกแบบทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken design) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งกับความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อที่ได้จากการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งเพื่อให้ได้เงื่อนไขในการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งที่ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อสูงสุด

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมโลหะพื้นและโลหะเติม

การเตรียมโลหะพื้นและโลหะเติมสำหรับศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเชื่อมประสานในสถานะของแข็งนั้น ในส่วนของโลหะพื้นจะใช้ทองแดง (Cu) บริสุทธิ์ หนา 0.35 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร และความยาว 27.70 มิลลิเมตร โดยขนาดของชิ้นงานทดสอบและลักษณะของการเชื่อมประสานแสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 สำหรับโลหะเติม BrazeTec S 15 AgCuP สามารถเชื่อมประสานกับโลหะพื้นประเภททองแดงได้ดี ผลิตโดย SAXONIA Technical Materials GmbH ประเทศเยอรมนี โดยตัดโลหะเติมให้ได้ขนาด 5x10x0.35 มิลลิเมตร

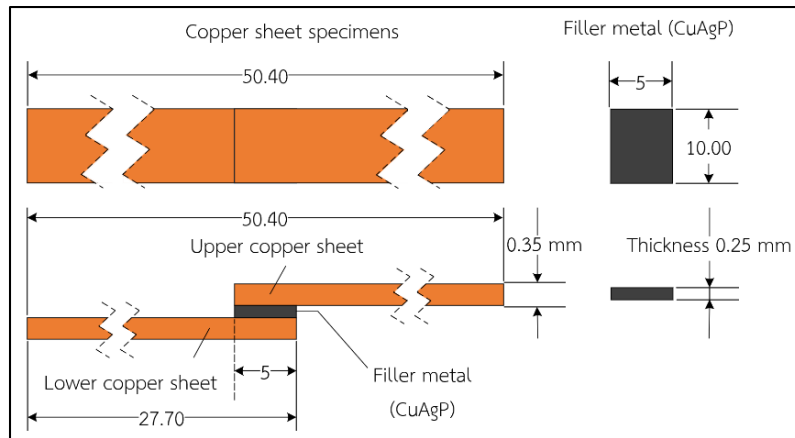


Figure 1 Schematic diagrams of substrate and filler metal specification.

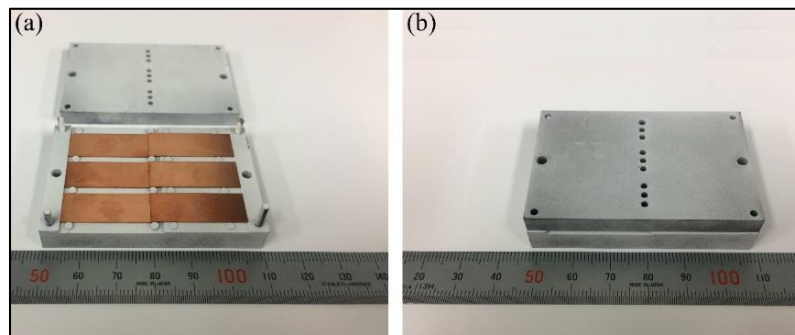


Figure 2 Specimens assembling: (a) Specimen prepared on fixture and (b) Covered loading pressure.

2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษานี้ใช้การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน ซึ่งในการเล่นประสานในสถานะของแข็งนี้มีเงื่อนไขหรือตัวแปรในการเล่นประสานในสถานะของแข็งซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมและหาค่าที่เหมาะสมในการทดลองได้อยู่ 3 ตัวแปรด้วยกัน ได้แก่ (1) Brazing temperature: B คือ อุณหภูมิในการเล่นประสาน (2) Holding time: H คือ เวลาในการเล่นประสาน และ (3) Loading pressure: L คือ ความดันโหลด ซึ่งตัวแปรและระดับในการเล่นประสานในสถานะของแข็งที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แสดงในตารางที่ 1 ส่วนลักษณะเฉพาะของการเล่นประสานในสถานะของแข็งที่ศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อ ซึ่งความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานนั้นต้องการให้ได้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อสูงสุด ในการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน ที่มีตัวแปรในการทดลอง 3 ตัวแปร ซึ่งแต่ละตัวแปรจะมี 3 ระดับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 และได้กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 30 การทดลอง

Table 1 Brazing variables and the corresponding levels for the Box-Behnken design.

Brazing temperature (°C)	Holding time (min)	Loading pressure (kPa)	Level
580	10	4.713	-1
600	20	8.656	0
620	30	12.173	1

2.3 การแล่นประสาน

ในส่วนของการขั้นตอนการแล่นประสานในสภาวะของแข็งนั้นจะเริ่มจากเตรียมโลหะพื้นทองแดงและโลหะเติม AgCuP ชนิดที่ไร้แคดเมียม โดยล้างด้วยสารละลายอะซิโตนเพื่อขจัดคราบน้ำมันที่ผิวและรอให้แห้ง จากนั้นทำการประกอบและเตรียมชิ้นงานทดสอบประกอบกับตัวจับยึดชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2 หลังจากนั้นนำเข้าเตาอบที่ควบคุมบรรยากาศด้วยไฮโดรเจน ยี่ห้อ BOREL Swiss SA รุ่น SO908 ที่สามารถให้ความร้อนสูงสุดที่ 1050 °C หลังจากนั้นจึงทำการแล่นประสานระหว่างโลหะพื้นทองแดงและโลหะเติมตามอุณหภูมิ เวลา และความดันที่กำหนด โดยจะเริ่มแล่นประสานที่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิในการแล่นประสานที่กำหนด โดยมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 °C ต่อนาที และอัตราการเย็นตัวลง (Cooling rate) ที่ 40 °C ต่อนาที

2.4 การทดสอบความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อ

สำหรับขั้นตอนการทดสอบแรงดึงเฉือนของรอยต่อ จะนำชิ้นงานที่ผ่านการแล่นประสานมาทำการทดสอบความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อ โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AG-X 100 kN ที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที หลังจากนั้นก็นำผลการทดสอบความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยหลักโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการแล่นประสานกับความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อที่ได้จากการแล่นประสานเพื่อให้ได้เงื่อนไขในการแล่นประสานที่ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อสูงสุด

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแล่นประสานในสภาวะของแข็งที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน สามารถทำได้โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของการวิเคราะห์ตัวแปรในการแล่นประสานที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 โดยในกรณีนี้พบว่า ค่า R-Squared มีค่าเท่ากับ 96.62% Adjusted R-Squared มีค่าเท่ากับ 95.09% และ Predicted R-Squared มีค่าเท่ากับ 92.67% และจากผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรที่เป็นอุณหภูมิในการแล่นประสาน (Brazing temperature: B) เวลาในการแล่นประสาน (Holding time: H) ความดันโหลดในการแล่นประสาน (Loading pressure: L) และ Interaction ระหว่าง (Brazing temperature* Brazing temperature : B*B), (Brazing temperature*Holding time: B*H), (Brazing temperature*Loading pressure: B*L) และ (Holding time*Loading pressure: H*L) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เนื่องจากตัวแปรทั้งหมดมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 โดยในกรณีนี้ตัวแปรที่เป็นอุณหภูมิในการแล่นประสาน (Brazing temperature: B) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานมากที่สุด เนื่องจากมีค่า F-ratio สูงสุด ดังนั้นรูปแบบของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จึงยังไม่มีที่เหมาะสมเพียงพอ โดยแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ ได้แสดงในสมการที่ 1 ซึ่งเป็นสมการในรูปแบบ Coded units

Table 2 Estimated regression coefficients of the tensile shear force model.

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	239.20	12.70	18.84	<0.001	-
Brazing temperature	147.69	7.76	19.03	<0.001	1.00
Holding time	54.72	7.76	7.05	<0.001	1.00
Loading pressure	73.38	7.75	9.46	<0.001	1.00
Brazing temperature*Brazing temperature	50.00	11.40	4.38	<0.001	1.01
Holding time*Holding time	6.20	11.40	0.54	0.593	1.01
Loading pressure*Loading pressure	-22.30	11.50	-1.94	0.066	1.01
Brazing temperature*Holding time	27.00	11.00	2.46	0.023	1.00
Brazing temperature*Loading pressure	46.30	11.00	4.22	<0.001	1.00
Holding time*Loading pressure	35.50	11.00	3.24	0.004	1.00

Table 3 Analysis of variance for the tensile shear force model.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	549577	61064	63.460	<0.001
Linear	3	482401	160800	167.120	<0.001
Brazing temperature	1	348411	348411	362.100	<0.001
Holding time	1	47832	47832	49.710	<0.001
Loading pressure	1	86158	86158	89.540	<0.001
Square	3	23594	7865	8.170	0.001
Brazing temperature*Brazing temperature	1	18431	18431	19.160	<0.001
Holding time*Holding time	1	284	284	0.300	0.593
Loading pressure*Loading pressure	1	3633	3633	3.780	0.066
2-Way Interaction	3	33094	11031	11.460	<0.001
Brazing temperature*Holding time	1	5827	5827	6.060	0.023
Brazing temperature*Loading pressure	1	17153	17153	17.830	<0.001
Holding time*Loading pressure	1	10114	10114	10.510	0.004
Error	20	19244	962	-	-
Lack-of-Fit	3	4819	1606	1.890	0.169
Pure Error	17	14425	849	-	-
Total	29	568821	-	-	-

$$\text{Tensile shear force} = 239.62 + 147.69B + 54.72H + 73.38L + 50B*B + 6.20H*H - 22.30L*L + 27BH + 46.30BL + 35.50HL \quad (1)$$

ดังนั้นแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน โดยให้ได้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานสูงที่สุด ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 3 พบว่าตัวแปรที่เป็นอิทธิพลในการแปรปรวน (Brazing temperature: B) เวลาในการแปรปรวน (Holding time: H) ความดันโหลดในการแปรปรวน (Loading pressure: L) และ Interaction ระหว่าง (Brazing temperature*Brazing temperature: B*B), (Brazing temperature*Holding time: B*H), (Brazing temperature* Loading pressure: B*L) และ (Holding time* Loading pressure: H*L) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานมากที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าจะได้ค่า P-Value <0.05 ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกวิเคราะห์เฉพาะตัวแปรที่ให้ค่า P-Value <0.05 เท่านั้น ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4 โดยในกรณีนี้ได้ทำการตัดตัวแปรที่ไม่มีอิทธิพลออกเพื่อทำการ

วิเคราะห์เฉพาะตัวแปรในการทดลองการแล่นประสานที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลังจากการเลือกวิเคราะห์เฉพาะตัวแปรในการแล่นประสานที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อนั้นพบว่า ค่า R-Squared มีค่าเท่ากับ 95.90% Adjusted R-Squared มีค่าเท่ากับ 94.59% และ Predicted R-Squared มีค่าเท่ากับ 92.49% และจากค่า P-Value ของ Lack-of-fit ในตารางที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.115 ซึ่งมากกว่า α จึงสรุปได้ว่ารูปแบบของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในการแล่นประสานในสถานะของแข็งของแผ่นทองแดงที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนนี้มีความเหมาะสม และแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ได้แสดงในสมการที่ 2 ซึ่งเป็นสมการในรูป Coded units

Table 4 Estimated regression coefficients of tensile shear force after reduced model.

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	229.96	8.71	26.41	<0.001	
Brazing temperature	147.69	8.15	18.12	<0.001	1.00
Holding time	54.72	8.15	6.71	<0.001	1.00
Loading pressure	73.98	8.14	9.09	<0.001	1.00
Brazing temperature*Brazing temperature	51.10	11.90	4.29	<0.001	1.00
Brazing temperature*Holding time	27.00	11.50	2.34	0.029	1.00
Brazing temperature*Loading pressure	46.30	11.50	4.02	0.001	1.00
Holding time*Loading pressure	35.50	11.50	3.09	0.005	1.00

Table 5 Analysis of variance for the tensile shear force model after reduced model.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	545479	77926	73.450	<0.001
Linear	3	483949	161316	152.040	<0.001
Brazing temperature	1	348411	348411	328.380	<0.001
Holding time	1	47832	47832	45.080	<0.001
Loading pressure	1	87706	87706	82.660	<0.001
Square	1	19496	19496	18.380	<0.001
Brazing temperature*Brazing temperature	1	19496	19496	18.380	<0.001
2-Way Interaction	3	33094	11031	10.400	<0.001
Brazing temperature*Holding time	1	5827	5827	5.490	0.029
Brazing temperature*Loading pressure	1	17153	17153	16.170	0.001
Holding time*Loading pressure	1	10114	10114	9.530	0.005
Error	22	23342	1061	-	-
Lack-of-Fit	5	8917	1783	2.100	0.115
Pure Error	17	14425	849	-	-
Total	29	568821	-	-	-

$$\text{Tensile shear force} = 229.96 + 147.69B + 54.72H + 73.98L + 51.10B^2 + 27BH + 46.30BL + 35.50HL \quad (2)$$

3.2 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม

จากกราฟอิทธิพลหลักของค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานเทียบกับตัวแปรในการแล่นประสาน ดังแสดงในรูปที่ 3 นั้นแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการแล่นประสานทั้งสามมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน แต่จากตารางที่ 2 พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปร (Interaction) ระหว่าง Brazing temperature*Brazing temperature, Brazing temperature*Holding time, Brazing temperature*Loading pressure และ Holding time*Loading pressure มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงาน ดังนั้นการเลือกเงื่อนไขในการแล่นประสานที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาจากกราฟอิทธิพลร่วมของตัวแปรในการแล่นประสานทั้งสามนี้ และเมื่อพิจารณาจากกราฟอิทธิพลร่วมของค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานเทียบกับตัวแปรในการแล่นประสานดังแสดงในรูปที่ 4 ของอุณหภูมิในการแล่นประสาน เวลาในการแล่นประสาน และความดันโหลด ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการแล่นประสาน เวลาในการแล่นประสาน และความดันในการกดชิ้นงานเป็น 620 °C, 30 min และ 12.173 kPa ตามลำดับพบว่าให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของชิ้นงานสูงที่สุด ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการแล่นประสานในสภาวะของแข็งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษานี้

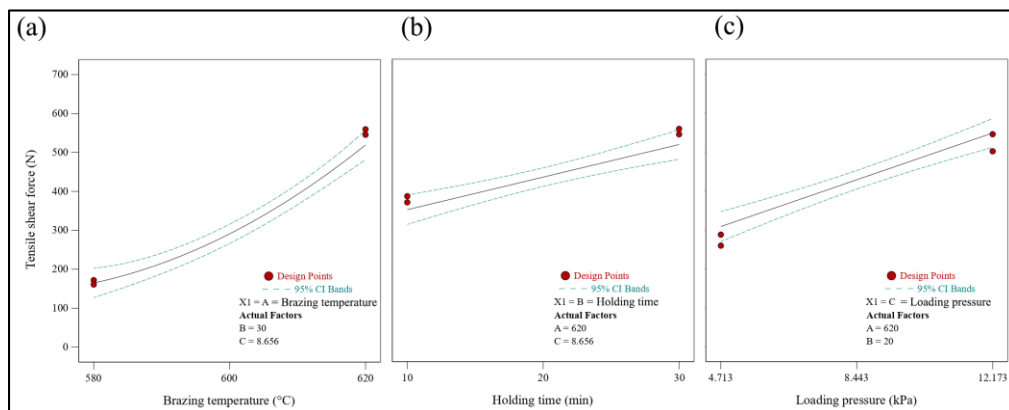


Figure 3 Main effect plot for tensile shear force: (a) Brazing temperature (b) Holding time (c) Loading pressure.

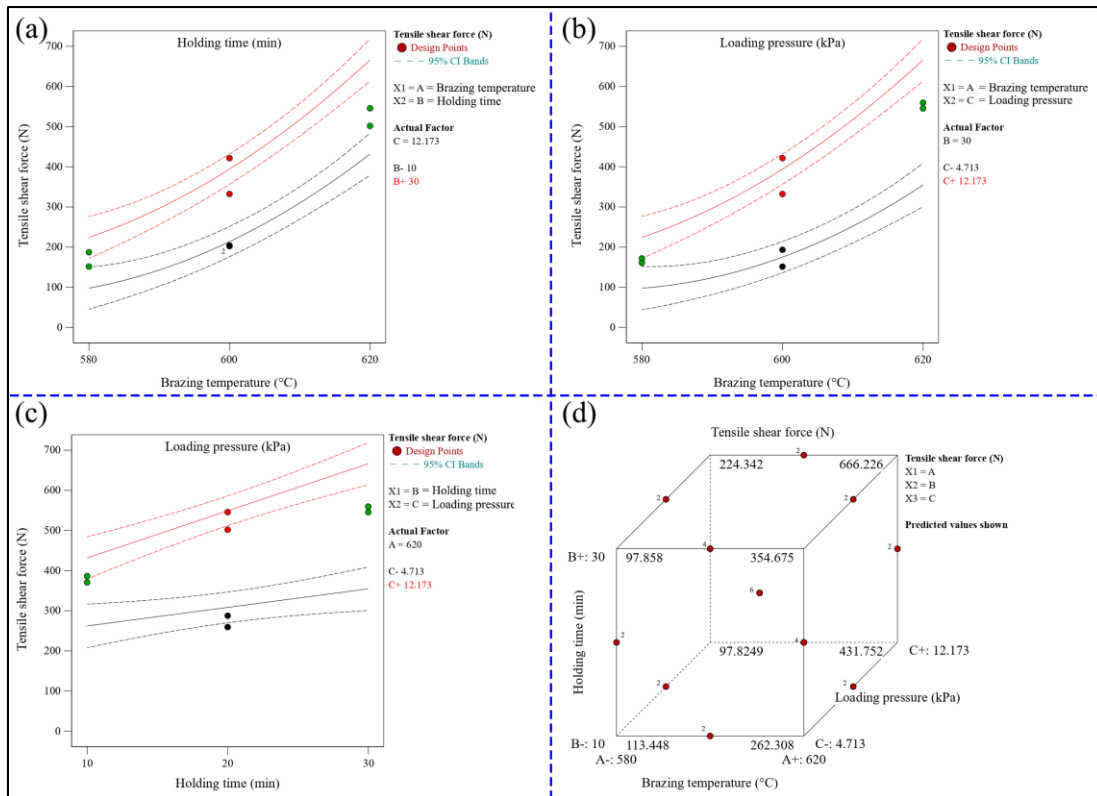


Figure 4 Interaction plot for tensile shear force: (a) Brazing temperature versus Holding time, (b) Brazing temperature versus Loading pressure, (c) Holding time versus Loading pressure and (d) Prediction values of tensile shear force.

เมื่อใช้เงื่อนไขในการเล่นประสาณที่ได้จากการศึกษาและการวิเคราะห์จากกราฟอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมและค่าที่ได้จากการทำนายครั้งนี้ให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อของชิ้นงานสูงที่สุด คือ อุณหภูมิในการเล่นประสาณที่ 620°C เวลาในการเล่นประสาณที่ 30 min และความดันโหลดที่ 12.173 kPa ไปทำการการเล่นประสาณเพื่อยืนยันผลการศึกษา ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6 และผลจากการทดสอบในการศึกษานี้พบว่าค่าความแข็งแรงของรอยต่อของชิ้นงานมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย โดยมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของรอยต่อของชิ้นงานอยู่ที่ 741.004 N ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลองที่ต้องการค่าความแข็งแรงของรอยต่อของชิ้นงานสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการ อยู่ที่ 10.092 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการ ซึ่งให้ค่าจากการทำนายความแข็งแรงของรอยต่อที่ 666.226 N แต่เมื่อทำการทดลองการเล่นประสาณเพื่อยืนยันผลการศึกษพบว่าค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่ได้ทุกชิ้นมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย ซึ่งเป็นผลในแง่ดีเนื่องจากการค่าความแข็งแรงของรอยต่อของชิ้นงานที่สูงที่สุด (ค่าที่ยิ่งสูงยิ่งดี) ซึ่งความผิดพลาดในแง่บวกนี้อาจเกิดมาจากความขำนาญที่เพิ่มขึ้นของผู้วิจัยในการเล่นประสาณชิ้นงานเมื่อทำการทดลองยืนยันผล จึงได้รอยต่อที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

Table 6 Confirmation tests on the optimal solid-state brazing condition.

Specimens no.	Tensile shear force (N)	Prediction error (%)
1	746.838	10.794
2	731.611	8.937
3	744.565	10.521
Average	741.004	10.092

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิธีการเล่นประสานในสภาวะของแข็งของโลหะพื้นที่เป็นแผ่นทองแดงโดยใช้โลหะเติม AgCuP ที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อในการเล่นประสาน โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเล่นประสาน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิต LMA นั้นพบว่าตัวแปรหลักซึ่งก็คือ อุณหภูมิในการเล่นประสาน เวลาในการเล่นประสาน ความดันโลหดที่ชักัดขึ้นงาน ความสัมพันธ์ร่วมของอุณหภูมิในการเล่นประสาน ความสัมพันธ์ร่วมของอุณหภูมิและเวลาในการเล่นประสาน ความสัมพันธ์ร่วมของอุณหภูมิและความดันในการชักัดขึ้นงาน และความสัมพันธ์ร่วมของเวลาในการเล่นประสานและความดันในการชักัดขึ้นงานมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของขึ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับทำนายและหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรในการเล่นประสานที่มีต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อในการเล่นประสาน ซึ่งจากการวิเคราะห์จากกราฟอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของขึ้นงานเทียบกับตัวแปรในการเล่นประสานพบว่า อุณหภูมิในการเล่นประสาน เวลาในการเล่นประสาน และความดันในการชักัดขึ้นงานเป็น 620°C , 30 min และ 12.173 kPa ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของขึ้นงานสูงที่สุดและเป็นเงื่อนไขของการเล่นประสานในสภาวะของแข็งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษานี้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายและจากการวิเคราะห์ด้วยกราฟอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรในการเล่นประสานที่มีต่อความแข็งแรงเฉือน จึงได้นำเงื่อนไขของการเล่นประสานในสภาวะของแข็งที่เหมาะสมไปทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกับผลของการทดลองซึ่งต้องการค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อของขึ้นงานสูงที่สุด โดยค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเฉลี่ยอยู่ที่ 741.004 N และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ 10.092

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gao Q., Lizarazo-adarme J., Paul B.K. and Haapala K.R. 2016. An economic and environmental assessment model for microchannel device manufacturing : part 2 Application. J. Clean. Prod. 120: 146–156.
- [2] Andhare R.S., Shooshtari A., Dessiatoun S.V. and Ohadi M.M. 2016 Heat transfer and pressure drop characteristics of a flat plate manifold microchannel heat exchanger in counter flow configuration. Appl. Therm. Eng. 96: 178–189.
- [3] Zhang H.Y., Pinjala D., Wong T.N. and Joshi Y.K. 2005. Development of liquid cooling techniques for flip chip ball grid array packages with high heat flux dissipations. IEEE Trans. Components Packag. Technol. 28: 127–135.
- [4] Prakash S. and Kumar S. Fabrication of microchannels: A review. 2015. Proc. IMechE. Part B: J. Eng. Manuf. 229: 1273–1288.
- [5] Li J., Wang S., Cai W. and Zhang W. 2010. Numerical study on air-side performance of an integrated fin and micro-channel heat exchanger. Appl. Therm. Eng. 30: 2738–2745.
- [6] Zhou W., Qiu Q., Zhou F., Chu X., Ling W. and Yu W. 2018. Multi-blade milling process of Cu-based microchannel for laminated heat exchanger. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 95: 2973–2987.
- [7] Paulraj P., Paul B.K. and Peterson R.B. 2012. Development of an adhesive-bonded counterflow microchannel heat exchanger. Appl. Therm. Eng. 48: 194–201.
- [8] Paul B.K. and Lingam G.K. 2012. Cooling rate limitations in the diffusion bonding of microchannel arrays.” J. Manuf. Process. 14: 119–125.
- [9] Paul B.K., Sharma N. and Doolen T. 2005. Application of surface mount processes for economical production of high-aspect-ratio microchannel arrays. J. Manuf. Process. 7: 174–181.
- [10] Seo J.S., Jang H.S. and Park D.S. 2015. Ultrasonic welding of Ni and Cu sheets. Mater. Manuf. Process. 30: 1069–1073.
- [11] Basuki W.W., Kraft O. and Aktaa J. 2012. Optimization of solid-state diffusion bonding of Hastelloy C-22 for micro heat exchanger applications by coupling of experiments and simulations. Mater. Sci. Eng. A. 538: 340–348.

การพัฒนาโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มที่เสริมด้วยน้ำลูกหว้า Development of Soy Drinking Yogurt with Jambolan Plum Juice

ศราวุฒิ กันบัว¹ เมธพนธ์ หวังเหนียวกลาง¹ วงศกร จำปาโพธิ์¹ และ นิดา อาบสุวรรณ^{1*}

Sarawut Kanbur¹, Metapol Wangnewiklang¹, Wongsakorn Jumpapho¹ and Nida Arbsuwan^{1*}

¹ สาขาชีววิทยาประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹ Department of Applied Biology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

*Corresponding author: นิดา อาบสุวรรณ, e-mail address: Arbsuwan@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลืองที่เสริมด้วยน้ำลูกหว้า โดยศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มรวมถึงศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตพร้อมดื่มที่เสริมด้วยน้ำลูกหว้า พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักหั่วเชื้อโยเกิร์ต คือ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกและแบคทีเรียกรดแลคติกพบว่าค่าพีเอชอยู่ที่ 4.90 ± 0.03 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 10.80 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก 1.60 ± 0.03 และแบคทีเรียกรดแลคติก 2.7×10^7 CFU/ml จากนั้นนำหั่วเชื้อโยเกิร์ตมาผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มโดยเติมน้ำลูกหว้า 40 กรัม (สูตร 1) และ 60 กรัม (สูตร 2) เทียบกับสูตรควบคุม พบว่าค่าพีเอชของสูตร 1 และสูตร 2 อยู่ที่ 4.68 ± 0.00 และ 5.30 ± 0.51 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ที่ 9.00 ± 0.00 และ 7.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.21 ± 0.00 และ 0.16 ± 0.01 และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 16.67×10^6 และ 3.50×10^6 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสูตร 2 มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 48.07 ± 2.87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตร 1 พบ 24.93 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยังคงอยู่ในระหว่างกระบวนการหมัก ดังนั้นสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มด้านฟังก์ชันได้

คำสำคัญ: โยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่ม, ลูกหว้า, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This research was a study on the production of soy yogurt drinking with Jambolan Plum juice. Antioxidant activity, Chemical and Lactic acid bacteria of soy drinking yogurts were studied. The optimal incubation time and temperature for starter culture was 4 hours at 45°C. The pH, total soluble solid content, percentage of lactic acid and total lactic acid bacteria were 4.90 ± 0.03 , 10.80 ± 0.00 , 1.60 ± 0.03 and 2.7×10^7 CFU/ml, respectively. Jambolan Plum juice; 40 g (formula 1) and 60 g (formula 2) were added in soy drinking yogurt production compared with the control. The pH, total soluble content, percentage of lactic acid and total lactic acid bacteria of soy drinking yogurt in formula 1 and 2 were 4.68 ± 0.00 and 5.30 ± 0.51 , 9.00 ± 0.00 and 7.00 ± 0.00 , 0.21 ± 0.00 , 0.16 ± 0.01 , 16.67×10^6 and 3.50×10^6 CFU/ml, respectively. Percentage of DPPH radical scavenging activities in formula 2 and formula 1 were $48.07 \pm 2.87\%$ and $24.93 \pm 0.26\%$ respectively. The result indicated that the antioxidant activity during fermentation were found in soy drinking yogurt with Jambolan Plum juice. Therefore, it can be developed in terms of functional drink.

Keywords: Soy drinking yogurt, Jambolan Plum, Antioxidant activity

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ความต้องการรับประทานอาหารเชิงสุขภาพเพื่อป้องกันการเกิดโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ จึงเริ่มหันมาใส่ใจผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสมุนไพรหรืออาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นโดยเฉพาะโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์จากนมหมักที่เกิดจากจุลินทรีย์ *Streptococcus thermophilus* ร่วมกับ *Lactobacillus subsp. bulgaricus* โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสในนมให้เป็นกรดแลคติก มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ที่เกิดจากกลิ่นของแอซิทาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรส [1] โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (drinking yogurt) ถือเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยปรับร่างกายและสะดวกต่อการบริโภค โดยโยเกิร์ตพร้อมดื่มได้จากการนำโยเกิร์ตไปปั่นจนมีลักษณะเป็นน้ำ หรือของเหลว สามารถดื่มได้ทันที ในทางอุตสาหกรรมนิยมเติมน้ำนม น้ำเชื่อม หรือน้ำผลไม้ให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้มีรสชาติที่ดีขึ้น การนำถั่วเหลืองมาพัฒนาเป็นโยเกิร์ตพร้อมดื่มแทนนมเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้แพ้นมวัว และเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจเหมาะสำหรับผู้รักสุขภาพในผู้สูงวัย ซึ่งให้ประโยชน์ในแง่เป็นแหล่งของโปรตีนที่สูง มีเส้นใย (fiber) วิตามิน และแร่ธาตุ เป็นต้น [2] มีสารประกอบที่สำคัญกลุ่มสารไอโซฟลาโวนส์ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ สามารถยับยั้งฤทธิ์ของเอสโตรเจนในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์มะเร็ง [3]

ลูกหว่า (ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Syzygium cumini*) เป็นผลไม้พื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเพราะลูกหว่าอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุเช่น วิตามินซี ฟอสฟอรัส แคลเซียม และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่อสุขภาพ นอกจากนี้ลูกหว่ายังมีสรรพคุณใช้เป็นยารักษาโรคและอาการต่าง ๆ ช่วยลดอาการจับตัวของลิ่มเลือด ช่วยย่อยอาหาร ต้านโรคมะเร็ง ช่วยลดอัตราการเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ผลของลูกหว่าเมื่อสุกจะมีผลสีม่วงเข้มจนถึงสีดำคล้ำอยู่บน รสชาติจะออกหวานและมีรสฝาดเล็กน้อย สีม่วงเกิดจากสาร “แอนโทไซยานิน” (anthocyanin) ซึ่งมีรายงานวิจัยจากสารสกัดลูกหว่าพบมีสารแอนโทไซยานิน ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดริ้วรอยก่อนวัย [4] นอกจากนั้นยังมีสารประกอบอื่น ๆ ได้แก่ gallic acid, cyanidin, delphinidin-3-gentiobioside, malvidin-3-laminaribioside และ petunidin-3-gentiobioside ซึ่งออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน องค์ประกอบทางเคมีที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมถั่วเหลืองพร้อมดื่มที่เสริมด้วยลูกหว่า รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาคุณภาพโยเกิร์ตพร้อมดื่ม และเพิ่มรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายและเป็นอีกทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพและผู้สูงวัย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมนมถั่วเหลือง

นำเมล็ดถั่วเหลืองตราไร้ทิพย์ มาล้างให้สะอาดแล้วใส่น้ำในอัตราส่วน 1:3 ของน้ำหนักแห้ง แช่น้ำอุ่นทิ้งไว้ประมาณ 10-20 นาที หลังจากนั้นล้างเอาเปลือกออกแล้วบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องตีปั่น ประมาณ 3 นาที เติมน้ำลงไปประมาณ 5 เท่าของน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง หลังจากนั้นนำมาต้มจนเดือดทิ้งให้เดือดนาน 30 นาที นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง 2-3 ชั้น แล้วนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

2.2 การเตรียมนมถั่วเหลืองโยเกิร์ต

นมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมข้างต้น (2.1) มาอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเติมน้ำตาลทราย 4% แล้ว ทำใหเย็นลง ประมาณ 45 องศาเซลเซียส แล้วเติมนมถั่วเหลืองโยเกิร์ตทางการค้าในอัตราส่วน 10 % บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส วัดค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต 0.5% ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 1, 3, 4 และ 6 สภาวะที่เหมาะสมจะนำไปผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มต่อไป

2.3 การผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองจากน้ำลูกหว่า

นำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมข้างต้นพร้อมกับหัวเชื้อที่ได้จากการหมักมาผลิตโยเกิร์ตโดยทุกสูตรเติมนมถั่วเหลืองปริมาณ 100 กรัม แล้วเติมน้ำลูกหว่าที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล และน้ำ โดยแบ่งออกเป็น 4 สูตร แสดง Table 1 เก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 ตัวอย่างนำมาทำการวิเคราะห์ วัดค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกสภาวะที่เหมาะสมในการหมักโยเกิร์ตจากน้ำลูกหว่า จะนำมาผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่มต่อไป

Table 1 The formula of soy drinking yogurt with Jambolan Plum juice 50%.

Formula	Jambolan Plum juice 50% (g)	Water (g)	Sugar (g)	Starter (g)
Control1	-	40	15	5
Formula 1	40	-	15	5
Control 2	-	60	15	5
Formula 2	60	-	15	5

2.4 การผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมคิมจากน้ำลูกหว้า

สภาวะที่เหมาะสมจากการหมักโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร (Control 1, สูตร 1, Control 2 และ สูตร 2) จะนำมาผลิตโยเกิร์ตพร้อมคิมโดยนำตัวอย่างมาทำการเจือจางด้วยน้ำในอัตรา 1:1 แล้วปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างโยเกิร์ตที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางเคมี เพอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของโยเกิร์ตเบื้องต้น

2.5 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

นำตัวอย่าง 10 กรัม ในแต่ละสูตรที่ม่วัดค่าพีเอช โดยใช้เครื่อง pH-meter และหาเปอร์เซ็นต์กรดแลคติก โดยวิธี Titratable acidity ตามวิธีใน AOAC (1990) [6] นำตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร นำมาไทเทรตกับ 0.1 N NaOH โดยใช้ 1% phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติจะเป็นสีชมพู จากนั้นนำปริมาตรของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ไปมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดแลคติก

2.6 การตรวจสอบแบคทีเรียกรดแลคติก

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกนำตัวอย่างมาเจือจางโดยใช้เทคนิค Serial dilution ตั้งแต่ 10^{-1} – 10^{-6} ด้วยสารละลาย 0.85% NaCl ปริมาตร 9 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาดรอบนเพลตบนอาหาร MRS agar ที่ผสม 0.5% CaCO_3 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีที่มีวงใสรอบ ๆ แบคทีเรีย

2.7 การศึกษาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่างโยเกิร์ตที่ได้นำมาปั่นที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ส่วนใสที่ได้นำมาวิเคราะห์เพอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay เติมตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุมูลอิสระ 0.1 mM DPPH ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณ DPPH radical scavenging activity (%) ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติความแปรปรวนทางสถิติ (One Way Analysis of Variance) และทำการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's ด้วยโปรแกรม SigmaStat 3.1

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{[A517_{\text{control}} - A517_{\text{test control}}]}{A517_{\text{control}}} \times 100$$

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักหัวเชื้อโยเกิร์ตถั่วเหลืองพบว่านมถั่วเหลืองที่ได้จากการหมักมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เริ่มต้น 11.67 ± 0.58 องศาบริกซ์ จนถึงชั่วโมงที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 10.00 ± 0.00 รวมถึงค่าพีเอชลดลงตามระยะการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกที่มีปริมาณสูงขึ้นจาก 0.71 ± 0.02 ถึง 1.77 ± 0.03 รวมถึงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกมีจำนวนสูงขึ้นเช่นเดียวกัน จากการทดลองพบว่า ในชั่วโมงที่ 4 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการหมักหัวเชื้อโยเกิร์ตจากนมถั่วเหลืองมากที่สุด (Table 2) ซึ่งจะนำไปผลิตเป็นหัวเชื้อโยเกิร์ตต่อไปในการผลิตโยเกิร์ตพร้อมคิม

Table 2 Chemical and lactic acid bacteria properties of starter culture from Yogurt soy milk.

Time (hr)	Total soluble solid content (°Brix)	pH	%Lactic acid	Lactic acid bacteria CFU/ml
0	11.67±0.58	6.39±0.46	0.71±0.02	1.62×10 ⁶
2	10.80±0.00	5.02±0.01	1.29±0.02	1.24×10 ⁷
4	10.80±0.00	4.90±0.03	1.60±0.03	2.70×10 ⁷
6	10.00±0.00	4.82±0.02	1.77±0.03	9.00×10 ⁷

เมื่อทำการศึกษาการหมักโยเกิร์ตด้วยนมถั่วเหลืองที่เสริมด้วยน้ำลูกหว้าแสดง Table 3 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสูตร control 1 มีค่าเท่ากับ 13±0.00 และ สูตรที่ 1 มีค่าเท่ากับ 14±0.00 องศาบริกซ์ ซึ่งมากกว่า control 1 อาจจะเป็นเพราะปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำลูกหว้าทำให้ค่าพีเอชเริ่มต้นต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชลดลงที่ 4.96±0.81 (Control 1) และ 4.34±0.00 (Formula 1) ทั้ง 2 สูตร ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้น 0.53±0.05 (Control 1) และ 0.67±0.00 (Formula 1) ในชั่วโมงที่ 6 จากการศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างกระบวนการหมักโยเกิร์ต พบว่าแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก คือ Control 1 มีค่าเท่ากับ 5.40×10⁶ CFU/ml ในส่วนของสูตรที่ 1 มีค่าเท่ากับ 4.40×10⁶ CFU/ml จากผลการหมักโยเกิร์ตด้วยนมถั่วเหลืองที่เสริมด้วยลูกหว้าที่สูตร Control 1 และ Formula 1 พบว่าในชั่วโมงที่ 4 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการหมักโยเกิร์ตเนื่องจากค่าพีเอชอยู่ที่ 4.6 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงคัดเลือกสภาวะดังกล่าวไปผลิตนมเปรี้ยวต่อไป

การศึกษาสภาวะการหมักโยเกิร์ตของสูตร Control 2 และ Formula 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูตร Formula 2 เริ่มต้น 16.00±0.00 องศาบริกซ์ ซึ่งมีค่ามากกว่า Control 2 อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำตาลในน้ำลูกหว้าทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติมน้ำลูกหว้าให้มีผลต่อค่าพีเอช ที่ลดลงเนื่องจากปริมาณของแข็งในสูตร Formula 2 มีค่าเริ่มต้นมากกว่าค่า พีเอช ที่ได้ในชั่วโมงที่ 4 ของ Formula 2 มีพีเอช (4.55±0.01) ที่สูงกว่าสูตร Control 2 (4.47±0.01) เล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบโยเกิร์ตด้วยนมถั่วเหลืองลูกหว้าในสูตร Formula 1 และ Formula 2 น้ำลูกหว้าที่เติมมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และแบคทีเรียกรดแลคติกโดยเมื่อเติมน้ำลูกหว้าในปริมาณสูงโดยเฉพาะสูตร Formula 2 จะทำให้ปริมาณนมมีอัตราเจือจางไปด้วย แบคทีเรียกรดแลคติกจึงสามารถใช้น้ำตาลในนมถั่วเหลืองได้น้อยกว่าการเติมน้ำลูกหว้าในปริมาณต่ำ ในขณะที่การหมักนมถั่วเหลืองด้วยกลัเชื้อ *Lactobacillus pentosus* และ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิในตู้บ่ม 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีค่าพีเอช เท่ากับ 4.5 มีปริมาณของแข็งเท่ากับ 9 และเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 1.046 ส่วนจำนวนเซลล์ *Lactobacillus pentosus* และ *Saccharomyces cerevisiae* เท่ากับ 10⁸ CFU/ml [7]

อย่างไรก็ตามในการผลิตโยเกิร์ตด้วยนมถั่วเหลืองน้ำลูกหว้าพบว่าสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุดในการหมักคือ ชั่วโมงที่ 4 ซึ่งจะนำไปทำการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่มโดยนำไปเจือจางกับน้ำ 1:1

Table 3 The result of fermentation of soy yogurt with Jambolan Plum juice.

Formula	Time (hr)	Total soluble solid content (°Brix)	pH	%Lactic acid	Lactic acid bacteria (CFU/ml)
Control 1 (water 40 g)	0	13.00±0.00	5.99±1.08	0.21±0.11	3.20×10 ⁶
	2	12.00±0.00	5.02±0.01	0.33±0.11	1.10×10 ⁷
	4	11.00±0.00	4.60±0.01	0.48±0.05	2.20×10 ⁷
	6	11.00±0.00	4.96±0.81	0.53±0.05	5.40×10 ⁶
Formula 1 (JPJ40 g)	0	14.30±0.00	5.55±0.00	0.28±0.10	1.50×10 ⁶
	2	14.20±0.00	5.23±0.00	0.36±0.10	5.00×10 ⁶
	4	14.00±0.00	4.63±0.00	0.53±0.00	1.20×10 ⁷
	6	14.00±0.00	4.34±0.00	0.67±0.00	4.40×10 ⁶
Control 2 (water 60 g)	0	12.00±0.00	5.79±0.01	0.14±0.00	4.67×10 ⁵
	2	12.00±0.00	5.00±0.02	0.27±0.00	1.33×10 ⁷
	4	12.00±0.00	4.47±0.01	0.42±0.01	1.53×10 ⁷
	6	12.00±0.00	4.79±0.01	0.43±0.01	3.33×10 ⁷
Formula 2 (JPJ60 g)	0	16.00±0.00	5.37±0.01	0.24±0.00	2.37×10 ⁵
	2	17.00±0.00	5.07±0.01	0.30±0.00	8.00×10 ⁶
	4	15.00±0.00	4.55±0.01	0.45±0.00	1.13×10 ⁷
	6	16.00±0.00	4.88±0.01	0.48±0.01	2.23×10 ⁷

Table 4 The result of fermentation of Soy yogurt drink added with Jambolan Plum juice at 4 hours incubation period.

Formula	Total soluble solid content (°Brix)	pH	% Lactic acid	Lactic acid bacteria (CFU/ml)
Control 1	6.00±0.00	4.83±0.01	0.18±0.00	2.00×10 ⁷
Formula 1	9.00±0.00	4.68±0.00	0.21±0.00	1.67×10 ⁷
Control 2	7.00±0.00	4.87±0.01	0.19±0.00	1.53×10 ⁷
Formula 2	7.00±0.00	5.30±0.51	0.16±0.01	3.50×10 ⁶

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการหมักโยเกิร์ตด้วยเชื้อจุลินทรีย์คือช่วงเวลาที่ 4 มาทำการผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มโดยการเจือจางโยเกิร์ตต่อน้ำในอัตรา 1:1 (Table 4) โดยพบว่าทั้ง 4 สูตร (Control 1, Formula 1, Control 2 และ Formula 2) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก มีค่าลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตด้วยเชื้อที่ยังไม่ได้เจือจาง 1:1 ในขณะที่แบคทีเรียกรดแลคติกยังคงพบอยู่ในระดับ 10⁶ ถึง 10⁷ โดยทั่วไปโยเกิร์ตด้วยเชื้อมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.76 และมีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 4.3 × 10⁷ CFU/ml [8] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าคุณภาพของโยเกิร์ตพร้อมดื่มที่เติมน้ำลูกหว้าปริมาณสูงขึ้นถึง 60 กรัม (Formula 2) ทำให้การเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกลดลง อาจจะเนื่องมาจากคุณภาพของน้ำลูกหว้าที่ทำให้ของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง แต่อย่างไรก็ตามต้องศึกษาคุณสมบัติของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากน้ำลูกหว้าอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของโยเกิร์ตพร้อมดื่ม

การศึกษาคูณสมบัติฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตด้วยเชื้อน้ำลูกหว้าแบบคงตัวด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ที่ช่วงของการหมักต่อเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระพบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สูตร Formula 1 (ที่เติมน้ำลูกหว้า 40 กรัม) มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระลดลงตามระยะการหมักจากช่วงเวลาที่ 0 ถึงช่วงเวลาที่ 6 โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 60.55±1.46, 58.25±0.47, 56.78±1.92 และ 53.98±1.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 1, A) ในขณะที่ สูตร Formula 2

(ที่เติมน้ำลูกหว่า 60 กรัม) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มคงที่จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการหมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 77.32 ± 3.01 , 79.82 ± 3.44 , 73.87 ± 7.68 และ 79.21 ± 2.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สูตร Control 1 และ Control 2 ที่ไม่เติมน้ำลูกหว่ายังคงพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน แต่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระยังคงน้อยกว่าสูตรที่เติมน้ำลูกหว่า (Figure 1, A และ B)

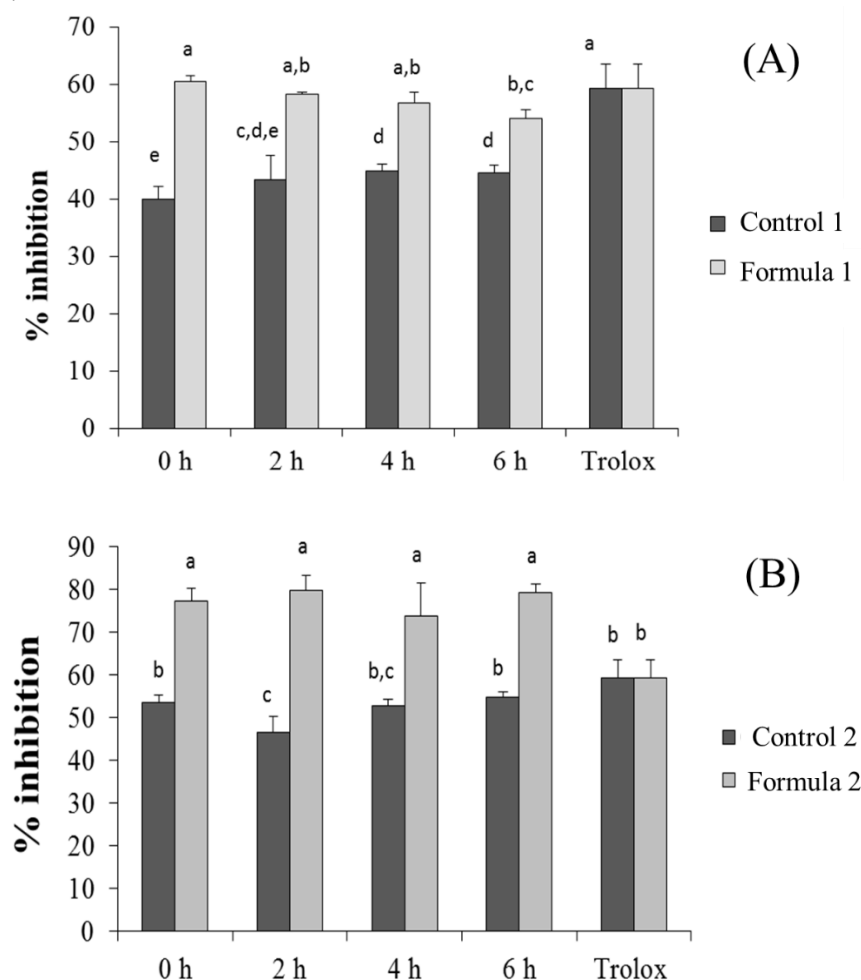


Figure 1 The %inhibition of soy yogurt by DPPH radical scavenging assay. (Control 1, Formula 1 and Control 2, Formula 2 and Trolox (0.06 mg/ml)

Data express as mean $\pm$ SD (n=3)

Mean values with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

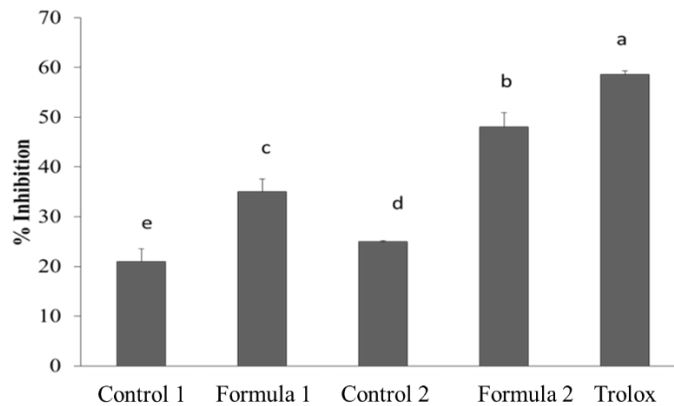


Figure 2 The %inhibition of soy drinking yogurt by DPPH radical scavenging assay. (Control 1, Formula 1 and Control 2, Formula 2 and Trolox (0.06 mg/ml)

Data express as mean $\pm$ SD (n=3)

Mean values with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

ผลของการตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มถั่วเหลืองเสริมด้วยลูกหว่าจากการหมัก 4 ชั่วโมง (Figure 2) ของทั้ง 4 สูตร คือ Control 1, Formula 1, Control 2 และ Formula 2 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่ายับยั้งเท่ากับ 21.01 ± 2.50 , 35.00 ± 0.26 , 25.00 ± 2.53 และ 48.07 ± 2.87 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณลูกหว่าเป็น 60 กรัม ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงขึ้น ดังนั้นการผลิตนมเปรี้ยวจากนมถั่วเหลืองที่เสริมด้วยลูกหว่านั้นได้นำส่วนที่หมักจากโยเกิร์ตมาทำการเจือจาง 1:1 ผลคือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง อย่างไรก็ตามยังพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 4 นอกจากนั้นสีของแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในน้ำลูกหว่าจะเปลี่ยนไปตามพีเอชของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ [9] ซึ่งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงอาจจะเกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในการหมักโยเกิร์ตโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น และค่าพีเอชที่ลดลง

4. สรุป

จากการหมักโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองน้ำลูกหว่าชนิดคงตัว โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 0 ถึง 6 ชั่วโมง พบว่าชั่วโมงที่ 4 ของการหมักจะมีคุณสมบัติทางเคมี และจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มที่เสริมด้วยน้ำลูกหว่าโดยการเจือจาง 1:1 พบว่าสูตรที่เติมน้ำลูกหว่าทั้ง 2 สูตร (Formula 1 และ Formula 2) ให้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระที่สูงและยังคงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีจนสิ้นสุดกระบวนการหมักเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติม โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระจากโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองพร้อมดื่มน้ำลูกหว่า ทั้งสองสูตรพบว่าสูตร Formula 2 มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสูตร Formula 1 เนื่องจากสูตร Formula 2 มีปริมาณน้ำลูกหว่า 60 กรัม ในขณะที่สูตร Formula 1 มีปริมาณน้ำลูกหว่า 40 กรัม เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 4 สูตรของโยเกิร์ตถั่วเหลืองพร้อมดื่มพบว่า เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสารอนุมูลอิสระบางส่วนได้มาจากนํ้านมถั่วเหลือง คือสารไอโซฟลาโวนส์ ในส่วนของลูกหว่านั้นพบสารแอนโทไซยานิน คือสารสีม่วง ดังนั้นจากงานวิจัยการพัฒนาโยเกิร์ตพร้อมดื่มถั่วเหลืองน้ำลูกหว่าเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันที่เสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและได้สารไอโซฟลาโวนส์จากถั่วเหลืองได้อย่างดียิ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุนัดดา โยมญาติ. 2557. โยเกิร์ต (YOGHURT). สาขาชีววิทยา. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://biology.ipst.ac.th/?p=987> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2563).
- [2] Shoria, A. B. 2013. Antioxidant activity and viability of lactic acid bacteria in soybean-yogurt made from cow and camel milk. J. TAIBAH. UNIV. SCI. 7: 202–208.
- [3] Iwasaki, M., Inoue, M., Otani, T., Sasazuki, S., Kurahashi, N., Miura, T., Yamamoto, S. and Tsugane S. 2008. Plasma Isoflavone Level and Subsequent Risk of Breast Cancer Among Japanese Women: A Nested Case-Control Study From the Japan Public Health Center-Based Prospective Study Group. J. Clin. Oncol. 26:1677-1683.
- [4] สุวิชา ดีหะสิงห์. 2550. การสกัดและการทำให้สารแอนโธไซยานินในลูกหว้าบริสุทธิ์. ปัญหาพิเศษ เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป).
- [5] ลือชัย บุตุคุป. 2555. ไวน์ลูกหว้า: คุณค่าผลไม้ป่าอีสาน. สารวิจัยเพื่อชุมชน, 83-89.
- [6] AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- [7] ปิ่นมณี ขวัญเมือง. 2550. การผลิตนมถั่วเหลืองหมักด้วยกล้ายเชื้อ *Lactobacillus pentosus* และ *Saccharomyces cerevisiae*. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 30 ม.ค.– 2 ก.พ. 2550. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร หน้า 1–9.
- [8] วรณภา ทาบโลกา. น้ำผึ้ง อ่อนบึง และพนารัตน์ กงถัน. (2554). การพัฒนานมถั่วเหลืองสำหรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลือง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 1-4 ก.พ. 2554. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี. หน้า 581-588.
- [9] ฉวีวรรณ จันทรวงศ์ และ บุศกรณ์มหาโยธี. (2531). การศึกษาเสถียรภาพของรงควัตถุแอนโธไซยานินสีย้อมน้ำกระเจี๊ยบแดง. โครงการวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคและการจัดการโรคสัตว์น้ำของเกษตรกร
ในพื้นที่ภาคใต้และภาคกลางของประเทศไทย
Risk-factors and Management of Aquatic Diseases of Farmers
in South and Central Region of Thailand

พรพิมล พิมลรัตน์^{1*}, พัชราราลัย ศรียะศักดิ์² และ สุพันธุ์ณี สุวรรณภักดี²
Pornpimol Pimolrat^{1*}, Patcharawalai Sriyasak² and Supanee Suwanpakdee²

¹ สาขาวิชาการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร ตำบลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร 86170

² สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160

¹ Department of Coastal Aquaculture, Faculty of Maejo University at Chumphon, Lamae, Chumphon

² Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon

*Corresponding author: พรพิมล พิมลรัตน์, e-mail address: paqua50@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการเกิดโรคและวิธีการจัดการโรคสัตว์น้ำของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในภาคใต้และภาคกลางที่ทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล (กึ่งกุลาดำ/กึ่งขาวแวนนาไม) (ร้อยละ 36.5) ปลานิล (ร้อยละ 29.3) ปลาดุก (ร้อยละ 20.1) ปลาหมอ (ร้อยละ 8.4) และปลากะพงขาว (ร้อยละ 5.7) โดยใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม 2561 พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (77.2%) อายุเฉลี่ย 43.3 ± 12.6 ปี เกษตรกรบางส่วนประสบปัญหาเรื่องน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม (14% และ 6.7% ตามลำดับ) เดือนที่เสี่ยงได้รับความเสียหายจากโรคสัตว์น้ำมากที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน (84.2%) รองมาได้แก่เดือนเมษายน (54.9%) และเดือนธันวาคม (39.7%) สำหรับสาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำ เกษตรกรคิดว่าเกิดจากโรคระบาดในสัตว์น้ำมากที่สุด (71.0%) รองลงมาได้แก่สาเหตุจากสภาพอากาศที่แปรปรวน (46.4%) ลักษณะอาการของกุ้งทะเลที่เป็นโรค ที่พบได้แก่ วายน้ำผิดปกติ ผลตามลำตัว เหงือกสีผิดปกติ ตัวแดง มีจุดขาว และเปลือกนิ่ม สำหรับอาการที่พบในปลา ได้แก่ มีแผลตามผิวหนัง มีจุดเลือดตามลำตัว ครีบร่อน ท้องบวม และตาโปน เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีลดปริมาณอาหาร แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก ปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ใช้เกลือ ด่างทับทิม และยาปฏิชีวนะในการรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรค เพื่อดูแลสัตว์น้ำที่เป็นโรคในเบื้องต้น

คำสำคัญ: การจัดการ, โรคสัตว์น้ำ, ปัจจัยเสี่ยง, ฟาร์มสัตว์น้ำ

Abstract

This study investigated the diseases and diseases management of fish farmer in the south and central region of Thailand, with shrimp farm (giant tiger shrimp/ pacific white shrimp) (36.5%), Nile Tilapia (29.3%), catfish (20.1%), climbing perch (8.4%) and giant sea perch (5.7%). Fish farmers were interviewed using the questionnaire during February to August 2018. The result showed that most of farmer was male (77.2%), mean age was 43.3 ± 12.6 years. Some farmer suffered lag of water for aquaculture during April to May (14% and 6.7%, respectively). The risk of the loss product from fish diseases was in November (84.2%), followed with April (54.9%) and December (39.7%). The farmer believed that fish diseases were caused by the pathogens (71.0%) and weather variation (46.4%). The clinical sign of infected shrimp were abnormal swimming, lesions on skin, abnormal gill colour, the red body, white spot and soft shell. The clinical sign of infected fish were lesions on skin, haemorrhage, fin rot, swollen and exophthalmia. As diseases outbreaks treatment, most farmer reduced fish feeding, removed infected fish, improved the water quality, used salt, used potassium permanganate and used antibiotic for the basic fish diseases treatment.

Keywords: Management, Aquatic diseases, Risk factor, Aquaculture farm

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณสัตว์น้ำที่จับจากธรรมชาติลดน้อยลง เนื่องจากสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลง ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญในการผลิตสัตว์น้ำเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค พื้นที่และจำนวนฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในทั่วทุกภาคของประเทศไทย สำหรับพื้นที่ภาคใต้และภาคกลางของประเทศไทยเกษตรกรนิยมเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิด ได้แก่ กุ้งทะเล ปลานิล ปลาดุก ปลากระพง เป็นต้น [1] ซึ่งเป็นอาชีพที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรอย่างต่อเนื่อง แต่บางครั้งการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น (Intensive aquaculture) มักจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจากของเสียและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น [2] ที่ผ่านมามีเกษตรกรส่วนใหญ่ประสบปัญหาโรคสัตว์น้ำมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากคุณภาพน้ำขาดออกซิเจน น้ำเสีย สารเคมีจากการเกษตร สภาพอากาศแปรปรวน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว คุณภาพลูกพันธุ์ และปรสิตสัตว์น้ำ สาเหตุดังกล่าวนี้ส่งผลให้สัตว์น้ำมีสุขภาพอ่อนแอ ไม่กินอาหาร และก่อให้เกิดโรค [3; 4] ทำให้เกษตรกรต้องเผชิญความเสี่ยงความเสียหายและภาวะขาดทุนจากปัญหาดังกล่าว ซึ่งเกษตรกรจะมีวิธีการจัดการ การรักษา การป้องกัน และการรับมือที่แตกต่างกันออกไป ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องวิธีการจัดการโรคสัตว์น้ำยังมีไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดโรคและวิธีการจัดการโรคสัตว์น้ำของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในภาคใต้และภาคกลางในรอบปี พ.ศ. 2560 เพื่อนำข้อมูลการเกิดโรค วิธีการรักษา แนวทางการป้องกัน และการรับมือโรคสัตว์น้ำที่ได้เป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการวางแผนการจัดการโรคสัตว์น้ำสำหรับเกษตรกรต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษานี้เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล แบบสัมภาษณ์ประกอบด้วยคำถามแบบปลายเปิดและคำถามแบบปลายปิด ในด้านข้อมูลทั่วไป ชนิดสัตว์น้ำที่เลี้ยง ลักษณะการเกิดโรค รวมถึงวิธีการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรคในรอบปี พ.ศ. 2560 โดยทำการเก็บข้อมูลจากเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ภาคใต้และภาคกลาง ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) จำนวน 263 ราย (Table 1) ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนสิงหาคม 2561

Table 1 Number of Province that collected data (percentage)

Region	จำนวน	ร้อยละ
Southern		
Chumphon	108	41.1
Surat Thani	23	8.7
Phetchaburi	15	5.7
Prachuap Khiri Khan	14	5.3
Songkhla	13	4.9
Ranong	12	4.6
Trang	8	3.0
Phang Nga	8	3.0
Satun	7	2.7
Central		
Nakhon Pathom	20	7.6
Bangkok	12	4.6
Kanchanaburi	8	3.0
Nakhon Sawan	8	3.0
Suphan Buri	7	2.7
Total	263	100

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลตามหลักสถิติโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistic) ได้แก่ ร้อยละ ในข้อมูลเพศ ระดับการศึกษา รายได้ ชนิดสัตว์น้ำ ข้อมูลสาเหตุการเกิดโรค ลักษณะอาการของโรค และวิธีการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรค สำหรับอายุวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (77.2%) อายุเฉลี่ย 43.3 ± 12.6 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี 102 ราย (38.6%) รองมาได้แก่ระดับประถมศึกษา 76 ราย (29.1%) ระดับมัธยมปลาย 54 ราย (20.7%) มัธยมต้น 24 ราย (9.1%) และสูงกว่าระดับปริญญาตรี 7 ราย (2.5%) สำหรับรายได้ของครัวเรือนพบว่าส่วนใหญ่มีรายได้มากกว่า 30,000 บาท/เดือน (35.8%) รองลงมาได้แก่ มีรายได้ 10,001-15,000 บาท (26.0%) รายได้ 20,001-30,000 บาท (12.3%) รายได้ 15,001-20,000 บาท (11.5%) รายได้ 5,001-10,000 บาท (9.8%) และรายได้น้อยกว่า 5,000 บาท (4.6%)

จากการสำรวจเกษตรกรส่วนใหญ่ในการศึกษาร้านนี้เลี้ยงกุ้งทะเล (กุ้งกุลาดำ/กุ้งขาวแวนนาไม) รองลงมาได้แก่ ปลานิล ปลาดุก ปลาหมอ และปลากะพงขาว ตามลำดับ (Figure 1) เกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับการรับรองมาตรฐาน Good aquaculture practice (GAP) คิดเป็น 67.7% ได้รับการรับรองมาตรฐาน Code of Conduct (CoC) คิดเป็น 15.6% และได้รับการรับรองมาตรฐาน safety level คิดเป็น 7.3% และยังไม่ได้รับมาตรฐานฟาร์มจากกรมประมง คิดเป็น 9.4%

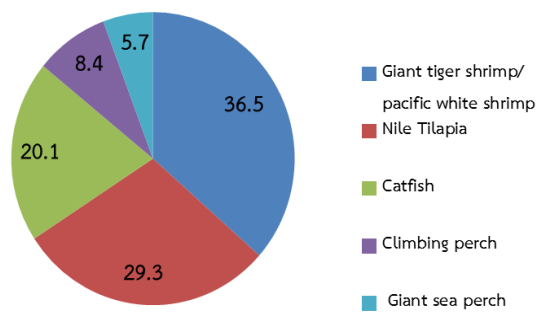


Figure 1 Species of aquatic animal in aquaculture farm (percentage)

3.2 ข้อมูลโรคสัตว์น้ำ

เกษตรกรบางส่วนประสบปัญหาเรื่องน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม (14% และ 6.7% ตามลำดับ) และเกษตรกรส่วนใหญ่พบปัญหาโรคสัตว์น้ำมาตลอดในช่วงระยะเวลาการเลี้ยงสัตว์น้ำ (95.8%) โดยเดือนที่เสียหายน้อยที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน (84.2%) รองลงมาได้แก่เดือนเมษายน (54.9%) และเดือนธันวาคม (39.7%) นอกจากนี้ยังพบว่าเกษตรกรมีโอกาสเสี่ยงที่ได้รับความเสียหายจากโรคสัตว์น้ำในทุกเดือนของการเลี้ยงสัตว์น้ำ (57.8%)

3.2.1 สาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำ

สำหรับสาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เกษตรกรส่วนใหญ่คิดว่าโรคระบาดในสัตว์น้ำเป็นสาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำมากที่สุด (71.0%) รองลงมาได้แก่สาเหตุจากสภาพอากาศที่แปรปรวน (46.4%) เมื่อแยกตามชนิดของสัตว์น้ำ พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ/กุ้งขาวแวนนาไมคิดว่าโรคระบาดในสัตว์น้ำเป็นสาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำมากที่สุด (72.9%) รองลงมาได้แก่สาเหตุจากสภาพอากาศที่แปรปรวน (44.8%) ลูกพันธุ์ไม่แข็งแรง (43.8%) และน้ำเสีย (33.3%) ตามลำดับ เกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลคิดว่าโรคระบาดเป็นสาเหตุมากที่สุด (66.2%) รองลงมาได้แก่สภาพอากาศที่แปรปรวน (53.2%) น้ำเสีย (49.4%) และการปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่น (44.2%) เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาดุกคิดว่าโรคระบาดเป็นสาเหตุมากที่สุด (67.9%) รองลงมาได้แก่สภาพอากาศที่แปรปรวน (41.5%) ปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่น (35.8%) และน้ำเสีย (32.1%) เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาหมอคิดว่าโรคระบาดเป็นสาเหตุมากที่สุด (68.2%) รองลงมาได้แก่สภาพอากาศที่แปรปรวน (59.1%) ปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่น (36.4%) และน้ำเสีย (31.8%) และเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงคิดว่าโรคระบาดเป็นสาเหตุมากที่สุด (80%) รองลงมาได้แก่น้ำเสีย (60%) และสาเหตุจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่น และลูกพันธุ์ไม่แข็งแรง (33.3%) (Figure 2)

การเกิดโรคในสัตว์น้ำของฟาร์มที่ทำการศึกษานั้นส่วนใหญ่จะมีสาเหตุหลักมาจากโรคระบาด ซึ่งพบการเกิดโรคสัตว์น้ำมากในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิอากาศต่ำ และเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่อุณหภูมิอากาศสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Bett และคณะ ที่กล่าวว่าเชื้อโรคจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [5] ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Main และคณะ ที่พบว่าปลาชนิดนี้มีอัตราการตายจากเชื้อ *Streptococcus* sp. มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 26°C [6] นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังส่งผลต่อการพัฒนาระยะตัวอ่อนของเชื้อปรสิต ทำให้เชื้อปรสิตเข้าสู่ระยะ free living และเข้าเกาะในสัตว์น้ำ [7] อีกทั้งในช่วงฤดูร้อนน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำ ปริมาณแอมโมเนียที่สูงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการระบาดของโรคปลาได้ [8] สำหรับในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคสัตว์น้ำ เนื่องจากปลาจะกินอาหารลดลงหรือไม่กินอาหารในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำ ส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันของปลาลดลง ส่งผลต่อสุขภาพและเกิดการติดเชื้อโรคได้ง่าย [4; 9]

สาเหตุรองลงมาของการเกิดโรคในสัตว์น้ำของฟาร์มที่ทำการศึกษาเกษตรกรคิดว่าเกิดจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamdan และคณะ ที่พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิส่งผลต่อการสูญเสียในการเลี้ยงสัตว์น้ำมากกว่าช่วงฤดูฝน [10] การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงนั้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดความเสียหายต่อฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ [3] อุณหภูมิของน้ำจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลผลิตสัตว์น้ำ [11] การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะส่งผลต่อการกินอาหาร แร่ธาตุ และการเจริญเติบโต เนื่องจากสัตว์น้ำต้องเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึม ปฏิกริยาทางเคมี และการใช้ออกซิเจนเป็นสองเท่า [12] สภาพอากาศที่แปรปรวนจะส่งผลให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สัตว์น้ำมีอาการเครียดและเกิดโรคในที่สุด [3;4;13]

สาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำที่รองจากสภาพอากาศแปรปรวนได้แก่การสูญเสียและการปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่น (Figure 2) การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น จะมีปริมาณของเสียที่ขับถ่ายจากสัตว์น้ำและเศษอาหารที่เหลือในบ่อมาก ส่งผลต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคือทำให้มีออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำและปริมาณแอมโมเนียสูง เนื่องจากการใช้ออกซิเจนในการหายใจของสัตว์น้ำและใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อ ส่งผลให้สัตว์น้ำเครียดและเกิดโรค [2;3]

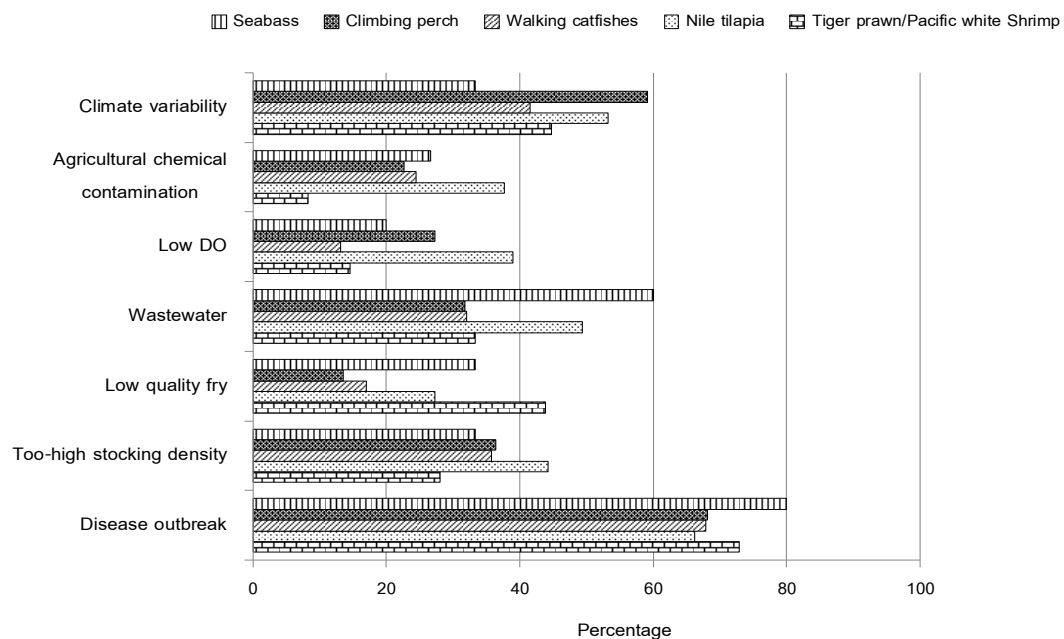


Figure 2 Commonly attributed causes of aquatic disease.

3.2.2 ลักษณะของสัตว์น้ำที่เป็นโรค

ลักษณะของสัตว์น้ำที่เป็นโรคจะมีการแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสัตว์น้ำ สำหรับกุ้งกุลาดำ/กุ้งขาวแวนนาไม อาการที่พบได้แก่ ว่ายน้ำผิดปกติ แผลตามลำตัว เหงือกสีผิดปกติ ตัวแดง มีจุดขาว และเปลือกนิ่ม จากการศึกษาของชัยวุฒิและคณะ [14] พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดินตั้งแต่ช่วงเดือนแรกของการเลี้ยงเป็นต้นไปจะพบเชื้อแบคทีเรียวิบริโอจำนวน 6 ชนิดจากดับ/ดับอ่อน ลำไส้ และเลือด ส่วนการเลี้ยงในช่วงเดือนที่ 2 เป็นต้นไปจะพบปรสิตภายนอกคือ กลุ่มโปรโตซัว ชนิด

Zoothamnium sp. บริเวณเหงือก ขาววายน้ำ และหาง หากคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมจะทำให้กุ้งไม่อ่อนแอและสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ โดยกุ้งจะมีการปกติตลอดการเลี้ยง

ปลานิลอาการที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ ว่ายน้ำผิดปกติ (63.6%) แผลที่ผิวหนัง (41.6%) เหงือกซีด (41.6%) และตาโปน (39%) โรคที่พบในปลานิลเกิดได้ทั้งจากปรสิต แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา โดยปลาที่มีปรสิตเกาะจะมีการว่ายน้ำกระวนกระวาย พลิกตัวไปมา หรือมีการใช้ลำตัวสีนังบ่อ [8] สำหรับปลาที่เป็นโรคสเตรปโทคอกคัสจะพบมีเลือดคั่งทั่วไปตามลำตัว โดยเฉพาะบริเวณครีบ ลักษณะตาโปนที่เกิดจากการอักเสบของเยื่อตาและกระจกตา [15]

ปลาดุกอาการที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ เป็นแผลที่ผิวหนัง (60.4%) ว่ายน้ำผิดปกติ (43.3%) ครีบกร่อน (32.1%) มีจุดเลือดตามลำตัว และท้องบวม (30.2%) สำหรับปลาหมออาการที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ แผลที่ผิวหนัง (68.2%) ว่ายน้ำผิดปกติ (59.1%) ครีบกร่อน (50%) และมีจุดเลือดตามลำตัว (40.9%) ส่วนปลากะพงขาวอาการที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ ว่ายน้ำผิดปกติ (93.3%) แผลที่ผิวหนัง (73.3%) และเหงือกซีด (60%) (Figure 3) อาการของปลาที่ติดเชื้อแบคทีเรียจะมีแผลตามผิวหนัง มีจุดเลือดตามลำตัว ครีบกร่อน ท้องบวม และตาโปน [2; 16; 17; 18; 19; 20]

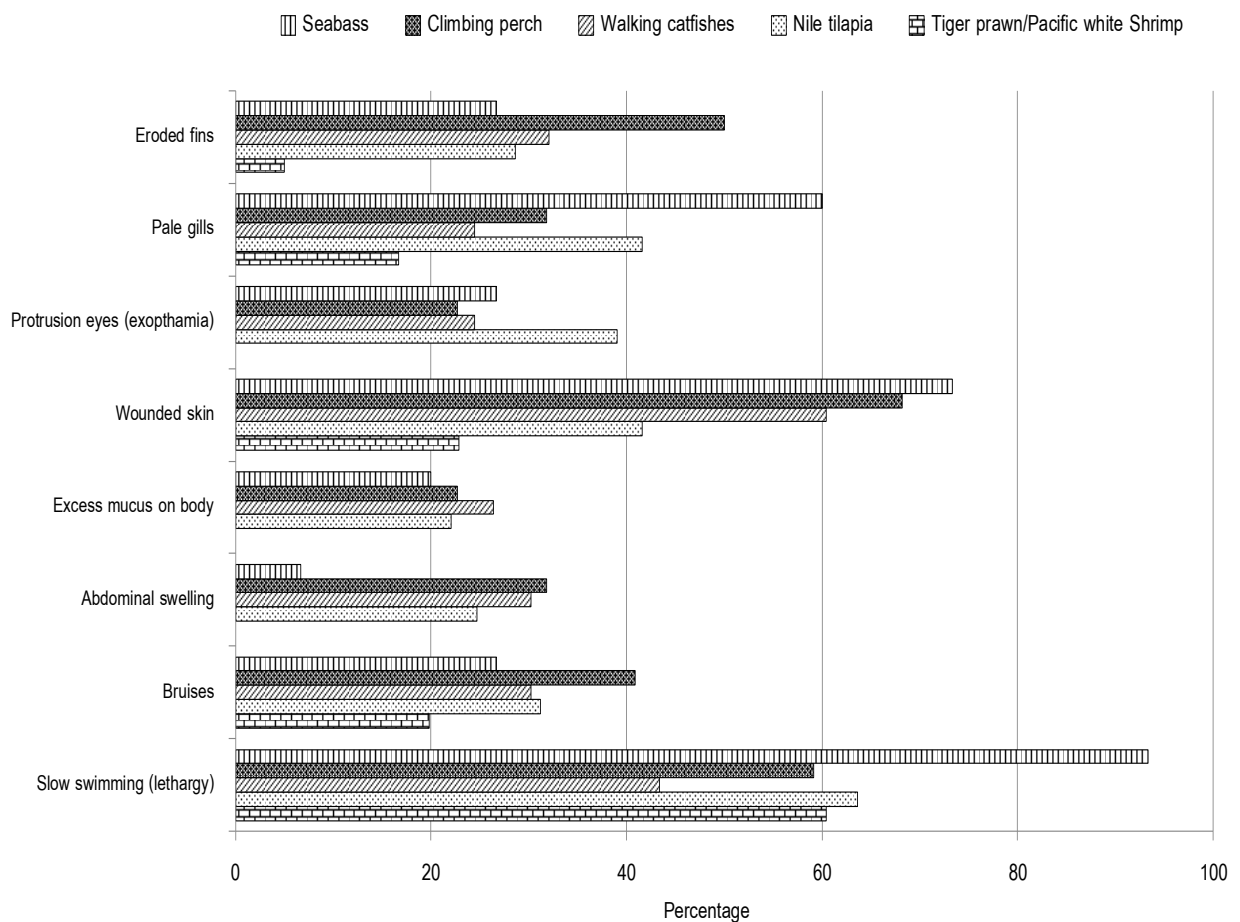


Figure 3 Prevalence of common clinical signs of aquatic disease.

3.2.3 วิธีการดูแลรักษาสัตว์น้ำ

วิธีการที่เกษตรกรใช้ในการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรคจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ/กุ้งขาวแวนนาไมจะใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมากที่สุด (62.5%) รองลงมาได้แก่ ลดปริมาณอาหาร (62.5%) ให้อากาศ (62.5%) และใช้จุลินทรีย์ EM (62.5%) ตามลำดับ สำหรับปลานิลเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีแยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก (68.8%) ลดปริมาณอาหาร (58.4%) ปรับปรุงคุณภาพน้ำ (54.5%) ลดความหนาแน่นของสัตว์น้ำ (51.9%) และ ใส่เกลือ (50.6%) ปลาดุกเกษตรกรใช้วิธีแยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก (64.2%) ลดปริมาณอาหาร (52.8%) และลดความหนาแน่นของสัตว์น้ำ (51.9%) ปลาหมอใช้วิธีลดปริมาณอาหาร (59.1%) ใส่เกลือ (59.1%) แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก (54.5%) และปรับปรุงคุณภาพน้ำ (54.5%) และปลากะพง

ชาวใช้วิธีลดปริมาณอาหาร (66.7%) ใช้จุลินทรีย์ EM (60.0%) แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก (53.3%) และให้อากาศ (53.3%) (Figure 4) สำหรับวิธีกำจัดสัตว์น้ำที่เป็นโรค เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำทุกชนิดส่วนใหญ่จะกำจัดโดยวิธีนำไปฝังดิน และนำไปทำปุ๋ย

เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีลดปริมาณอาหาร แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก และปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น เพื่อดูแลสัตว์น้ำที่เป็นโรคในเบื้องต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เกลือ ด่างทับทิม และยาปฏิชีวนะในการรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรคอีกด้วย ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจทำให้การดูแลสุขภาพสัตว์น้ำที่เป็นโรคเบื้องต้น ยกเว้นการใช้ยาปฏิชีวนะโดยไม่ทราบชนิดของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจทำให้การรักษาไม่ได้ผลเท่าที่ควร และอาจทำให้เกิดการดื้อยาของเชื้อโรคในสัตว์น้ำได้ สอดคล้องการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เรียนรู้เกี่ยวกับการรักษาโรคของปลาด้วยตัวเองและไม่รู้จักชนิดของยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการรักษาโรค ได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานราชการน้อยมาก ทำให้การรักษาอาจไม่ตรงตามโรค ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก [21; 22; 23]

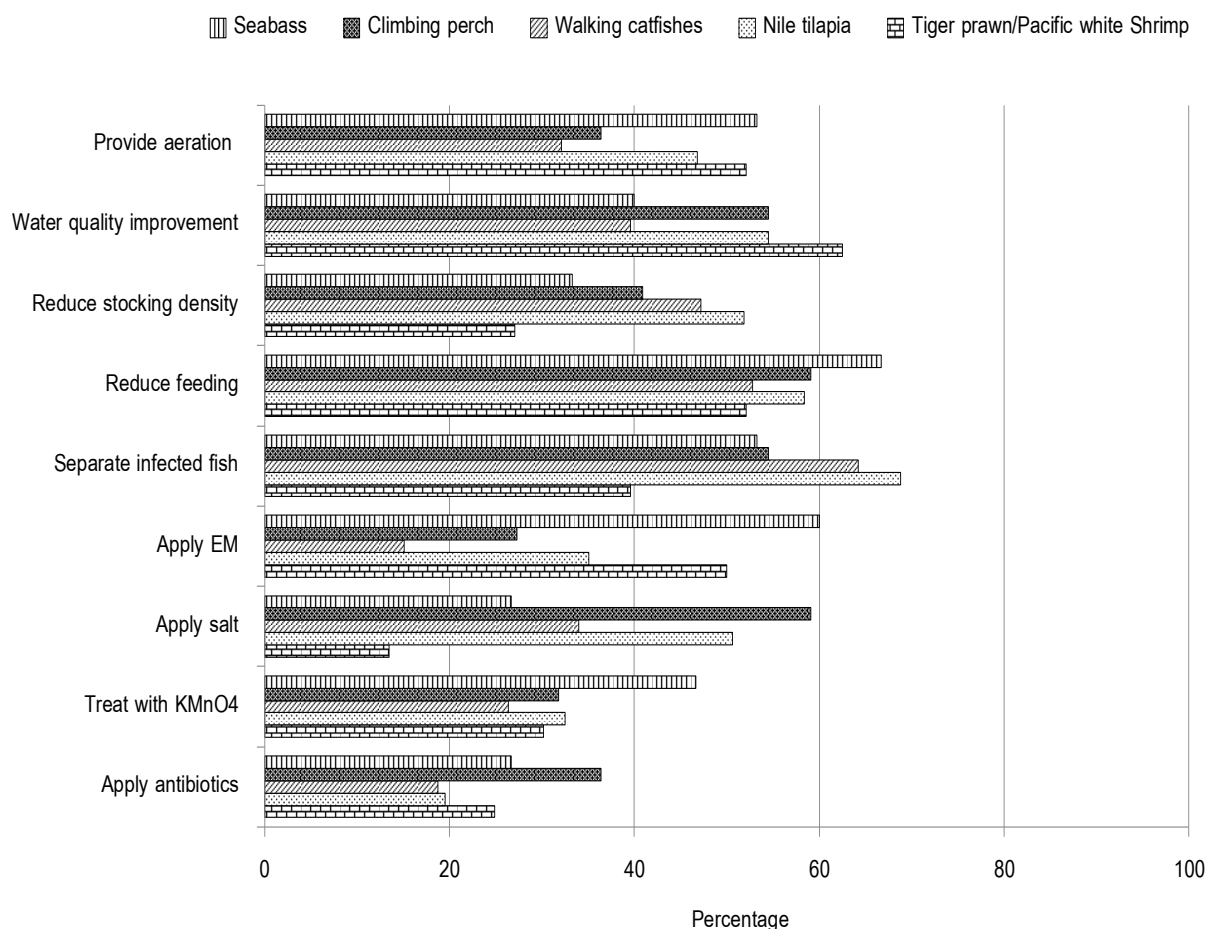


Figure 4 Common methods for managing disease on aquatic disease.

4. สรุป

การศึกษาการเกิดโรคและวิธีการจัดการโรคสัตว์น้ำของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในภาคใต้และภาคกลางที่ทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล (กุ้งกุลาดำ/กุ้งขาวแวนนาไม) ปลานิล ปลาดุก ปลาหมอ และปลากะพงขาว ในครั้งนี้ พบว่า เกษตรกรประสบปัญหาเรื่องน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม และเดือนที่เสี่ยงได้รับความเสียหายจากโรคสัตว์น้ำมากที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน เดือนเมษายน และเดือนธันวาคม เกษตรกรส่วนใหญ่คิดว่าสาเหตุของการเกิดโรคสัตว์น้ำมากที่สุดได้แก่ โรคระบาด รองลงมาคือสภาพอากาศที่แปรปรวน อุณหภูมิที่ไม่แข็งแรง และการปล่อยสัตว์น้ำที่หนาแน่นเกินไป ลักษณะอาการของกุ้งทะเลที่เป็นโรค คือว่ายน้ำผิดปกติ ผลตามลำตัว เหงือกสีผิดปกติ ตัวแดง มีจุดขาว และเปลือกนิ่ม สำหรับอาการส่วนใหญ่ที่พบในปลา ได้แก่ มีแผลตามผิวหนัง มีจุดเลือดตามลำตัว ครีบกร่อน ท้องบวม และตาโปน ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย

เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีลดปริมาณอาหาร แยกสัตว์น้ำที่เป็นโรคออก ปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น และมีการใช้เกลือ ต่างทับทิม และยาปฏิชีวนะในการรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรค เพื่อดูแลสัตว์น้ำที่เป็นโรคในเบื้องต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรคเบื้องต้น ยกเว้นการใช้ยาปฏิชีวนะโดยไม่ทราบชนิดของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจทำให้การรักษาไม่ได้ผลเท่าที่ควร และอาจทำให้เกิดการดื้อยาของเชื้อโรคในสัตว์น้ำได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมประมง. 2558. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2556. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/_webold/images/stories/freshwater/freshwater_2556.pdf (เข้าถึงเมื่อ 26 ตุลาคม 2562)
- [2] ชาญณรงค์ รอดคำ. 2550. โรคสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย. การประชุมวิชาการทางสัตวแพทย์ และการเลี้ยงสัตว์ครั้งที่ 33 โรงแรมโซฟิเทล เซ็นทาราแกรนด์กรุงเทพฯ 31 ตุลาคม - 2 พฤศจิกายน 2550. หน้า 319-326.
- [3] ประพันธ์ศักดิ์ ศิริษะภูมิ ปณรัตน์ ผาดี เขียวรัตน์ ศรีวรรณท์ อัจฉรา จุฑาเกตุ ญัฏฐา นิธิกุลวรวงศ์ และอิสริยา วุฒิสินธุ์. 2559. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การศึกษาและประเมินผลกระทบของปัจจัยเสี่ยงที่มีบทบาทต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ของประเทศไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 802 หน้า.
- [4] Svobodova, Z., Machova, J., Kroupova, K.H. and J. Velisek. 2017. Water Quality–Disease Relationship on Commercial Fish Farms. In *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*. United Kingdom, London, Academic Press. pp. 167-185.
- [5] Bett, B, P. Kiungaa, J. Gachohi, C. Sindato, D. Mbotha, T. Robinson, J. Lindahl and D. Gracea. 2017. Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine* (137): 119-129.
- [6] Mian, G. F., Godoy, D. T., Leal, C. A. G., Yuhara, T. Y., Costa, G. M., & Figueiredo, H. C. P. 2009. Aspects of the natural history and virulence of *S. agalactiae* infection in Nile tilapia. *Veterinary Microbiology* 136 (1-2): 180-183.
- [7] Kim, M.-K., Pyo, K.-H., Hwang, Y.-S., Park, K.H., Hwang, I.G., Chai, J.-Y., Shin, E.-H., 2012. Effect of temperature on embryonation of ascaris suum eggs in an environmental chamber. *Korean J. Parasitol.* (50): 239–242.
- [8] ชนกันต์ จิตมนัส. 2556. โรคปลานิล. *เชียงใหม่สัตวแพทยสาร* 11(1): 75-86.
- [9] พัชรพล ศิริศักดิ์ นิวุฒิ หวังชัย ชนกันต์ จิตมนัส จงกล พรหมยะ และหลุยส์ เลอเบล. 2014. ผลกระทบจากสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ. *Khon Kaen University Research Journal*. 19 (5) 743-751.
- [10] Hamdan, R., Kari, F. and A. Othman. 2011. Climate Variability and Socioeconomic Vulnerability of Aquaculture Farmers in Malaysia. *International Conference on Business and Economics Research*. Vol.16. IACSIT Press, Singapore.
- [11] Kutty, M. N. 1987. Site selection for aquaculture: climatic factors. Paper presented at African Regional Aquaculture Centre, Port Harcourt, Nigeria. From <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC171E/AC171E00.HTM> (Retrieved on July 21, 2018).
- [12] Tidwell, J. H., Coyle, S. D., Evans, J., Weibel, C., McKinney, J., Dodson, K. and H. Jones. 1999. Effect of culture temperature on growth, survival and biochemical composition of Yellow Perch *Perca flavescens*. *Journal of the World Aquaculture Society* 30(3): 324-330.
- [13] Hamed, S., Ranzani-Paiva, M., Tachibana, L., Dias, D., Ishikawa, C. and M. Esteban. 2018. Fish pathogen bacteria: Adhesion, parameters influencing virulence and interaction with host cells. *Fish and Shellfish Immunology* 80: 550–562.
- [14] ชัยวุฒิ สุตทองคง จิตาพร นิวิศักดิ์ และลิลลา เรืองแป้น. 2550. ปริมาณและปริมาณแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในกุ้งขาวแวนนาไม, *Penaeus vannamei* ที่เลี้ยงในบ่อดิน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 45. กรุงเทพฯ 30 ม.ค. - 2 ก.พ. 2550. หน้า 280-292.
- [15] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2553. การชันสูตรโรคสเตรปโตคอกคัสในปลานิล. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 40 หน้า.

- [16] สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ วรณิศา แสนโคตร ไตรมาส บุญไทย และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2553. ความหลากหลายของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟทั้งหมด ในปลาดุกอัมพริกัน (*Clarias gariepinus*) ที่เพาะเลี้ยงในจังหวัดฉะเชิงเทรา. NU Science Journal 7(1): 102 – 113.
- [17] ทศนีย์ นลวชัย และ จิตรา ดวงแก้ว. 2559. ผลของสารสกัดสมุนไพรไทยต่อการยับยั้งเจริญเติบโตของเชื้อ *Aeromonas hydrophila*. แก่นเกษตร 44 (ฉบับพิเศษ 1):124-129.
- [18] ชูติมา ถนอมสิทธิ์ และกฤติมา เสาวกุล. 2560. โรคสเตรปโตคอคโคซิส: กรณีศึกษาในปลาเศรษฐกิจ. วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร 39(2): 1-12.
- [19] จาตุรนต์ ป้องน้ำไผ่ และ ชนกนัต จิตมนัส. 2560. โรคคอกลิมนาริสในปลา. เชียงใหม่สัตวแพทยสาร 15(2): 63-78.
- [20] Mateus, A., Power, D. and A. Canário. 2017. Stress and Disease in Fish. In Fish Diseases: Prevention and Control Strategies. United Kingdom, London, Academic Press. pp. 187-219.
- [21] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. เศรษฐกิจการผลิตและการตลาดปลากะพงขาวในกระชัง. เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 106. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 53 หน้า.
- [22] Khoi, L., J. Wijngaard and C. Lutz. 2008. Farming system practices of seafood production in Vietnam: The case study of Pangasius small-scale farming in the Mekong River Delta. Vol. 27, ASEAN Business Case Studies. Antwerp, Belgium: Center for ASEAN studies.
- [23] Chitmanata, C., Lebel, P., Whangchai, N., Promya, J. and L. Lebel. 2016. Tilapia diseases and management in river-based cage aquaculture in Northern Thailand. Journal of applied aquaculture 28(1): 1–8.

ผลของวิธีการเตรียมโจ๊กข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป Effect of Rice Porridge Preparation on Physical Properties of Instant Porridge from Organic Rice

ชมภูณูช ข้องลา^{1*} สุมาลี มุสิก¹ จิรายุส วรรัตน์โกศา¹ เพลงพิน เพียรภูมิพงศ์² อาทิตย์ อัสวสุชี³ และ ดุษฎี เทียมเทศ บุญมาสูงทรง⁴

Chompoonuch Khongla^{1*}, Sumalee Musika¹, Jirayus Woraratphoka¹

Plengpin Pienpoompong², Artit Ausavasukhi³ and Dusadee Teimtes Boonmasongsung⁴

¹ สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีราชภัฏรำไพพรรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

² สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

³ สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีราชภัฏรำไพพรรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

⁴ สาขาวิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

¹ Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

² Department of Post-Harvest and Processing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

³ Department of Applied Chemistry, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

⁴ Department of Marketing, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

*Corresponding author: ชมภูณูช ข้องลา, e-mail address: chompoonuch.2840@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินผลของวิธีการเตรียมโจ๊กข้าว (วิธีปกติ วิธีกายภาพ วิธีเติมเอนไซม์ วิธีที่เติมเอนไซม์ร่วมกับกายภาพ และวิธีคอมเพล็กซ์กับไขมัน) ต่อสมบัติทางกายภาพ และลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ พบว่า โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมวิธีต่างๆ มีค่าความชื้น และค่าดัชนีการดูดซับน้ำในช่วงร้อยละ 4.58-8.07 และ 0.0929-0.3545 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ยกเว้นโจ๊กที่คอมเพล็กซ์กับไขมัน โจ๊กข้าวที่เตรียมโดยวิธีเติมเอนไซม์ฟูแลนเนสร่วมกับกายภาพ (แช่เย็น 4°C และ แช่แข็ง -20°C) มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำสูงสุดเท่ากับ 8.24 ($p < 0.05$) และมีลักษณะการกระจายของรังสีเอกซ์เรย์ที่แตกต่างจากโจ๊กที่เตรียมโดยวิธีอื่นเล็กน้อย เมื่อตรวจสอบรูปร่างด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีขนาดของอนุภาคไม่แตกต่างกัน คือ อยู่ระหว่าง 100-1,000 ไมโครเมตร และมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มรูปเหลี่ยมที่ไม่มีรูพรุน ดังนั้นเลือกโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีเติมเอนไซม์ฟูแลนเนสร่วมกับกายภาพไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ โดยมีการเติมส่วนผสมแห้งของเนื้อไก่ โปรตีนถั่วเหลือง แครอท พริกทอง ต้นหอม ขิง และกระเทียมอบแห้ง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ทดสอบคุณภาพประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านต่างๆ ในระดับชอบปานกลาง (7.17-7.57 คะแนน) งานวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าการเตรียมโจ๊กโดยวิธีเติมเอนไซม์ฟูแลนเนสร่วมกับวิธีกายภาพสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอาหารกึ่งสำเร็จรูป และผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม

คำสำคัญ: ข้าวอินทรีย์, โจ๊ก, สมบัติทางกายภาพ, เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Abstract

The objectives of this studies were to evaluate the effect of the rice porridge preparation (porridge, physical-porridge, enzyme-porridge, enzyme-physical-porridge, and lipid-complex porridge) on the physical properties and structure of the instant organic rice porridge. Moreover, the instant rice porridge chicken was developed. The results showed that the water content and water activity of all the instant rice porridges were in the range of 4.58-8.07% and 0.0929-0.3545, respectively which according as food regulation and standard of the rice porridge, except for the lipid-complex porridge. The pullulanase enzyme-physical-porridge (chill at 4°C and then freeze at -20°C) was the highest of water absorption index of 8.24 ($p < 0.05$) and exhibited a different of X-ray diffraction pattern as compare to the other porridge. The scanning electron microscope revealed that all the rice porridges has the comparable size which range of 100-1,000 μm and the non- porous crystallinity structure. Therefore, the enzyme-physical-porridge was chosen for development of the instant rice porridge chicken. The dried ingredients of chicken, soy protein, carrot, pumpkin, garlic, ginger, and garlic were added for enhance the nutritional value. The sensory attribute: color, aroma, taste, texture, and overall acceptability of the rice porridges were evaluated by 30 untrained panelists revealed the moderate overall acceptability (score

of 7.17-7.57). These studies indicated that the enzyme-physical-porridge can improve the water absorption index which is an important attribute of instant rice porridge and the product was accepted by panelists.

Keywords: Organic Rice, Porridge, Physical Properties, x-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM)

1. บทนำ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคง ตั้งอยู่ที่ 105/2 หมู่ 9 หมู่บ้านตุ้มม่วง ตำบลหนองมะนาว อำเภอกง จังหวัด นครราชสีมา เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ที่มีโรงสีข้าวชุมชนเป็นกลุ่มที่มีความพร้อมในทุกๆ ด้าน เป็นผู้รับซื้อข้าวเปลือก อินทรีย์จากสมาชิกและเครือข่าย โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นข้าวสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว เพื่อจำหน่ายให้กับผู้บริโภคทั้ง ในและต่างประเทศ คณะผู้วิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานจึงเลือกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทำ วิจัยแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวอินทรีย์ โดยมุ่งเน้นพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว

ในระหว่างกระบวนการสีข้าวมีปลายข้าวเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้น ซึ่งปลายข้าวประกอบด้วยเศษข้าวที่หักและส่วนของจมูก ข้าว มีราคาจำหน่ายที่ต่ำกว่าข้าวเต็มเมล็ด ในส่วนของปลายข้าวยังมีสารอาหารอยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นปลายข้าวจึงเหมาะสมในการ นำมาผลิตเป็นโถงกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปลายข้าว นอกจากนี้ การผลิตโถงกึ่งสำเร็จรูปโดยคำนึงถึงปริมาณแป้งต้านทานย่อย (Resistant starch) จึงเป็นทางเลือกเพื่อสุขภาพแก่ผู้บริโภค ซึ่งกระบวนการนี้อาจสามารถทำได้โดยการทำให้เกิดแป้งต้านทานย่อย ประเภทที่ 3 (Retrograded starch) ซึ่งทำให้แป้งสุกแล้วเกิดการคืนตัวแล้วเกิดโครงร่างของอะมิโลส [1] หรือ การทำให้เกิดแป้ง ต้านทานย่อยแบบที่ 5 (amylose-lipid complex) ซึ่งทำให้แป้งในส่วนอะมิโลสเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับไขมัน [2] ทำให้แป้งเหล่านี้ ชัดขวางการแทรกซึมของเอนไซม์ย่อยแป้งได้

ในกระบวนการผลิตโถงกึ่งสำเร็จรูปต้องผ่านกระบวนการทำแห้ง ซึ่งการทำแห้งโถงทำได้โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือการทำแห้งโดยการอบด้วยลมร้อน การทำแห้งแบบลมร้อนมีข้อดีคือทำได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แต่มี ข้อเสียคือคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การดูดน้ำกลับจะมีค่าต่ำกว่า จึงต้องใช้เวลาในการต้มมากกว่าเพื่อให้โถงดูดน้ำและคืนตัว แต่ อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับศักยภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ คณะผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการทำแห้งโถง โดยใช้ตู้อบแบบลมร้อน และศึกษาวิธีการเตรียมโถงข้าวด้วยวิธีต่าง ๆ (วิธีปกติ วิธีกายภาพ วิธีเติมเอนไซม์ วิธีที่เติมเอนไซม์ร่วมกับ กายภาพ และวิธีคอมเพล็กซ์กับไขมัน) ก่อนการอบแห้งต่อปริมาณแป้งต้านทานการย่อย และคุณสมบัติทางกายภาพโถง รวมทั้ง พัฒนาผลิตภัณฑ์โถงข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ฯ จะได้นำไปพัฒนาเป็น สินค้าที่เป็นอัตลักษณ์ของกลุ่ม และจำหน่ายให้กับผู้บริโภค ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์อีกทางหนึ่ง

2. วิธีการศึกษา

2.1 ศึกษาส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC [3] ในข้าวหักหอม มะลินทรีย์ จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคง ที่ตั้งอยู่ในอำเภอกง จังหวัดนครราชสีมา เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว อินทรีย์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการทำโถงข้าวกึ่งสำเร็จรูป

2.2 วิธีการเตรียมโถงข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป

ซึ่งข้าวหัก 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 7 ลิตร ต้มประมาณ 15-30 นาที อุณหภูมิ 90-100°C จนข้าวสุก จากนั้นทำให้เย็นลงที่ อุณหภูมิ 60 °C โดยการกวนในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นแบ่งโถงที่ได้เป็น 5 ส่วน ส่วนละ 1 กิโลกรัม เพื่อ นำมาทำโถงข้าวกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 5 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 วิธีปกติ (Porridge) นำโถงที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ในตู้อบลมร้อน (Mettler, UF110, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีที่ 2 วิธีกายภาพ (Physical-porridge) นำโถงที่ได้ใส่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นไปแช่ที่ อุณหภูมิ -20 °C ในตู้แช่แข็ง (Sanyo) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30-60 นาที จากนั้นนำโถง ที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีที่ 3 วิธีที่เติมเอนไซม์ (Enzyme-porridge) นำโถงที่ได้มาทำการเติมเอนไซม์ฟูแลนเนส 1 มิลลิกรัมต่อโถง 1 กิโลกรัม (15 unit/g) ทำการกวนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการ ต้มที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 10 นาที เก็บตัวอย่างโถงวิเคราะห์ระดับการย่อยโดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) ด้วยวิธี Phenol sulfuric [4] และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี DNS method [5] ซึ่งระดับการย่อยมีค่าเท่ากับ 4.37% จากนั้นนำโถงที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีที่ 4 วิธีที่เติมเอนไซม์ร่วมกับกายภาพ (Enzyme-physical porridge) นำโจ๊กที่ได้มาทำการเติมเอนไซม์ฟูแลนเนส 1 มิลลิตรต่อโจ๊ก 1 กิโลกรัม (15 unit/g) ทำการกวนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการต้มที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 10 นาที เก็บตัวอย่างโจ๊กวิเคราะห์ระดับการย่อยโดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) ด้วยวิธี Phenol sulfuric [4] และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี DNS method [5] ซึ่งระดับการย่อยมีค่าเท่ากับ 4.37% นำไปใส่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นไปแช่ที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30-60 นาที จากนั้นนำโจ๊กที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีที่ 5 วิธีคอมเพล็กซ์กับไขมัน (Lipid complex-porridge) นำโจ๊กที่ได้มาทำการเติมน้ำมันมะพร้าวสำหรับปรุงอาหาร (ยี่ห้อ Naturel) 1 ช้อนชาต่อโจ๊ก 1 กิโลกรัม นำโจ๊กที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมทั้ง 5 วิธี บดให้ละเอียด เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความชื้น คำนวณอัตรา (a_w) ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย และเปรียบเทียบลักษณะของผงโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีแตกต่างกันโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope และ X-ray diffract meter

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและการตรวจสอบโครงสร้างทางผลึกของโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูป

2.3.1 การวิเคราะห์ความชื้น วิเคราะห์ค่าความชื้นของโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมวิธีต่างๆ ตามวิธีของ AOAC [3] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.3.2 การวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity, a_w) วัดค่า a_w ของโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมวิธีต่างๆ โดยใช้เครื่องวอเตอร์แอคทิวิตี (AQUA LAB 4TE, dew point water activity meter, USA) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.3.3 ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) วัดดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมวิธีต่างๆ ตามวิธีของ Anderson et al. [6] นำโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปมาชั่งน้ำหนักปริมาณ 2.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิตร ทำการเขย่าทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Dynamica, Velocity, Switzerland) ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือน้ำหนัก คำนวณค่าดัชนีการดูดซับน้ำจากสมการด้านล่าง

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)} = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2.3.4 ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึก ด้วยเทคนิค X-ray diffraction บดโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องบดขนาดแบบละเอียด (Planetary Micro Mill Impact Force, FRITSCH - Model PULVERISETTE 7, Germany) จากนั้นนำไปตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึก ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (LabX-XRD-6100, Shimadzu, USA) โดยทำการวัด diffraction pattern ที่มุม 2θ ในช่วง 10-80° สภาวะในการวัดคือ กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมป์ ศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ ความกว้าง slit 1° ความเร็วในการตรวจวัด 0.48°/นาที

2.3.5 การตรวจสอบรูปร่างด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (FEI, QUANTA 250, USA) ที่กำลังขยาย 100, 150 และ 1,000 เท่า

2.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปรสไก่

2.4.1 การเตรียมส่วนผสมแห้ง

การทำแห้งส่วนผสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสโดยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเตรียมส่วนผสมที่ใช้ในการปรุงแต่งผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ ได้แก่ เนื้อไก่ แครอท พริกทอง ต้นหอม ชিং และกระเทียม (Figure 1) โดยแครอทและพริกทองหั่นเป็นลูกเต๋ารูขนาด 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร ส่วนต้นหอมและกระเทียมหั่นให้ได้ขนาด 0.3x0.3x0.5 เซนติเมตร ชিংหั่นให้ได้ขนาด 0.2x1x0.2 เซนติเมตร จากนั้นทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 22-24 ชั่วโมง (ค่าความชื้นแห้งไม่เกิน 7.5% และค่า a_w ไม่เกิน 0.6) [7] นำชিংและกระเทียมอบแห้งมาปั่นให้ละเอียดเป็นผง



Figure 1 Preparation of dried mixture

2.4.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เลือกโจ๊กข้าวกล้องสำเร็จรูปที่มีค่าดัชนีการดูดซึมน้ำสูงสุดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องสำเร็จรูปปรุงรสไก่ โดยเตรียมส่วนผสมตาม Table 1 จากนั้นเติมน้ำสะอาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 7 นาที นำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยประเมินความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ตามวิธีดัดแปลงของ พรพิมล มະยะเฉียว [8]

Table 1 Mixture of instant porridge organic rice with chicken (total 100 g)

Dried mixture	Content (g)
Instant porridge organic rice	84.5
Dried chicken	2.0
Chicken seasoning powder	4.0
Soy protein isolate	2.0
Garlic powder	1.0
Ginger powder	1.0
Dried green onion flake	0.5
Carrot flake	1.0
Pumpkin flake	1.0
salt	3.0

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวหักหอมมะลิอินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีที่พบมากที่สุดในข้าวหักคือ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 85.42 ข้าวหักมีความชื้น ร้อยละ 9.57 และ โปรตีน ร้อยละ 4.43 พบไขมันและเถ้าในปริมาณน้อย (Table 2) โดยปกติข้าวสารมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า และไขมัน ร้อยละ 77-89, 4.5-10.5, 0.3-0.8 และ 0.3-0.5 ตามลำดับ [9] จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียวดำ และข้าวหอมมะลิ พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตตั้งแต่ร้อยละ 85.99 ถึง 86.56 [10] และการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในข้าวเหนียวจากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดอุบลราชธานี โดยพบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.89 [11] ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของข้าวหักหอมมะลิอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

Table 2 Chemical composition of broken rice

Chemical composition	Content (%w.b.)
Moisture	9.57 ± 0.02
Ash	0.31 ± 0.05
Crude fat	0.27 ± 0.02
Crude protein	4.43 ± 0.71
Carbohydrate	85.42 ± 0.00

3.2 สมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ

ค่าความชื้น ค่าน้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ แสดงดัง Table 3 พบว่าโจ๊กที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป คือ ไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ยกเว้นโจ๊กที่เตรียมโดยเติมน้ำมันมีค่าความชื้นร้อยละ 8.07 โดยค่าความชื้นที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โจ๊กที่เตรียมโดยวิธีเติมเอนไซม์ร่วมกับกายภาพมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำสูงสุด (8.24) ในขณะที่โจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบปกติมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำเท่ากับ 7.25 ผลการทดลองนี้บ่งชี้ได้ว่าการเตรียมโจ๊กโดยวิธีต่างๆ มีผลต่อค่าดัชนีการดูดน้ำกลับซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญของอาหารกึ่งสำเร็จรูป ค่าดัชนีการดูดน้ำกลับของโจ๊กข้าวหอมมะลิที่ทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่าเท่ากับ 11.51 [8] ซึ่งมีค่ามากกว่าของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ และผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เนื่องจากการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งจะได้โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปออกมาเป็นแผ่นบางๆ จึงมีคุณสมบัติในการดูดน้ำกลับสูงกว่าการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน อย่างไรก็ตามการทำแห้งโจ๊กด้วยตู้อบลมร้อนจะประหยัดต้นทุนมากกว่าซึ่งเหมาะสมกับศักยภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินคร

Table 3 Physical properties of Instant porridge organic rice prepared with various methods

Sample	Moisture content (%db)	a_w	Water absorption index (WAI)
Porridge	5.32 ± 0.19 ^b	0.1681 ± 0.0049 ^b	7.25 ± 0.21 ^b
Physical-porridge	4.58 ± 0.02 ^d	0.1157 ± 0.0013 ^c	6.75 ± 0.02 ^c
Enzyme-porridge	5.08 ± 0.04 ^c	0.1729 ± 0.0021 ^c	6.31 ± 0.10 ^c
Enzyme-physical porridge	4.11 ± 0.08 ^e	0.0929 ± 0.0014 ^d	8.24 ± 0.49 ^a
Lipid complex-porridge	8.07 ± 0.15 ^a	0.3545 ± 0.0054 ^a	7.73 ± 0.27 ^b

Note: Different letters are significantly different in the same column ($p < 0.05$)

3.3 ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยวิธีต่าง ๆ

โครงสร้างของเม็ดแป้งโดยปกติจะมีลักษณะเป็น semi-crystalline ซึ่งระดับของการเกิดผลึก (crystallinity) จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โครงสร้างที่เป็น crystallinity ของเม็ดแป้งมักจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของอะมิโลเพคตินขณะที่อะมิโลสจะเกี่ยวข้องกับส่วน amorphous ของเม็ดแป้ง ด้านโครงสร้างผลึกพบว่าแป้งข้าวดิบเริ่มมีสภาพผลึกเป็นชนิดเอ (A – type crystal) ซึ่งแสดงพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 15.5°, 17.5°, และ 23.5° Theta เมื่อนำข้าวมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อผลิตเป็นโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปพบว่าโจ๊กที่เตรียมได้โดยวิธีต่างๆ มีลักษณะโครงสร้างผลึกที่เปลี่ยนแปลงจากข้าวดิบ โดยมีลักษณะพีค broad band (Figure 2) ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียโครงสร้างผลึก (crystallinity) เมื่อถูกความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโจ๊กข้าวที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ พบว่า โจ๊กที่เตรียมโดยวิธีเอนไซม์ร่วมกับวิธีการกายภาพ (แช่เย็น 4°C และ แช่แข็ง -20°C) มีลักษณะพีคที่แตกต่างจากโจ๊กที่เตรียมโดยวิธีอื่นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามลักษณะพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโจ๊กที่ได้อาจไม่พบลักษณะผลึกแบบบี (V – type crystal) ที่แสดงถึงการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงสร้างอะมิโลสที่เป็นโครงสร้างซับซ้อนแบบเกลียว (helical complex) ซึ่งเป็นโครงสร้างร่างแหหน่วยย่อยแบบที่ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ได้น้อย [12] นอกจากนั้นสภาวะในการย่อยโดยเอนไซม์ pullulanase

อาจจะใช้เวลาในการย่อยไม่เพียงพอในการตัดกิ่งของอะมิโลเพคตินให้เป็นอะมิโลส จึงทำให้ลักษณะพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโจ๊กที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลสอดคล้องกับปริมาณแป้งที่ย่อยที่วิเคราะห์โดยใช้ Resistant starch kit (Magazyme) [13-15] ของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ พบว่าปริมาณแป้งที่ย่อยมีค่าต่ำและไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.13 – 0.32% w/w db. และตรวจไม่พบแป้งที่ย่อยในตัวอย่างโจ๊กทางการค้า (0.00% w/w db.)

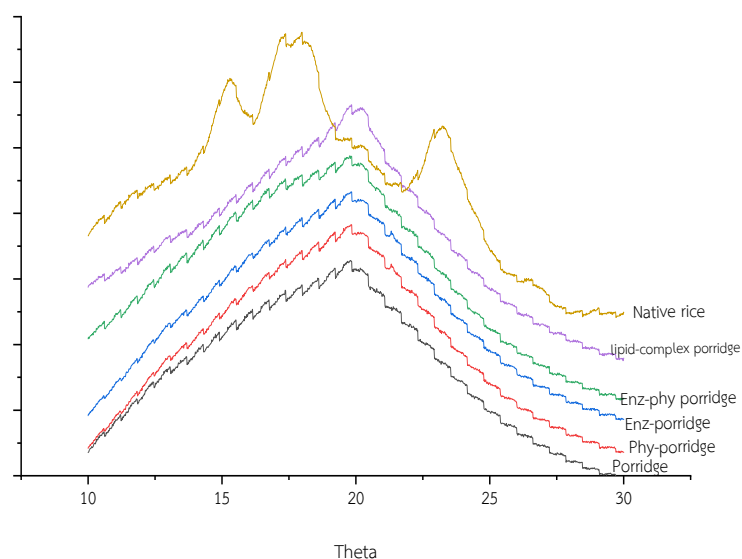
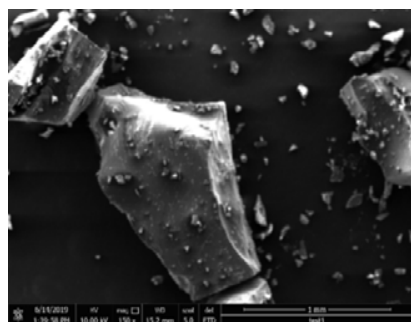


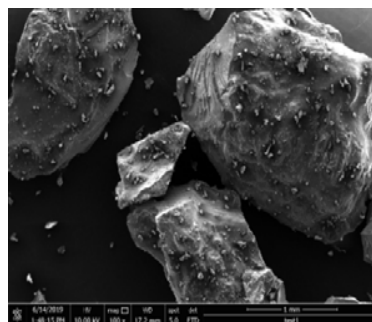
Figure 2 The XRD pattern of native rice and instant porridge organic rice prepared with various methods (Porridge, Phy-porridge, Enz-porridge, Enzy-phy porridge and Lipid complex-porridge)

3.4 ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่เตรียมโดยวิธีต่าง ๆ

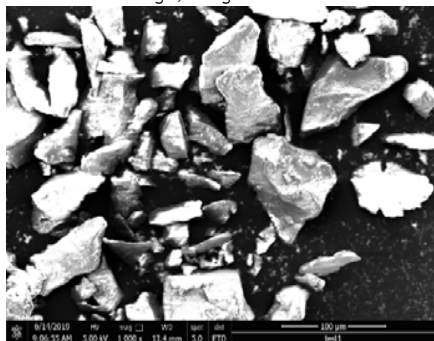
โจ๊กข้าวอินทรีย์ที่สำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีต่าง ๆ ผ่านการอบแห้ง และนำมาบดโดยใช้เครื่องบด เพื่อให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งลักษณะของโจ๊กผงและขนาดจะส่งผลต่อสมบัติการดูดน้ำกลับของตัวอย่างเมื่อตรวจสอบรูปร่างด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่ามีขนาดของอนุภาคผงไม่แตกต่างกัน คือ อยู่ระหว่าง 100-1,000 μm และมีลักษณะเป็นแผ่นผลึกรูปเหลี่ยมที่ไม่มีรูพรุน (Figure 3) ดังนั้นด้วยลักษณะที่เป็นผลึกดังกล่าวและมีขนาดที่ไม่แตกต่างกัน จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน (Table 3) แต่สาเหตุที่โจ๊กข้าวอินทรีย์ที่สำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีเอนไซม์ร่วมกับกายภาพมีค่าดัชนีการดูดน้ำมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการย่อยด้วยเอนไซม์ pullulanase อะไมโลสบางส่วนที่เพิ่มขึ้นเกิดการจัดเรียงตัวเป็นร่างแหอะไมโลส เมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็งและละลายน้ำแข็งจึงทำให้มีพื้นที่ในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น



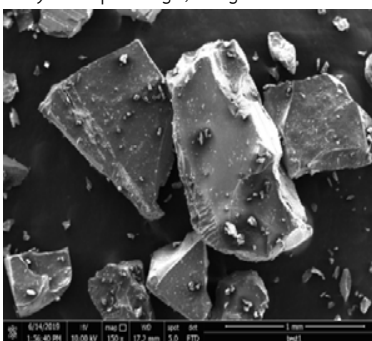
Porridge, Magnifications: 150x



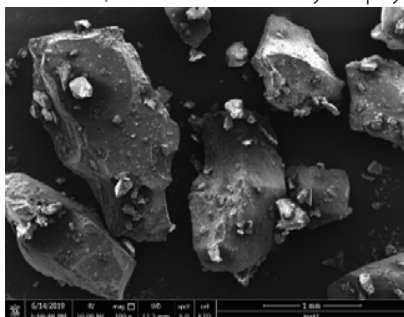
Physical-porridge, Magnifications: 100x



Enzyme-porridge, Magnifications: 1,000x



Enzyme-physical porridge, Magnifications: 150x



Lipid complex-porridge, Magnifications: 100x

Figure 3 Micrographs obtained by scanning electron microscopy of instant porridge organic rice prepared with various methods (Porridge, Physical-porridge, Enzyme-porridge, Enzyme-physical porridge and Oil-porridge)

3.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่สำเร็จรูปรสไก่

เตรียมผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวอินทรีย์ที่สำเร็จรูปรสไก่ โดยใช้ข้าวหักที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่เติมเอนไซม์ร่วมกับกายภาพ โดยต้มข้าวและย่อยด้วยเอนไซม์ pullulanase ที่ระดับร้อยละ 0.10 (15 unit/g) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และนำไปแช่ที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30°C จากนั้นนำโจ๊กที่ได้มาเกลี่ยใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำโจ๊กข้าวที่สำเร็จรูปไปผสมกับส่วนผสมแห้ง (Table 1) และนำโจ๊กไปต้มที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 7 นาที นำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.17-7.57 คะแนน) (Table 4) พรพิมล มะยงะเขียว [8] ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยวิธี 9-Point Hedonic scale ของคุณลักษณะในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม พบว่า โจ๊กข้าวสังขยุดผสมถั่วเหลืองร้อยละ 30 มีคุณลักษณะด้านสีสูงสุดเท่ากับ 7.7 โจ๊กข้าวหอมมะลิผสมถั่วเหลืองร้อยละ 20 มีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นรสสูงที่สุดเท่ากับ 8.2 โจ๊กข้าวสังขยุดมีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดเท่ากับ 8.6 และโจ๊กข้าวสังขยุดผสมถั่วเหลืองร้อยละ 20 มีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านการยอมรับรวมสูงที่สุดเท่ากับ 8.6 ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านการยอมรับรวมของโจ๊กข้าวสังขยุด และโจ๊กข้าวหอมมะลิเท่ากับ

7.9 และ 7.7 ตามลำดับ ซึ่งโจ๊กข้าวอินทรีย์ที่สำเร็จรูปที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนความชอบโดยรวม (7.57) ใกล้เคียงกับโจ๊กข้าวหอมมะลิ (7.7)

Table 4 Sensory evaluation of instant porridge organic rice with chicken

Sensory attributes	Score (Means $\pm$ SD)	Grade
Color	7.40 $\pm$ 1.04	Like Moderately
Aroma	7.37 $\pm$ 1.10	Like Moderately
Taste	7.37 $\pm$ 1.22	Like Moderately
Texture	7.17 $\pm$ 1.42	Like Moderately
Overall acceptability	7.57 $\pm$ 1.10	Like Moderately

N=30

Note: 1 = Dislike Extremely, 2 = Dislike Very Much, 3 = Dislike Moderately, 4 = Dislike Slightly, 5 = Neither Like nor Dislike, 6 = Like Slightly, 7 = Like Moderately, 8 = Like Very Much, 9 = Like Extremely

4. สรุป

วิธีการเตรียมโจ๊กข้าวมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวที่สำเร็จรูป โดยโจ๊กข้าวที่เตรียมโดยวิธีเอนไซม์ร่วมกับกายภาพ (แช่เย็น 4°C และ แช่แข็ง -20°C) มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำสูงสุด และมีลักษณะฟlocที่แตกต่างจากโจ๊กที่เตรียมโดยวิธีอื่นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามโจ๊กข้าวที่สำเร็จรูปที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ มีปริมาณแป้งพ่นย้อยต่ำและไม่แตกต่างกัน รวมทั้งมีขนาดของอนุภาคผงไม่แตกต่างกัน คือ อยู่ที่ระหว่าง 100-1,000 μ m และมีลักษณะเป็นแผ่นผลึกรูปเหลี่ยมที่ไม่มีรูพรุน เมื่อนำโจ๊กข้าวที่เตรียมโดยวิธีเอนไซม์ร่วมกับกายภาพมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวที่สำเร็จรูปปรรูปได้ พบว่าเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม มีคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.17-7.57 คะแนน) งานวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าการเตรียมโจ๊กโดยวิธีเอนไซม์ร่วมกับวิธีการกายภาพสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอาหารที่สำเร็จรูป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Whistler, R. L., and Bemiller, J. N. 1999. Carbohydrate chemistry for food scientist American association of cereal chemists. Eagan Press, St. Paul, Minnesota.
- [2] Jane et al. 2011. Resistant food starches and methods related thereto. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://patentimages.storage.googleapis.com/5a/f6/dd/23071454880949/US20110256261A1.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 13 มีนาคม 2563).
- [3] AOAC. 2000. Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Chemists.
- [4] Dubois, M., Gilles, J.K., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., and Smith, F. (1965). Calorimetric method for determination of sugars related substance. Anal. Chem. 28: 350-356.
- [5] Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31, 426-428. doi: 10.1021/ac60147a030
- [6] Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., and Griffin, E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today. 14: 4-11.
- [7] พรพิไล นิยมเวช, ปฐมพร สรรพสิทธิ์, อติกานต์ วารี และ เพ็ญศิริ คงสิทธิ์. 2561. การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สำเร็จรูป. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 23: 1638-1654

- [8] พรพิมล มะยะเฉียว. 2557. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://kb.tsu.ac.th/jspui/handle/123456789/3274> (เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม 2563).
- [9] Champagne, E. T., Wood, D. F., Juliano, B. O. and Bechtel, D. B. 2004. The rice grain and its gross composition. In: Rice, E. T. Champagne, editor. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, USA. pp. 77-107.
- [10] วรวิมล วงศ์สุติน พัทธกรณ รัตนธรรม ญัฐฐา เลาทกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2555. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2)(พิเศษ): 553-556.
- [11] Maisont, S. and Narkruga, W. 2010. Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. Kasetsart J. (Nat. Sci.). 44: 251-261.
- [12] Walter, M., L. P. Silva and C. C. Denardin. 2005. Rice and resistant starch: different content depending on chosen methodology. J. Food Comp & Anal. 18: 279-285.
- [13] Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—a review. Comprehensive reviews in food science and food safety, 5(1), 1-17.
- [14] Fuentes-Zaragoza, E., Sánchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2011). Resistant starch as prebiotic: A review. Starch-Stärke, 63(7), 406-415.
- [15] McCleary, B. V., & Monaghan, D. A. (2002). Measurement of resistant starch. Journal of AOAC International, 85(3), 665-675.

อิทธิพลของขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศ ที่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโต
ของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม
Effect of Litter Size, Parity and Sex on Birth Weight and Growth of Pre-weaning Piglets

ปิยะดา ทวีศรี^{1*}, ธนธรรมลวรรณ พลมัน¹, สมพร นพเกื้อ¹, จิรกันต์ ช่วยเทศ¹ และ เทียมพบ ก้านเหลือง¹
Piyada Tavitchasri^{1*}, Thanatsamonwan Phonmun¹, Somphon Noppakeua¹, Jirakarn Chuayted¹ and Thiamphop Kanloun¹

¹ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹ Program in animal science, Department of agricultural technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: ปิยะดา ทวีศรี, e-mail address: piyada.ta@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศของลูกสุกร ที่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม โดยใช้ข้อมูลจากลูกสุกรลูกผสม 3 สายเลือด (แลนด์เรซ-ลาร์จไวท์-ดิวอี้) จำนวน 272 ตัว และแม่สุกร 2 สายเลือด (แลนด์เรซ-ลาร์จไวท์) จำนวน 20 ตัว แบ่งขนาดครอกออกเป็น 3 กลุ่ม (จำนวนลูกสุกร 7-10, 11-14 และ 15-18 ตัว) และแบ่งลำดับท้องของแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่ม (ลำดับท้องที่ 1-3 และ 4-7) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) โดยใช้ PROC GLM ด้วยโปรแกรม Statistical analysis system (SAS) ผลการศึกษาพบว่าขนาดครอกมีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและน้ำหนักที่อายุ 7 วัน ($P < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักที่อายุ 14 วัน ($P > 0.05$) โดยกลุ่มที่มีจำนวนลูกสุกร 7-10 ตัว มีน้ำหนักลูกสุกรสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ขณะที่ลำดับท้องของแม่สุกรไม่ส่งผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม ($P > 0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าลูกสุกรในกลุ่มของลำดับท้องที่ 4-7 มีการเจริญเติบโตสูงกว่าลำดับท้องที่ 1-3 และยังพบว่าเพศของลูกสุกรไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม ($P > 0.05$) แต่พบว่าลูกสุกรเพศผู้มีแนวโน้มของน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตสูงกว่าลูกสุกรเพศเมีย

คำสำคัญ: ลูกสุกร, ขนาดครอก, ลำดับท้อง, น้ำหนักแรกคลอด, การเจริญเติบโต

Abstract

The aim of this research was to study the effect of litter size, parity and sex of piglets on the birth weight and growth of pre-weaning. Crossbred (Landrace x Large white x Duroc jersey) piglets ($n = 272$) were recorded for litter size (7-10, 11-14, 15-18) and crossbred ((Landrace x Large white) sows ($n = 20$) were recorded for parity (1-3, 4-7). The effect of litter size, parity and sex of piglets were determined by the one-way analysis of variance (ANOVA) and analyzed using the PROC GLM procedure of Statistical Analysis System (SAS). The results indicated that the increase in litter size decrease the birth weight and growth of piglets ($P < 0.05$). There were no parity and sex effect on growth of pre-weaning piglets ($P > 0.05$).

Keywords: piglets, litter size, parity, birth weight, growth

1. บทนำ

ในปัจจุบันการบริโภคเนื้อสุกรเป็นที่นิยมและมีความต้องการในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ผลผลิตเนื้อสุกรในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยในปี 2559 มีผลผลิต 1.40 ล้านตัน เพิ่มขึ้นเป็น 1.51 ล้านตันในปี 2560 (กรมการค้าภายใน, 2561) ส่งผลให้มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรเพิ่มขึ้น จากรายงานของกลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติกรมปศุสัตว์ ในปี 2560 พบว่าจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรเพิ่มขึ้น 33,944 ราย ในปี 2560 เมื่อเทียบกับปี 2559 ในการผลิตสุกรนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงต้องการขุนสุกรให้น้ำหนักเป็นไปตามความต้องการของท้องตลาด ซึ่งการที่จะทำให้สุกรขุนมีน้ำหนักเป็นไปตามความต้องการ ต้องมาจากการดูแลตั้งแต่หลังคลอดจนถึงหย่านม เพราะการเลี้ยงและดูแลสุกรตั้งแต่หลังคลอดไปจนถึงหย่านม นับได้ว่าเป็นช่วงเวลาที่ยุ่งยากมากกว่าช่วงอื่นๆ และเป็นช่วงที่มีการสูญเสียลูกสุกรมากที่สุด อย่างไรก็ตามในการคลอดลูกของสุกรแต่ละครั้งจะมีจำนวนลูกที่ไม่เท่ากัน ทำให้น้ำหนักแรกคลอด น้ำหนักหย่านม และน้ำหนักส่งขุนไม่สม่ำเสมอ สาเหตุที่ทำให้น้ำหนักของลูกสุกรไม่เท่ากัน อาจเกิดจากขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศของลูกสุกร ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศที่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรก่อนหย่านม

2. วิธีการศึกษา

ข้อมูลจากลูกสุกร 3 สายเลือด (แลนด์เรซ-ลาร์จไวท์-ดอร์คเจอร์ซี่) จำนวน 272 ตัว และแม่สุกร 2 สายเลือด (แลนด์เรซ-ลาร์จไวท์) จำนวน 20 ตัว บันทึกข้อมูลลูกสุกรที่คลอดจากแม่สุกร ได้แก่ ข้อมูลขนาดครอก เพศ น้ำหนักแรกคลอด น้ำหนักลูกสุกรที่อายุ 7 วัน และน้ำหนักลูกสุกรที่อายุ 14 วัน ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ คือ ข้อมูลลำดับท้องจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ลูกสุกรอยู่ในลำดับท้องที่ 1-3 และกลุ่มที่ 2 ลูกสุกรอยู่ในลำดับท้องที่ 4-7 ส่วนขนาดของครอกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 มีจำนวนลูกสุกร 7-10 ตัว กลุ่มที่ 2 มีจำนวนลูกสุกร 11-14 ตัว และกลุ่มที่ 3 มีจำนวนลูกสุกร 15-18 ตัว จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) โดยใช้ PROC GLM ด้วยโปรแกรม Statistical analysis system (SAS)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

การศึกษาขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศของลูกสุกรต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรในระยะก่อนหย่านม พบว่าขนาดครอกมีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและน้ำหนักที่อายุ 7 วัน ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรที่เกิดในครอกขนาด 7-10, 11-14 และ 15-18 ตัว มีค่าเท่ากับ 1.49 ± 0.06 , 1.42 ± 0.04 และ 1.31 ± 0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่อายุ 7 วัน ของลูกสุกรที่เกิดในครอกขนาด 7-10, 11-14 และ 15-18 ตัว มีค่าเท่ากับ 3.19 ± 0.14 , 2.97 ± 0.09 และ 2.77 ± 0.07 กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่ขนาดครอกไม่มีผลต่อน้ำหนักที่สุกรที่อายุ 14 วัน ($P > 0.05$) แต่ยังพบแนวโน้มว่าลูกสุกรที่เกิดในครอกที่มีขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักน้อยที่สุด โดยมีน้ำหนักเท่ากับ 5.55 ± 0.22 , 5.27 ± 0.15 และ 5.07 ± 0.12 กิโลกรัม สำหรับขนาดครอก 7-10, 11-14 และ 15-18 ตัว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 การที่ครอกที่มีลูกสุกรจำนวนมากจะทำให้ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่าครอกที่มีจำนวนลูกสุกรน้อยอาจเกิดจากการที่ลูกสุกรได้รับสารอาหารจากแม่สุกรน้อยลงเมื่อจำนวนของลูกในท้องเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักแรกคลอดเฉลี่ยลดลง

สำหรับลำดับท้องของแม่สุกรต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรในระยะก่อนหย่านม ผลพบว่าลำดับท้องของแม่สุกรไม่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตระยะก่อนหย่านม ($P > 0.05$) โดยลูกสุกรที่เกิดในลำดับท้องที่ 1-3 และ 4-7 มีน้ำหนักแรกคลอดเท่ากับ 1.37 ± 0.04 และ 2.95 ± 0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ น้ำหนักที่อายุ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 1.44 ± 0.08 และ 3.00 ± 0.08 กิโลกรัม ตามลำดับ และน้ำหนักที่อายุ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 5.24 ± 0.14 และ 5.35 ± 0.13 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งการที่ลำดับท้องของแม่สุกรไม่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรอาจเกิดจากการจัดการเลี้ยงดูที่ประสิทธิภาพทำให้น้ำหนักที่แม่สุกรที่มีลำดับท้องที่ต่างกัน สามารถให้ลูกที่มีน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้จากการทดลองมีแนวโน้มว่าแม่สุกรที่ลำดับท้องมากขึ้น จะส่งผลให้ลูกสุกรมีน้ำหนักมากกว่าแม่สุกรที่มีลำดับท้องน้อยกว่า (ตารางที่ 1)

Table 1 Birth weight and growth of piglets (LSMEANS $\pm$ SEM: kg) at different litter size, parity and sex.

Age of piglet	Litter size			Parity		Sex	
	7-10	11-14	15-18	1-3	4-7	Male	Female
Newborn	1.49 $\pm$ 0.06 ^a	1.42 $\pm$ 0.04 ^b	1.31 $\pm$ 0.03 ^c	1.37 $\pm$ 0.04 ^a	2.95 $\pm$ 0.03 ^a	1.45 $\pm$ 0.03 ^a	1.36 $\pm$ 0.03 ^b
7 day	3.19 $\pm$ 0.14 ^a	2.97 $\pm$ 0.09 ^b	2.77 $\pm$ 0.07 ^c	1.44 $\pm$ 0.08 ^a	3.00 $\pm$ 0.08 ^a	3.06 $\pm$ 0.08 ^a	2.89 $\pm$ 0.08 ^a
14 day	5.55 $\pm$ 0.22 ^a	5.27 $\pm$ 0.15 ^a	5.07 $\pm$ 0.12 ^a	5.24 $\pm$ 0.14 ^a	5.35 $\pm$ 0.13 ^a	5.38 $\pm$ 0.12 ^a	5.21 $\pm$ 0.13 ^a

a, b, c Means within a row without a common superscript letter differ (P<0.05).

สอดคล้องกับการศึกษาของ Wahlgren (2018) ที่พบว่าขนาดครอกมีผลต่อน้ำหนักของลูกสุกร โดยที่ขนาดครอกที่เพิ่มขึ้น 1 ตัว จะมีผลทำให้น้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรลดลง 33 กรัมต่อตัว และน้ำหนักของลูกสุกรในท้องแรกจะมีน้ำหนักน้อยกว่าในท้องอื่นๆ ประมาณ 210 กรัม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Akdag et al. (2009) ที่พบว่าขนาดครอกมีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกร (P<0.01) ขณะที่ลำดับท้องไม่มีผลต่อลักษณะดังกล่าว (P>0.05) ซึ่งน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรที่มีค่ามากกว่าจะส่งผลทำให้น้ำหนักที่หย่านมและจำนวนลูกหย่านมมีค่าสูงกว่าลูกสุกรที่มีน้ำหนักแรกคลอดน้อย (P<0.01)

สำหรับการศึกษาของ Lavery et al. (2019) พบว่าน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกร จำนวนลูกแรกคลอด (Total born) และจำนวนลูกมีชีวิต (Born alive) จากแม่สุกรในลำดับท้องที่ 3 และ 4 จะมีค่ามากกว่าแม่สุกรท้องแรกและท้องที่ 6 (P<0.05) ขณะที่การศึกษาของ Freyer (2018) พบว่าน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรจะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในลำดับท้องที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนลูกมีชีวิตที่จะมากขึ้นตามมา

สำหรับเพศของลูกสุกรต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตระยะก่อนหย่านม พบว่าลูกสุกรเพศผู้มีน้ำหนักแรกคลอดมากกว่าลูกสุกรเพศเมีย (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 1.45 $\pm$ 0.03 และ 1.36 $\pm$ 0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรที่อายุ 7 และ 14 วัน (P >0.05) ซึ่งน้ำหนักของลูกสุกรเพศผู้และเพศเมียที่อายุ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 3.06 $\pm$ 0.08 และ 2.89 $\pm$ 0.08 กิโลกรัม ตามลำดับ และที่อายุ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 5.38 $\pm$ 0.12 และ 5.21 $\pm$ 0.13 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มว่าลูกสุกรเพศผู้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าลูกสุกรเพศเมีย (ตารางที่ 1)

ซึ่งจากการศึกษาของ Bocian et al. (2012) พบว่าลูกสุกรเพศเมียจะมีน้ำหนักแรกคลอดมากกว่าเพศผู้ (P<0.05) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.35 $\pm$ 0.31 และ 1.23 $\pm$ 0.33 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่น้ำหนักของสุกรเพศเมียและเพศผู้ที่อายุหย่านม (28 วัน) มีค่าเท่ากับ 6.90 $\pm$ 1.21, 6.68 $\pm$ 1.31 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 196 $\pm$ 37 และ 192 $\pm$ 40 กรัม/วัน ตามลำดับ

4. สรุป

การศึกษาอิทธิพลของขนาดครอก ลำดับท้อง และเพศของลูกสุกร ต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม พบว่าขนาดครอกที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและน้ำหนักที่อายุ 7 วัน แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักที่อายุ 14 วันของลูกสุกร ในขณะที่ลำดับท้องไม่มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดและการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม ส่วนเพศของลูกสุกรมีผลต่อน้ำหนักแรกคลอดแต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรระยะก่อนหย่านม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณฟาร์มเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดบุรีรัมย์ ที่เอื้อเพื่อสัตว์ทดลองและสถานที่ในการทดลองเพื่อการศึกษานี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการค้าภายใน กองส่งเสริมการเกษตร 1. 2561. สุกกร. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.moc.go.th/index.php/flower-service-all-8/item/42-436.html> (เข้าถึงเมื่อ 11 พฤษภาคม 2562).
- [2] กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ กรมปศุสัตว์. 2560. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย ปี 2560. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER28/DRAWER090/GENERAL/DATA0000/00000061.PDF> (เข้าถึงเมื่อ 11 พฤษภาคม 2562).
- [3] Wahlgren, P. 2018. Factors influencing variation in birth weight and its impact on later performance in Swedish Yorkshire pigs. Swedish University of Agricultural Sciences.
- [4] Akdag, F., S. Arslan and H. Demir. 2009. The effect of parity and litter size on birth weight and the effect of birth weight variations on weaning weight and pre-weaning survival in piglet. J. Anim. Vet. Adv. 8 (11): 2133-2138.
- [5] Lavery, A., P.G. Lawlor, E. Magowan, H.M. Miller, K.O. Driscoll and D.P. Berry. 2019. An association analysis of sow parity, live-weight and back fat depth as indicators of sow. Productivity. Animal. 13(3): 622-630.
- [6] Freyer, G. 2018. Maximum number of total born piglets in a parity and individual ranges in litter size expressed as specific characteristics of sows. Journal of Animal Science and Technology. 60:13.
- [7] Bocian, M., H. Jankowiak, A. Cebulska, J. Wisniewska, K. Fraczak, W. Wlodarski, W. Kapelanski. 2012. Differences in piglets sex proportion in litter and in body weight at birth and weaning and fattening results. Journal of Central European Agriculture. 13(3): 475-482.

การวิเคราะห์องค์ประกอบของบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้
โดยใช้โครงงานเป็นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์ สำหรับระดับชั้นมัธยมศึกษา
Factor Analysis of Teacher Roles in Learning Management on Project Based
Learning in Science Subject for Secondary School

ณัฐพงศ์ อิมใจ¹ และ ธนินทร์ รัตนโอฬาร²
Nattapong Imjai¹, Thanin Rattana O-larn²

^{1,2,3} สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

^{1,2,3} Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand.

*Corresponding Author E-mail : pro_zon@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและตรวจสอบความตรงของโมเดลบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงบรรยาย มีขั้นตอนคือ 1) ผู้วิจัยสุ่มกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จำนวน 342 คน 2) เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแนวคิดของ Likert ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้วยการตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและค่าความเชื่อมั่น 3) ผู้วิจัยเก็บข้อมูลและวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองด้วยโปรแกรม AMOS พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่า $\chi^2=31.143$, $df= 28$, $p=. 331$, $GFI=0.9803$, $AGFI=0.961$, $RMSEA=0.005$ จึงสรุปได้ว่าองค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา มี 4 องค์ประกอบหลัก 11 องค์ประกอบย่อย โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุดคือ ด้านการให้คำแนะนำ (.975) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การช่วยเหลือแนะนำการทำงาน (.915) การสนับสนุนการเรียนรู้ (.784) รองลงมาคือองค์ประกอบหลักด้านการจัดการ (.960) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การออกแบบการเรียนรู้ (.888) การสร้างแรงจูงใจ (.882) การเตรียมพร้อมตนเอง (.782) การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนากระบวนการคิด (.777) การให้อิสระกับนักเรียน (.695) องค์ประกอบหลักด้านการจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน (.954) องค์ประกอบย่อย ได้แก่ การจัดสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน (.891) การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในชั้นเรียน (.854) สุดท้ายคือองค์ประกอบหลักด้านการประเมินผล (.944) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การประเมินด้วยวิธีที่หลากหลาย (.944) การให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลย้อนกลับ (.889) ตามลำดับ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน, บทบาทครู, การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน , วิชาวิทยาศาสตร์

Abstract

This research aims to analyze the components and perform factor analysis of teacher roles in learning management on project-based learning in Science subject for secondary school, under the Office of the Basic Education Commission. The descriptive research follows three major steps: (1) Select the sample group, consisting of 342 upper secondary Science teachers under the Office of the Basic Education Commission, by multi-stage random sampling technique. (2) Construct a five-point Likert scale questionnaire, of which content validity and reliability were examined. (3) Gather and analyze data by applying the Second order Confirmatory Factor Analysis performed in AMOS. The result shows that the model is consistent with the empirical data, with $\chi^2=31.143$, $df=28$, $p=.331$, $GFI=0.9803$, $AGFI=0.961$, $RMSEA=0.005$. Therefore, it can be concluded that the teacher roles in learning management for project-based learning in Science for upper secondary level consist of 4 major factors and 11 subfactors. The major factor with the highest factor loading is advising (.975) with giving work advice (.915) and supporting learning process (.784) as subfactors. The major factor with the second highest factor loading is management (.960) with lesson planning (.888), self-preparation (.782) learning management which encourage thinking process development (.777) and giving students freedom (.695) as corresponding subfactors. The major factor with the third factor loading is equipment and classroom preparation (.954) with environment preparation (0.891) and equipment preparation (.854) as subfactors. Lastly, the major factor with the lowest factor loading is evaluation (.944) with evaluating by several methods (.944) and suggesting and giving feedback (.899) as subfactors.

Keywords: Confirmatory Factor Analysis, teacher roles, project-based learning, Science subject

บทนำ

การศึกษาในยุคปัจจุบันนั้นจะพัฒนาคนให้มีคุณภาพโดยมีเป้าหมายเพื่อเตรียมคนไปเผชิญการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วในศตวรรษที่ 21 คนยุคใหม่จึงต้องมีทักษะที่สูงในการเรียนรู้และปรับตัว ส่งผลให้ผู้เรียนต้องพัฒนาทักษะการเรียนรู้และในขณะเดียวกันครูต้องมีทักษะในการทำหน้าที่ครูในศตวรรษที่ 21 (วิจารณ์ พานิช, 2555) ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนจึงต้องมีโดยครูต้องจัดการเรียนการสอนให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม ซึ่งเป็นการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

ในการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งปัจจุบัน คือ การเรียนโดยโครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยเฉพาะรายวิชาวิทยาศาสตร์ เนื่องด้วยตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สารการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ได้ระบุเป้าหมายในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้ จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้” ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) โดยบทบาทครูมีส่วนสำคัญในการจัดประสบการณ์เรียนรู้ สุขุมวิท โยเหลาและคณะ (2557) ได้กล่าวว่า “บทบาทสำคัญของครูในขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความสำคัญอย่างยิ่งและมีผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนช่วยการสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้”

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษา เอกสาร งานวิจัยเกี่ยวกับบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน จาก นักวิชาการ อันได้แก่ ลัดดา ภูเกียรติ (2552) วิจารณ์ พานิชย์ (2555) ลัดดา ศิลาน้อย และอังคณา ตุงคะสมิต (2556) สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2558) ดุษฎี โยเหลาและคณะ (2557) Blumenfeld et al. (1991) Patton (2012 : 50-51) Chard (2014 : online) Bo and Li (2015) Larmer et al. (2015) จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์เอกสาร งานวิจัยที่ศึกษา พบว่า บทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีองค์ประกอบอยู่ 4 องค์ประกอบหลัก คือ การจัดการ การให้คำแนะนำ การจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน การประเมินผล มี 11 องค์ประกอบย่อย คือ การเตรียมพร้อมตนเอง การออกแบบการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนากระบวนการคิด การสร้างแรงจูงใจ การให้อิสระกับนักเรียน การช่วยเหลือแนะนำการทำงาน การสนับสนุนการเรียนรู้ การจัดสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในชั้นเรียน การประเมินด้วยวิธีที่หลากหลาย การให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลย้อนกลับ จากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยอยากทราบว่าบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานนั้นเหมาะสมและสอดคล้องกับบริบทครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ หรือไม่ อันนำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง (Second Order Confirmatory Factor Analysis) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าองค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ว่าสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ รวมทั้งน้ำหนักความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้เพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนหรือส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างคือครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 342 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (multi-stage random sampling) รายละเอียดดังนี้ 1) ผู้วิจัยทำการสุ่มโรงเรียนด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified random sampling) โดยใช้สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชั้นภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็น 42 ชั้นภูมิ โดยสุ่มชั้นภูมิละ 1 โรงเรียน 2) ผู้วิจัยทำการสุ่มครูแต่ละโรงเรียนด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified random sampling) โดยใช้โรงเรียนเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชั้นภูมิ แบ่งออกเป็น 42 ชั้นภูมิ โดยสุ่มครูวิทยาศาสตร์โรงเรียนละ 10 คน ซึ่ง Hair et al. (2010) ได้กล่าวว่า ตามหลักสถิติตัวแปรพหุ โดยทั่วไปมักกำหนดอยู่ในช่วง 5-20 เท่าของจำนวนตัวแปรหรือพารามิเตอร์โดย ในงานวิจัยครั้งนี้มีจำนวนตัวแปรสังเกตได้จำนวน 15 จำนวนตัวแปรสังเกตได้ต่อหนึ่งกลุ่ม ผู้วิจัยจึงขอใช้สัดส่วน 20 เท่าของค่าพารามิเตอร์ในการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ทำให้ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 300 คน เพื่อป้องกันข้อมูลบางส่วนสูญหาย ผู้วิจัยจึงขอเก็บจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 420 คน ใช้เวลาเก็บข้อมูล 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 6 เมษายน – 6 พฤษภาคม 2563 แต่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลได้จริงจำนวน 342 ชุด คิดเป็นร้อยละ 81.43 % ของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถามบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามแนวคิดของ Likert โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับของ พรณี ลีกิจวัฒนะ (2558) คือ ระดับ 5 หมายความว่า ครูมีการปฏิบัติมากที่สุด - ระดับ 1 หมายความว่า ครูมีการปฏิบัติน้อยที่สุด ตามลำดับ ซึ่งข้อคำถามประกอบด้วย 1) ข้อคำถามเกี่ยวกับสภาพและข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 2) ข้อคำถามเกี่ยวกับบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้

โครงการเป็นฐานวิชาชีพวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา ผู้วิจัยหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยด้วยการตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) อยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เมื่อแยกเป็น 4 องค์ประกอบหลัก อยู่ระหว่าง .907 - .963

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยใช้สถิติคือ 1) การศึกษาสภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้วิจัยใช้สถิติการแจกแจงความถี่โดยแสดงเป็นจำนวนและร้อยละ 2) การศึกษาระดับบททดสอบสถิติที่ใช้ในการศึกษาคือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 3) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality) ใช้สถิติทดสอบสมมติฐานคือ ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานความเบ้ (Z_{sk}) และค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานความโด่ง (Z_{ku}) หากค่าอยู่ระหว่าง (-1.96) – (+1.96) แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ 3) การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นก่อนการวิเคราะห์องค์ประกอบ ใช้สถิติในการตรวจสอบคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากเกณฑ์ของกริช แรงสูงเนิน (2554) ดังนี้ ค่า KMO (Kaiser – meyer – Olkin Measure of samoling Adequacy) โดยค่า KMO มีค่ามากกว่า 0.50 หรือ 50% ขึ้นไป, ค่า P-value จากการทดสอบแบบ Bartlett's Test of sphericity โดยค่า P-value ของ Bartlett's Test มีค่าต่ำกว่า 0.05, ค่าสัมประสิทธิ์ (Correlation Coefficient : R) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาต้องไม่สูงกว่า 0.80 และการทดสอบดัชนีความกลมกลืนด้วยค่าสถิติ chi-square test ค่า P-value ต้องมากกว่า .05 ไม่ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 4) การตรวจสอบความตรงของโมเดลผู้วิจัยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันหลายปัจจัย (Multi – factor congeneric model) และวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันหลายอย่าง (Higher – order factor model) โดยผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ดัชนี โดยใช้จากเกณฑ์ดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างโมเดลสมการโครงสร้างตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของกริช แรงสูงเนิน (2554) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ดัชนีการตรวจสอบความตรงของโมเดล กริช แรงสูงเนิน (2554)

ค่าสถิติวัดระดับความกลมกลืน	เกณฑ์ระดับความกลมกลืน
ค่า χ^2/df	< 2
ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (Goodness of Fit index : GFI)	มีค่าเข้าใกล้ 1
ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (Adjusted Goodness of Fit index : AGFI)	$\geq .90$ (เข้าใกล้ 1.00)
ค่าดัชนีวัดความกลมกลืนเปรียบเทียบ (Comparative Fit index : CFI)	$\geq .90$ (เข้าใกล้ 1.00)
ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของส่วนเหลือ (Root Mean Square Residual : RMR)	< .08 (เข้าใกล้ 0)
ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error of Approximation : RMSEA)	< .08 (เข้าใกล้ 0)

ผลการศึกษา

จากการศึกษาสภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่า ตัวแปรข้อมูลด้านประสบการณ์ทำงาน ส่วนใหญ่ มีประสบการณ์ทำงานน้อยกว่า 10 ปี จำนวน 229 คน คิดเป็นร้อยละ 67.00 มากที่สุด รองลงมาคือ มีประสบการณ์ทำงาน 10 -15 ปี จำนวน 49 คนคิดเป็นร้อยละ 14.30 มีประสบการณ์ทำงาน 21 ปีขึ้นไป จำนวน 48 คน คิดเป็นร้อยละ 14.00 และมีประสบการณ์ทำงาน 16 – 20 ปี จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 4.70 ตามลำดับ ต่อมาคือ การศึกษาตัวแปรข้อมูลด้านตำแหน่งที่ปฏิบัติหน้าที่ปัจจุบัน พบว่า ครูมีตำแหน่งหน้าที่ในการปฏิบัติงานปัจจุบันคือ ครูอันดับ ค.ศ. 1 มากที่สุด จำนวน 129 คน คิดเป็นร้อยละ 37.70 รองลงมาคือ ครู อันดับ ค.ศ. 2 จำนวน 82 คน

คิดเป็นร้อยละ 24.00 ครูผู้ช่วย จำนวน 68 คน คิดเป็นร้อยละ 19.90 ครู อันดับ ค.ศ. 3 จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 12.60 และครูอัตราจ้าง จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 5.80 ตามลำดับ โดยผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับการศึกษาสูงสุด ในระดับปริญญาตรี มากที่สุด จำนวน 208 คน คิดเป็นร้อยละ 60.80 รองลงมาคือ ระดับปริญญาโท จำนวน 113 คน คิดเป็นร้อยละ 33.00 ประกาศนียบัตรบัณฑิต (ป. บัณฑิต) จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 5.00 และปริญญาเอก จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 1.20 ตามลำดับ

การศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครุวิทยาาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา มีเกณฑ์เฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =3.83, S.D.=.569) โดยตัวแปรแฝงที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ การจัดการ ($\bar{X}$ =3.92, S.D.=.522) รองลงมาคือ การประเมินผล ($\bar{X}$ =3.86, S.D.=.652) การให้คำแนะนำ ($\bar{X}$ =3.82, S.D.=.622) และการจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน ($\bar{X}$ =3.73, S.D.=.643) ตามลำดับ ในส่วนของตัวแปรสังเกตได้มีค่าเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้นของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของระดับบัณฑิตศึกษาในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครุวิทยาาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา

องค์ประกอบ/ตัวแปร	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. องค์ประกอบด้านการจัดการ			
1.1 การให้โอวาทแก่นักเรียน	4.18	.46	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
1.2 การสร้างแรงจูงใจ	3.93	.62	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
1.3 การออกแบบการเรียนรู้	3.89	.63	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
1.4 การเตรียมพร้อมตนเอง	3.86	.62	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
1.5 การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนากระบวนการคิด	3.83	.64	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
รวม	3.94	.51	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
2. องค์ประกอบด้านการประเมินผล			
2.1 การให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลย้อนกลับ	3.92	.65	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
2.2 การประเมินด้วยวิธีที่หลากหลาย	3.83	.69	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
รวม	3.86	.65	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
3. องค์ประกอบด้านการให้คำแนะนำ			
3.1 การช่วยเหลือแนะนำการทำงาน	3.83	.68	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
3.2 การสนับสนุนการเรียนรู้	3.80	.64	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
รวม	3.82	.62	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
4. องค์ประกอบด้านการจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน			
4.1 การจัดสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน	3.74	.70	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
4.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในชั้นเรียน	3.71	.68	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
รวม	3.73	.64	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก
รวมทุกด้าน	3.83	.57	การปฏิบัติอยู่ในระดับมาก

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น ซึ่งค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานความโค้ง (Z_{ku}) อยู่ระหว่าง -1.95 ถึง 1.28 และค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานความเบ้

(Z_{sk}) อยู่ระหว่าง -1.95 ถึง -1.03 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วง ± 1.96 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นเหมาะสมต่อการนำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่า $\chi^2=31.143$, $df= 28$, $p=. 331$ นั่นคือค่า χ^2 ไม่แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติวัดระดับความกลมกลืนตามเกณฑ์ดัชนีการตรวจสอบความตรงของโมเดล ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง กับเกณฑ์ดัชนีการตรวจสอบความตรงของโมเดล กริช แรงสูงเนิน (2554)

ค่าสถิติวัดระดับความกลมกลืน	เกณฑ์ระดับความกลมกลืน	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง	แปลผล
ค่า χ^2/df	< 2	1.112	สอดคล้อง
ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (Goodness of Fit index : GFI)	มีค่าเข้าใกล้ 1	0.9803	สอดคล้อง
ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (Adjusted Goodness of Fit index : AGFI)	$\geq .90$ (เข้าใกล้ 1.00)	0.961	สอดคล้อง
ค่าดัชนีวัดความกลมกลืนเปรียบเทียบ (Comparative Fit index : CFI)	$\geq .90$ (เข้าใกล้ 1.00)	0.999	สอดคล้อง
ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของส่วนเหลือ (Root Mean Square Residual : RMR)	< .08 (เข้าใกล้ 0)	0.018	สอดคล้อง
ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error of Approximation : RMSEA)	< .08 (เข้าใกล้ 0)	0.005	สอดคล้อง

นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบหลักทั้ง 4 องค์ประกอบ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทุกด้าน แสดงว่าองค์ประกอบหลักทั้ง 4 องค์ประกอบมีความสอดคล้องกันกับทฤษฎีโดยรวมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยองค์ประกอบที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ การให้คำแนะนำ (.975) รองลงมาคือ การจัดการ (.960) การจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน (.954) และการประเมินผล (.944) ตามลำดับ และมีความเที่ยงของการพยากรณ์ของแต่ละองค์ประกอบ (R^2) ซึ่งอธิบายค่าความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบทั้ง 4 ด้านมีค่าตั้งแต่ .892 ถึง .950 รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 1

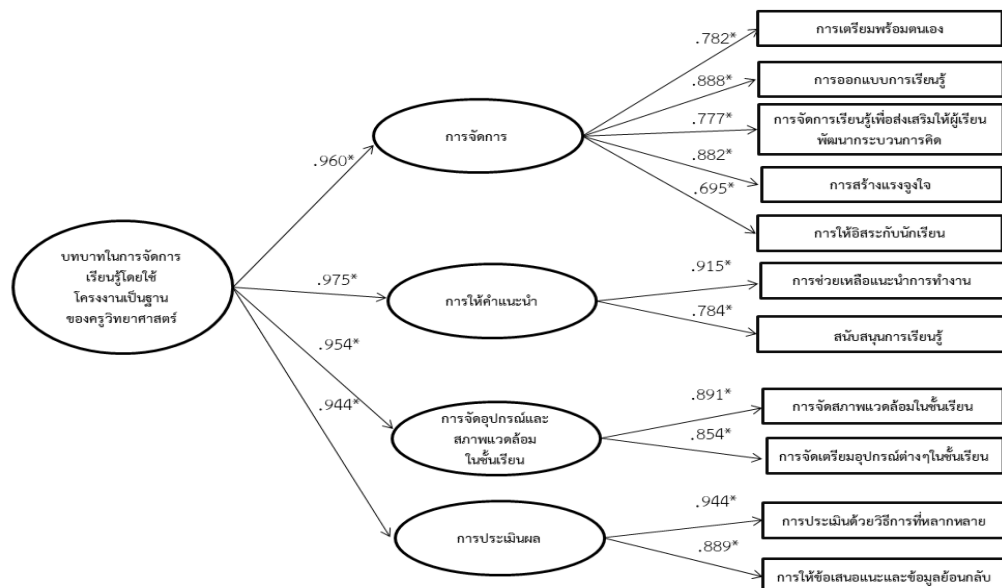
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของโมเดลบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้
โครงการเป็นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา

ตัวแปรแฝง	ตัวแปรสังเกตได้	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ			
		bsc	S.E.	t	R ²
วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง					
การจัดการ	การเตรียมพร้อมตนเอง	0.782	<- ->	<- ->	0.612
	การออกแบบการเรียนรู้	0.888	0.056	20.281*	0.788
	การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนากระบวนการคิด	0.777	0.066	15.529*	0.604
	การสร้างแรงจูงใจ	0.882	0.062	18.182*	0.788
	การให้โอสร่กับนักเรียน	0.695	0.049	13.529*	0.483
การให้คำแนะนำ	การช่วยเหลือแนะนำการทำงาน	0.915	<- ->	<- ->	0.837
	การสนับสนุนการเรียนรู้	0.784	0.043	19.044*	0.615
การจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน	การจัดสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน	0.891	<- ->	<- ->	0.795
	การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในชั้นเรียน	0.854	0.044	21.079*	0.729
การประเมินผล	การประเมินด้วยวิธีที่หลากหลาย	0.944	<- ->	<- ->	0.891
	การให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลย้อนกลับ	0.889	0.033	26.724*	0.791
วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง					
การจัดการ		0.960	<- ->	<- ->	0.922
การให้คำแนะนำ		0.975	0.074	17.616*	0.950
การจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน		0.954	0.076	16.551*	0.909
การประเมินผล		0.944	0.075	17.536*	0.892

Chi-square=31.143 df=28 , p=0.311, $\chi^2/df=1.112$, RMSEA=0.005 , RMR=0.018,
GFI=0.9803, AGFI=0.961 , CFI=0.999

หมายเหตุ ** p<0.05, bsc หมายถึง ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

เครื่องหมาย <- -> หมายถึง พารามิเตอร์บังคับจึงไม่รายงานค่า SE และ t



ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองของโมเดลบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา

วิจารณ์

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน ของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา ของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สอง ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การจัดการ การให้คำแนะนำ การจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน การประเมินผล มีองค์ประกอบย่อยทั้งสิ้น 11 องค์ประกอบ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ เชิงยืนยันลำดับที่สองพบว่า องค์ประกอบหลัก 4 องค์ประกอบมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักทั้ง 4 องค์ประกอบนั้นมีความสำคัญและส่งผลต่อบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน ของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

องค์ประกอบหลักด้านการให้คำแนะนำ เป็นบทบาทสำคัญของครูช่วยให้นักเรียนตรวจสอบแนวคิดของตนเอง ช่วยในการสนับสนุนการเรียนรู้ของผู้เรียน เนื่องด้วยการจัดทำโครงงานวิทยาศาสตร์นั้น ต้องใช้ทักษะกระบวนการและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนอาจเกิดปัญหาหรือข้อสงสัย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของฐานตรา จังและสภาพร วรรณวิจารณ์ (2556) ได้กล่าวถึงความสำคัญบทบาทของครูที่ปรึกษาโครงงานงานวิทยาศาสตร์ว่า คำชี้แนะจากครูผู้ที่มีประสบการณ์จะช่วยชี้แนวทางในการหาคำตอบให้กับนักเรียน และช่วยจัดอุปกรณ์ของโครงงาน อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Tan and Chapman (2016) ได้กล่าวว่า การชี้แนะและให้ความช่วยเหลือ นักเรียนของครูทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ ช่วยให้นักเรียนได้ก้าวข้ามจากผู้รับความรู้เป็นผู้สร้างองค์ความรู้

องค์ประกอบกับการประเมินผล เป็นบทบาทครูที่สำคัญในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานงานเป็นฐาน มีส่วนสำคัญ ช่วยตรวจสอบผู้เรียนเป็นรายบุคคล อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รับการประเมินที่หลากหลาย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Patton (2012) การประเมินที่หลากหลายจากแหล่งข้อมูลฯ ช่วยเชื่อมต่อที่สำคัญกับกระบวนการเรียนรู้แก่นักเรียนและมีส่วนร่วมในการอภิปรายเพื่อแสดงข้อมูลตอบกลับ อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Boss and Larmer (2020) กล่าวว่า การประเมินผลมีส่วนสำคัญช่วยให้ทราบว่าการเรียนทำงานบรรลุเป้าหมาย และเกิดการความเชี่ยวชาญหรือไม่

องค์ประกอบหลักด้านการจัดการ เป็นบทบาทสำคัญของครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ จัดกิจกรรมส่งเสริมการคิดให้อิสระแก่ผู้เรียนมีส่วนร่วมให้ผู้เกิดการพัฒนาทักษะและสร้างองค์ความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Blumenfeld et al. (1991) ได้กล่าวว่า การจัดการออกแบบและจัดกิจกรรมส่งเสริมการคิด จะช่วยให้นักเรียน ทราบโครงสร้างการเรียนรู้ กระบวนการคิด โดยเฉพาะนักเรียนที่ไม่เชี่ยวชาญในการใช้กลวิธีการคิด อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Bo and Li (2015) กล่าวว่า การออกแบบการเรียนรู้ของครูในส่วนของการสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ก่อนนักเรียนช่วยให้นักเรียนเกิดแรงบันดาลใจในการเรียน การใช้กลยุทธ์การเรียนการสอนที่หลากหลายสามารถปลูกฝังความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน

องค์ประกอบหลักด้านการจัดสภาพแวดล้อมชั้นเรียน เป็นอีกประกอบหลักหนึ่งที่สำคัญเนื่องด้วยการจัดรูปการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานนั้นมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการทำงานกลุ่ม การจัด

สภาพแวดล้อมในชั้นเรียนมีส่วนสำคัญช่วยให้การดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เป็นไปอย่างราบรื่น นักเรียนมีพื้นที่ในการทำกิจกรรมกลุ่ม แลกเปลี่ยนแนวคิดเพื่อต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Chard (2014) ได้กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงห้องเรียนแบบดั้งเดิมเป็นสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการเรียนรู้ที่เน้นโครงงาน จะเกิดเป็นชุมชนที่แลกเปลี่ยนเรียนรู้แบบตอบโต้ สมาชิกพัฒนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การทำงานอย่างอิสระแก่ผู้เรียน อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Stronge et al. (2004) กล่าวว่า การจัดสภาพแวดล้อมทางกายภาพในชั้นเรียนช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ในชั้นเรียน กระบวนการทำงานกลุ่มและช่วยให้ครูสามารถเดินไปรอบ ๆ ห้องเพื่อติดตามความก้าวหน้าของนักเรียนได้อย่างอิสระ

จากการวิจารณ์ที่กล่าวมาข้างต้น องค์ประกอบหลักทุกด้านเป็นบทบาทสำคัญของครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน ซึ่งระดับการปฏิบัติของครูทุกองค์ประกอบอยู่ในระดับดี ดังนั้นหน่วยงานต้นสังกัดหรือสถานศึกษาควรมุ่งเน้นพัฒนาเสริมสร้างความรู้และทักษะครูผู้สอน เพื่อยกระดับการแสดงผลบทบาทในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ในระดับดีให้มีประสิทธิภาพในระดับดีมากต่อไป

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา จึงควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ในระดับอื่นๆและต่างสังกัด หรือขนาดโรงเรียน เพื่อตรวจสอบข้อค้นพบอย่างคงเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลและพัฒนาเป็นตัวบ่งชี้บทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา นำไปใช้เป็นสารสนเทศเพื่อพัฒนาและประเมินผลครูวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานในระดับชั้นต่างๆต่อไป

สรุป

จากการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและตรวจสอบความตรงของโมเดลบทบาทในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานของครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา ซึ่งผู้วิจัยอยากทราบว่า องค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานนั้นมี 4 องค์ประกอบหลัก 11 องค์ประกอบย่อย และมีความเหมาะสมสอดคล้องกับบริบทครูวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ หรือไม่ ผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษา มี 4 องค์ประกอบหลัก 11 องค์ประกอบย่อย โดยองค์ประกอบหลักที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุดคือด้านการให้คำแนะนำ (.975) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การช่วยเหลือแนะนำการทำงาน (.915) การสนับสนุนการเรียนรู้ (.784) รองลงมาคือองค์ประกอบหลักด้านการจัดการ (.960) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การออกแบบการเรียนรู้ (.888) การสร้างแรงจูงใจ (.882) การเตรียมพร้อมตนเอง (.782) การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนากระบวนการคิด (.777) การให้อิสระกับนักเรียน (.695) องค์ประกอบหลักด้านการจัดอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน (.954) องค์ประกอบย่อย ได้แก่ การจัดสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน (.891) การจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆในชั้นเรียน (.854) และองค์ประกอบหลักด้านการประเมินผล (.944) มีองค์ประกอบย่อย ได้แก่ การประเมินด้วยวิธีที่หลากหลาย (.944) การให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลย้อนกลับ (.889) ตามลำดับ โดยโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

เอกสารอ้างอิง

- กริช แรงสูงเนิน. 2554. การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย SPSS และ AMOS เพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ : วิ.พรีน 1991.
- ฐานุตรา จัง และ สถาพร วรรณชนวิจารณ์. 2556. นิตยสาร สสวท. ปีที่ 41 ฉบับที่ 181. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 43-44.
- ดุขฎิ โยเหลา และ คณะ. 2557. การศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบ PBL ที่ได้จากโครงการสร้างชุดความรู้เพื่อสร้าง เสริมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ของเด็กและเยาวชน: จากประสบการณ์ความสำเร็จของโรงเรียนไทย. กรุงเทพฯ : หจก. ทิพย์วิสุทธิ์.
- พรณิ สักกวิวัฒน์. 2558. วิธีการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ อุดสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ลัดดา ภูเกียรติ. 2552. การสอนแบบโครงงานและการแบบใช้วิจัยเป็นฐาน: งานที่ครูประถมทำได้. กรุงเทพมหานคร: บริษัท สาอะแอนด์ซันพรีนติ้ง จำกัด.
- ลัดดา คีลน้อย และอังคณา ตุงคะสมิต. 2556. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ “ยกระดับ ครูสังคมศึกษา สู่ประชาคมอาเซียน (ASEAN Community) ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21” วันที่ 8-9 มีนาคม พ.ศ. 2556 สาขาวิชา สังคมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ภาพสิทธิ์: ภาพสิทธิ์ การพิมพ์.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. 2558. การจัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน : www.thaischool.in.th/site/download.php. (25 สิงหาคม 2562)
- วิจารณ์ พานิช. 2555. วิธีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ ๒๑.-- กรุงเทพฯ : มูลนิธิสดศรี- สฤษดิ์วงศ์สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. 2558. การจัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน : www.thaischool.in.th/site/download.php. (25 สิงหาคม 2562)
- Alec Patton. 2016. Work that matters The teacher's guide to project-based learning. Published by the Paul Hamlyn Foundation February 2012. 50-51:96.
- Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. 1991. Motivating projectbased learning: Sustaining the doing, supporting the learning. Educational Psychologist.
- John Larmer, John Mergendoller, Suzie Boss . 2015. Adapted from setting the standard fore project Basd Learning : A proven Approachus classroom Instrution. from: PBL Work.org (10 July 2019)
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., & Anderson, R.E. 2010. Multivariate Data Analysis. Seventh Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River; New Jersey.
- JIANG Bo, LIU Li . 2015. “Teacher as a Designer of Project-Based Learning Practice”. US-China Foreign Language, June 2015, Vol. 13. 437-441.
- Stronge, J. H., Tucker, P. D., & Hindman, J. L.. 2004. Handbook for qualities of effective teachers. Alexandria, Va; Association for Supervision and Curriculum Development.
- Sylvia C. Chard. 2014. Classroom as a Learning Environment. Retrieved from: <http://projectapproach.org/special-topics/classroom-learning-environment> (10 July 2019)
- Suzie Boss ,John Larmer. 2020. 7 teaching practices that lead to PBL success.Retrieved from: <https://www.k12insight.com/trusted/project-based-learning> (10 July 2019)
- Joseph C.L. Tan and Anne Chapman. 2016. Project-Based Learning for Academically-Able Students, Rotterdam /Boston/Taipei; Sense publishers.

Characterization of Ionospheric Scintillation Index over low latitude: Nepal Region

Kutubuddin Ansari¹, Tae-Suk Bae¹, Punyawati Jamjareegulgarn^{2*}, Shakera Khan³ and Soo-Hyeon Lim¹

¹ Department of Geoinformation Engineering, Sejong University, Seoul, South Korea

² Department of Engineering, KMUTL, Prince of Chumphon, Chumphon, Thailand

³ Department of Biotechnology, Suresh Gyan Vihar University, Jaipur, India

*Corresponding author: Punyawati Jamjareegulgarn, E-mail address: kjpunyaw@kmutl.ac.th

Abstract

The ionospheric scintillation is a rapid phase and amplitude fluctuation of satellite signals due to the small-scale irregularity of electron density in the ionosphere. The characterization of the scintillation index in a proper way is a crucial aspect of the Global Positioning System (GPS) satellite signals for the purpose of space-based navigation, satellite communication, space weather as well as earth observation applications. In the current study, we analyzed the ionospheric scintillation index during the year of 2018 to 2019 over the Nepal region which locates itself almost being sandwiched between India and China and in the vicinity of low latitudes. The characteristic variations of scintillation occurrence are studied during the several geomagnetic storm and quiet days. The results show that the S4 indexes are varying from the 0.05 to 0.45 during the whole year. The S4 indexes behave higher variations during the whole day in the starting of the year and start to decrease at end of the day as well as at the ending months of the year 2019. The S4 values become completely less during the sunset time, while they have higher values during the sunrise. Especially, the S4 index during the storm days are larger than during the quiet days. It is worthy to note that the variations of S4 index studied in this current study do not follow the sunset property during the year of 2019. Consequently, the causes should be discovered and discussed additionally in the next research paper.

Keywords: Ionosphere, Nepal, Scintillation index, Storm days, Quiet days

1. Introduction

The ionospheric irregularities in the low latitude and equatorial regions are remained a challenging task for the ionospheric investigators in the last decades. The issue of ionospheric irregularities is mainly related to the complex interaction of several physical activities which are responsible for large scale growth and decay in F region are known as plasma bubbles (Srinivasu et al., 2018). The phase and amplitude of the radio waves during the passing through the ionospheric F region fluctuate rapidly and randomly are called scintillations. These scintillations sometimes effect the and creates issue on the well performing of the navigation and communication system (Wernik, Alfonsi, & Materassi, 2007). This type of events generally occurs during the dusk or after the dusk in the equatorial regions, may occur at any daytime at the polar regions. It is noticed mainly at the equatorial areas, least at mid-latitude while lesser at high-latitude regions (Akala et al., 2012). Global Positioning System (GPS) signal travel from satellite to the receiver are used to monitor the atmospheric error such as ionosphere and troposphere as well as crustal deformation (Ansari & Corumluoglu, 2016; Ansari, Althuwaynee, & Corumluoglu, 2016; Ansari, 2014). Ionospheric scintillations are able to reduce the phase and pseudorange measurements accuracy and sometimes may become responsible for significant weakening in accuracy of GPS or even lead to a complete failure of the system (Moraes et al., 2014). The scintillation, in extreme cases can be cause of full disturbance for the operating receiver (Rezende et al., 2007). Hence, the scintillation mitigation is a complex process for dual-frequency GNSS receivers. It is well-known that the scintillation occurrence is related to solar activity, local time, season, geomagnetic activity, and geographical location. The accurate positioning and signal availability of space and ground based augmentation systems (SBAS and GBAS) have been affected during extreme equatorial ionospheric scintillations. Moreover, during severe scintillations, the carrier-to-noise ratio below 30 dB-Hz can result in the satellite signal outages. Several studies on the distribution and morphology of scintillation known as “scintillation climatology” is very important so as to mitigate the above-mentioned problems. Several observations related to climatology and dynamics of irregularities near the equatorial low-latitude zone have been reported earlier. For example, Sreeja et al. (2012) investigated the correlation between scintillation levels and Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver tracking performance for both Global Positioning System (GPS) and GLONASS signals. Their results showed that the signals with lower transmitting frequency are more affected under scintillation. Meanwhile, Moraes et al. (2012) investigated the fading characteristics based on one month’s scintillation data collected at low latitudes and built the relationship between fading duration and the occurrence probability of cycle slips. They found that the performance of a GPS receiver

with CNR (carrier-to-noise ratio) threshold around or higher than 30 dB-Hz could be severely influenced by deep fading. Afterwards, Jiao et al. (2016) studied the scintillation characteristics on GPS L1, L2C and L5 signals at the equatorial region. They reported that the fading rarely occurs on all GPS bands at the same time. Likewise, Seo et al. (2016) studied the signal fading because of ionospheric scintillation by using the intermediate frequency (IF) data and a commercial software receiver. Here, a fading model was also constructed to be beneficial for designing an aviation receiver. Moreover, Srinivasu et al. (2018) reported the scintillation effects on various types of GNSS signals over Indian zone using the multi-GNSS observations. They found that the impact of scintillation intensity also relies on the visible satellites of selected GNSS system in conjunction with solar and seasonal effects. The characteristics of temporal and spatial amplitude scintillations and their distributions of percentage occurrence during year 2013 are also studied over both Indian equatorial station, Bengaluru and EIA region, Lucknow (Sahithi et al., 2019). Here, the impact of geomagnetic quiet and disturbed days in the high solar activity period of the 24th solar cycle has also been investigated on GNSS systems. Although numerous literatures have been proposed to investigate the ionospheric scintillation in different parts of the globe, however, the scintillation has never been studied over Nepal region, an interesting boundary between low latitude and midlatitude. Therefore, we studied and analyzed the ionospheric scintillation index during the year of 2018 to 2019 over Nepal region in the vicinity of low latitudes in this current study. The characteristic variations of scintillation occurrence are studied during the several geomagnetic storm and quiet days. The main objective of this study is to understand the probability of scintillation occurrence over Nepal region.

2. Data Used

In the present study, we tried to investigate the effects of scintillation over the GPS sites from Nepal during the year of 2018 and 2019. Geographically the boundary of Nepal is presented by trapezoidal (approximately) shape with length and width of 800 and 200 km respectively (area around 147,181 km²). In terms of geographical coordinates, the country lies between 26° to 31°N latitudinal and 80° to 89°E longitudinal directions (Ansari, 2018; Ansari et al., 2019). The major part of the country is surrounded by India from three sides (except north) while northern part is bounded by Tibet, China (Figure 1). The GPS observation data in rinex formats for five GPS sites all over Nepal has been accessed from UNAVCO archives (<ftp://data-out.unavco.org/pub/rinex/>) and processed with the GPS-TEC analysis software (Seemala & Valladares, 2011).

We chose the maximum elevation height ($h_{\max}=350$ km), the elevation angle ($\alpha=20^\circ$), and the radius of the earth ($R_E = 6378$ km) during the processing of GPS data (Sharma, Ansari & Panda, 2018).

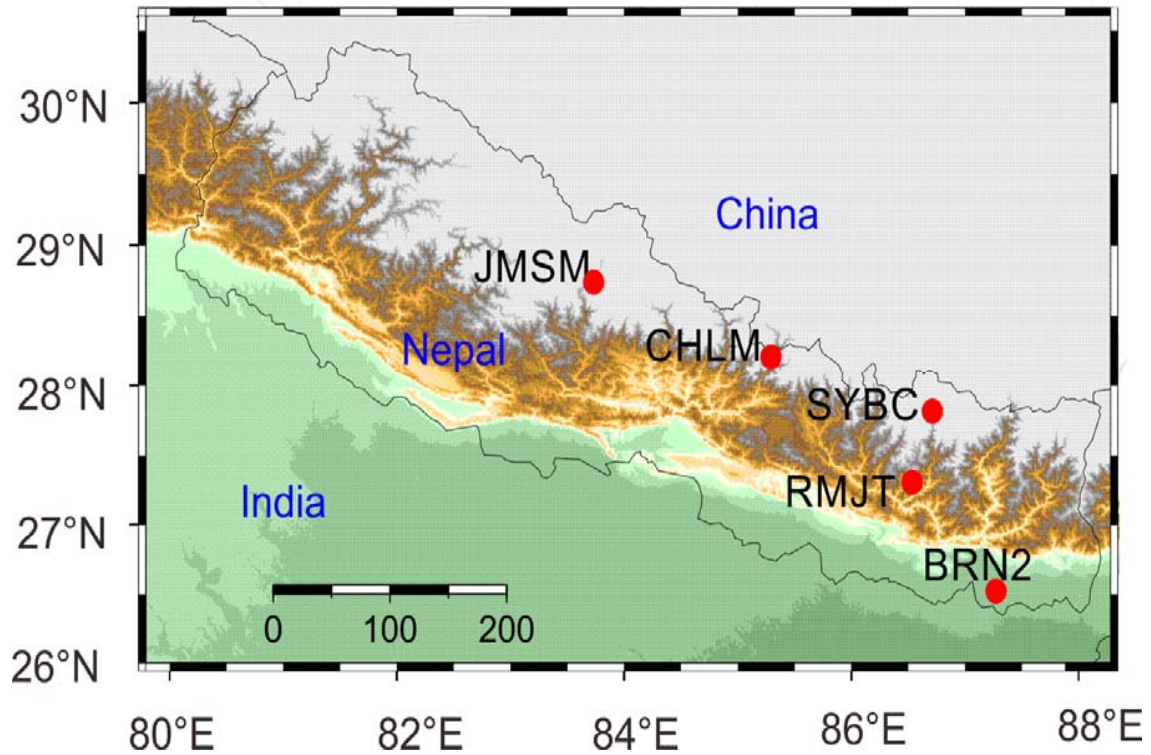


Figure 1 GPS selected sites over Nepal for the current study

3. Ionospheric Scintillation Index

Ionospheric scintillation is a stochastic (random) phenomenon concerning the phase and amplitude fluctuations of GNSS signals. In severe situations, the scintillation can lead to the loss of signal locking (or cycle slip). It is worthy to note that the effects of scintillation are not removed by dual-frequency observations. Hence, Trimble has formulated a global ionospheric scintillation sounding network to detects scintillation effects and provides up-to-date warning information on scintillation effects in different parts of the globe. The scintillation generally occurs in equatorial regions after sunset for several hours, whereas it can exist at any time over polar regions. A map showing the current ionospheric scintillation activity can be found on the <http://www.trimbleionoinfo.com/Images.svc/SCINTI>. The intensity of amplitude scintillation is commonly indicated by amplitude scintillation (S4 index), which is the normalized standard deviation of the signal power/intensity, given by (Dierendonck & Arbesser-Rastburg 2004). The scintillations index climatological amplitude for the geomagnetic quiet and disturbed days during the investigation period (2018 - 2019) is conversed according to the geomagnetic Dst index. The scintillation amplitude is measured by computing the S4 index. The occurrence percentage of S4 index is calculated by the following expression.

$$\text{Percentage of Occurrence} = \frac{X(S4 > \text{Threshold})}{X_{\text{total}}} \quad (1)$$

where X stand for the S4 index amplitude sample space and Xtotal means the total number of S4 values. Generally, the S4 amplitude is characterized as a strong scintillation when $S4 > 0.8$, moderate scintillation when $0.5 < S4 < 0.8$ and weak scintillation when $0.2 < S4 < 0.5$ (Abadi, Saito, & Srigutomo, 2014). The threshold value can be chosen any number, for example, the threshold value 0.2 is chosen by Sahithi et al. (2019) in their investigation. In the current study we took the threshold value of 0.05.

4. Result and Discussion

The daily variation of S4 values during the year of 2019 is shown in Figure 2. The horizontal axis in given figure shows the daily (or monthly) variation of S4 and the vertical axis presents the local time. The color bar in the figure is the indication of S4 variation. It is clear from the figure that the S4 values during the whole year are varying from the 0.05 to 0.45. The S4 indexes have higher variations during the whole day in the starting of the year. These values start to decrease at end of the day and at the ending months of the year 2019. The S4 values become completely less during the sunset time, while they have higher values during the sunrise. The observed scintillation peak during the noon time possibly related to the precipitation into the daytime (Tiwari et al., 2012). As we already discussed in the introduction section that the ionospheric scintillation is a phenomenon that occurs after sunset, especially in the low-latitude regions, affecting radio signals that propagate through the ionosphere. Here, Nepal is in the upper low latitude region, but the variations of S4 index do not follow the sunset property during the year of 2019. These are the complicated issues which we need to find the causes. Here, we presented the initial results, and then we will try to discuss more analysis in the next research paper.

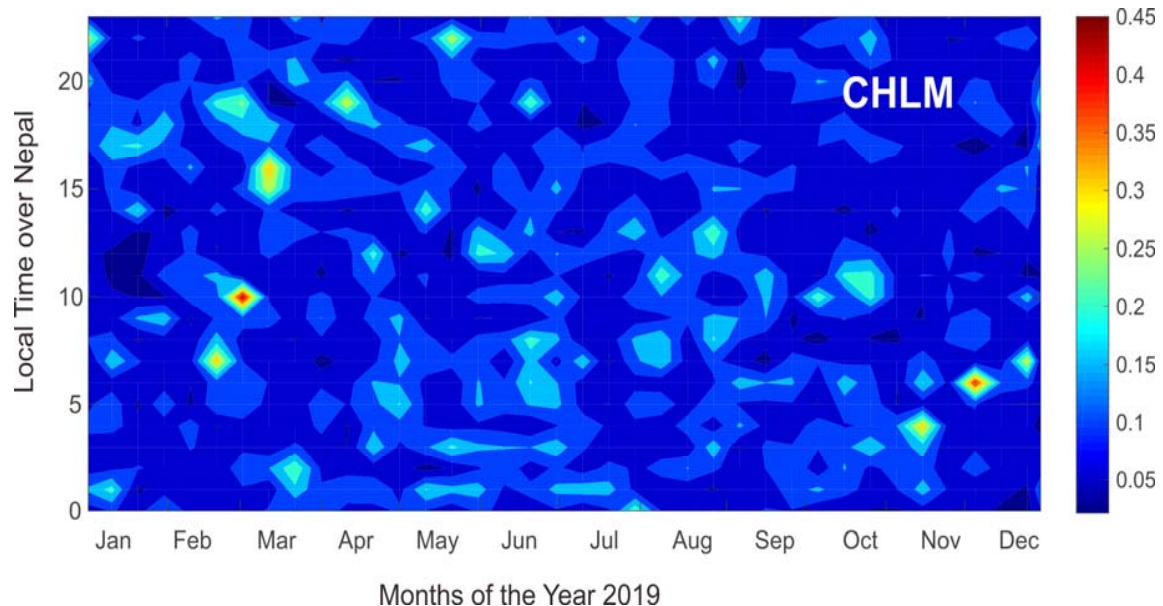


Figure 2 Annual variations of amplitude scintillations over CHLM stations during the year 2019

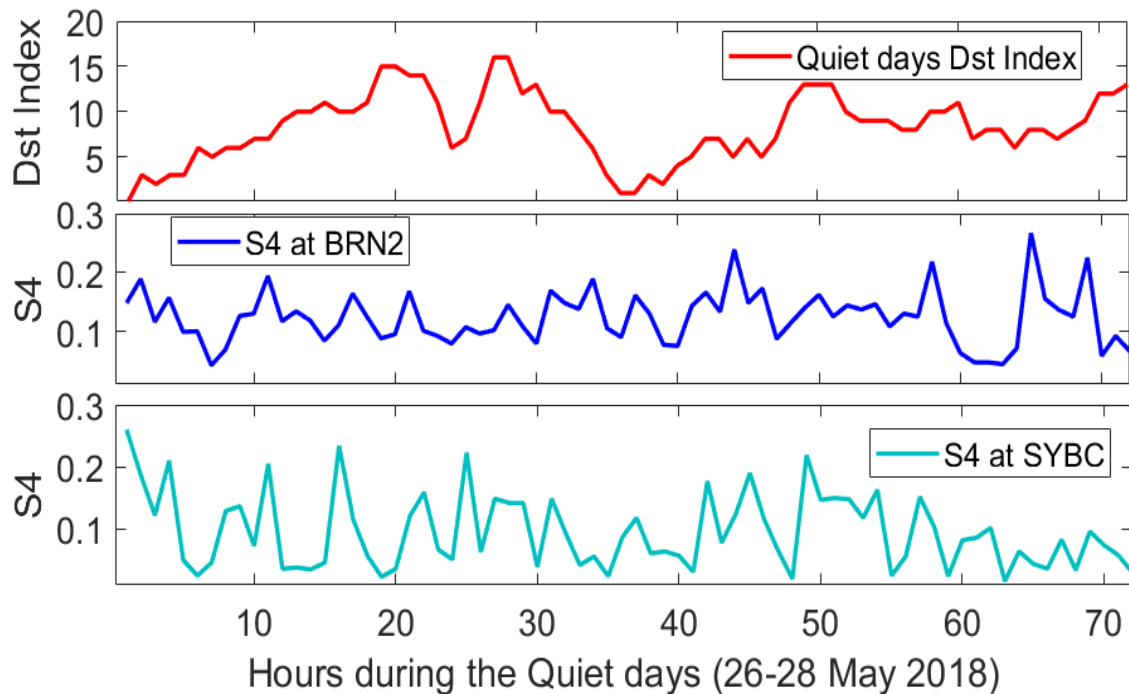


Figure 3 The temporal variations of S4 Index values representing the amplitude scintillations at BRN2 and SYBC during the quiet days (26-28 May 2018) with respect to Dst Index

We selected the quiet days (26 - 28 May 2018) S4 index variation two selected GPS sites over Nepal named BRN2 and SYBC as shown in Figure 3. We can see from the top panel of the figure that Dst values are varying from 0 to 20 which indicates the geomagnetic quiet days. The S4 values in figure are lies between 0.05 to 0.30. Similarly, the for the storm days we choose the days (25 - 27 Aug 2018) S4 index and plotted them with Dst index as shown in Figure 4. It is clear from Dst index that lies between around -180 to 20 presenting storm days effect. The value of S4 during the storm days is noted around 0.05 to 0.40 which means that the S4 index during the storm days are larger compared to the quiet days. The same results can be found and discussed additionally in Tiwari et al. (2012). The occurrence of scintillations is increasing as Dst increased indicates the dependency on magnetic activity. This happened due the large-scale ionospheric structure of enhanced electron density during the storm days compared to quiet days. These variations may be associated with the occurrence of the polar patches which increased about 2 TEC units in the duration of about 30 minutes (Basu et al., 1998). The high electron density polar patches generate scintillation in the signal and large enhancement in the TEC values (Basu et al., 1998; Tiwari et al., 2012).

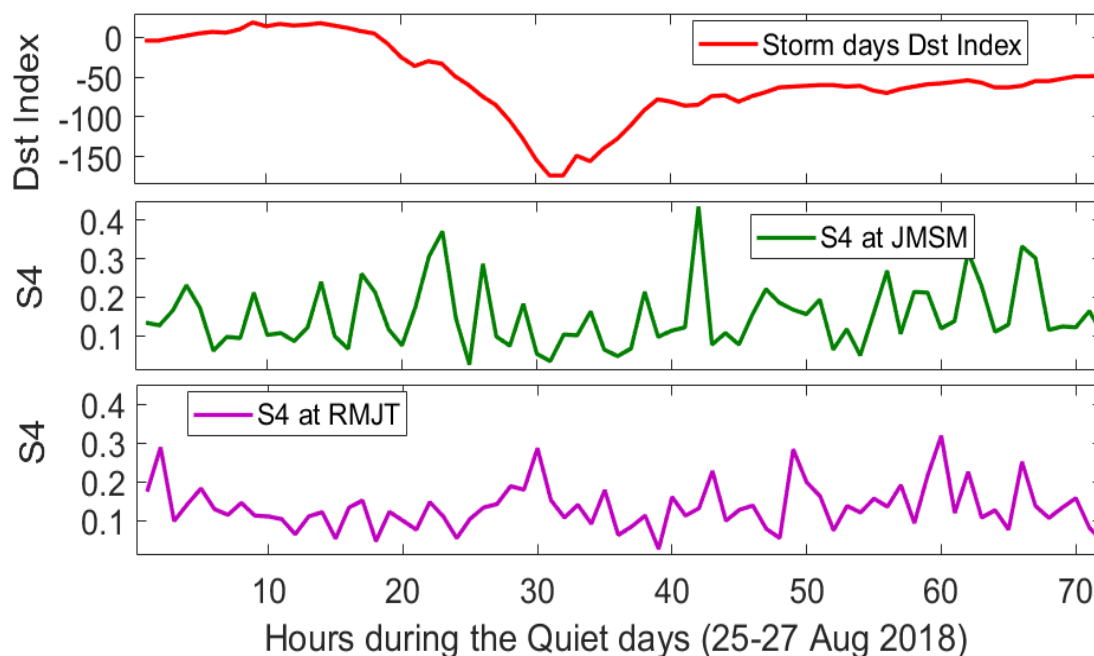


Figure 4 The temporal variations of S4 Index values representing the amplitude scintillations at JMSM and RMJT during the storm days (25-27 Aug 2018) with respect to Dst Index

5. Conclusion

We used the GPS data located over Nepal for the year of 2018 and 2019 and investigated the S4 index variation during the diurnal, quiet and storm days. The S4 values become completely less during the sunset time, while they have higher values during the sunrise in the year of 2019. The S4 values are higher during the storm days, while they are low values during the quiet days in the year of 2019. These are the just initial results; we will thoroughly discuss about the results in our next research paper. Finally, we hope that our proposed approach in this current study will help to understand the probability of scintillation occurrence over Nepal region.

6. Acknowledgements

This research is financially supported by academic melting pot of KMITL research fund (grant No. KREF 206238). The authors are appreciated to both Caltech Tectonics Observatory and UNAVCO (<ftp://data-out.unavco.org/pub/rinex/>) for providing the GPS data of several stations over Nepal region. We also thank sincerely to Seemala and Valadares for providing TEC analysis and to the reviewers for their useful comments and suggestions.

7. References

- [1] Abadi, P., Saito, S., & Srigutomo, W. (2014). Low-latitude scintillation occurrences around the equatorial anomaly crest over Indonesia. *Annales Geophysicae*, 32(1), 7-17, DOI: 10.5194/angeo-32-7-2014
- [2] Akala, A. O., Doherty, P. H., Carrano, C. S., Valladares, C. E., & Groves, K. M. (2012). Impacts of ionospheric scintillations on GPS receivers intended for equatorial aviation applications. *Radio Science*, 47(04), 1-11.
- [3] Ansari, K., Althuwaynee, O. F., & Corumluoglu, O. (2016). Monitoring and prediction of precipitable water vapor using GPS data in Turkey. *Journal of applied geodesy*, 10(4), 233-245. DOI: 10.1515/jag-2016-0037
- [4] Ansari, K., Gyawali, P., Pradhan, P.M., & Park, K. D. (2019). Coordinate transformation parameters in Nepal by using neural network and SVD methods. *Journal of Geodetic Science*, 9(1), 22-28, DOI: 10.1515/jogs-2019-0003
- [5] Ansari, K. & Corumluoglu, O. (2016). Ionospheric observation over Turkey by using Turkish permanent GPS stations. *International Conference on Agricultural, Civil and Environmental Engineering (ACEE-16)*, Istanbul, Turkey, 32-36. DOI: 10.17758/URUAE.AE0416224
- [6] Ansari, K. (2014). Quantification of slip along deformation using Finite Element Method. *Journal of research in environmental and earth sciences*, 1(1), 25-28.
- [7] Ansari, K. (2018). Crustal deformation and strain analysis in Nepal from GPS time-series measurement DOI: 10.1007/s00531-018-1633-7
- [8] Basu, S., Weber, E.J., Bullett, T.W., Keskinen, M.J., MacKenzie, E., Doherty, P., Sheehan, R., Kuenzler, H., Ning, P. and Bongiolatti, J. (1998). Characteristics of plasma structuring in the cusp/cleft region at Svalbard. *Radio Science*, 33(6), 1885-1899.
- [9] Dierendonck, A. J. V., Arbesser-Rastburg, B. (2004). Measuring Ionospheric scintillation in the equatorial region over Africa, including measurements from SBAS geostationary satellite signals. *Proceedings of ION GNSS 2004*, Long Beach, CA, 21-24 September 2004, 316-324.
- [10] Jiao, Y., Dongyang, X., Morton, Y., Rino, C. (2016). Equatorial scintillation amplitude fading characteristics across the GPS frequency bands. *Navigation*, 63, 267-281. DOI: 10.1002/navi.146
- [11] Moraes, A. D. O., Costa, E., De Paula, E. R., Perrella, W. J., & Monico, J. F. G. (2014). Extended ionospheric amplitude scintillation model for GPS receivers. *Radio Science*, 49(5), 315-329.
- [12] Moraes, A. D. O., Rodrigues, F. D. S., Perrella, W. J., Paula, E. R. D. (2012). Analysis of the characteristics of low-latitude GPS amplitude scintillation measured during solar maximum conditions and implications for receiver performance. *Surveys in Geophysics*, 33(5), 1107-1131, DOI: 10.1007/s10712-011-9161-z
- [13] Rezende, L. F. C. D., De Paula, E. R., Kantor, I. J., & Kintner, P. M. (2007). Mapping and survey of plasma bubbles over Brazilian territory. *The Journal of Navigation*, 60(1), 69-81.
- [14] Sahithi, K., Sridhar, M., Kotamraju, S. K., Kavva, K. C. S., Sivavaraprasad, G., Ratnam, D.V., & Deepthi, C. (2019). Characteristics of ionospheric scintillation climatology over Indian low-latitude region during the 24th solar maximum period. *Geodesy and Geodynamics*, 10(2), 110-117.
- [15] Seemala, G. K., & Valladares, C. E. (2011). Statistics of total electron content depletions observed the South American continent for the year 2008. *Radio Science*, 46(5).
- [16] Seo, J., Walter, T., Chiou, T. Y., Enge, P. (2016). Characteristics of deep GPS signal fading due to ionospheric scintillation for aviation receiver design. *Radio Science*, 44(1), 1-10, DOI: 10.1029/2008RS004077
- [17] Sharma, S. K., Ansari, K., & Panda, S. K. (2018). Analysis of Ionospheric TEC Variation over

Engineering, 43(7), 3823-3830, DOI: 10.1007/s13369-018-3128-z

[18] Sreeja, V., Aquino, M., Elmas, Z. G., Forte, B. (2012). Correlation analysis between ionospheric scintillation levels and receiver tracking performance. *Space Weather*, 10(S06005), DOI: 10.1029/2012SW000769

[19] Srinivasu, V. K. D., Dashora, N., Prasad, D. S. V. V. D., Niranjana, K., & Krishna, S. G. (2018). On the occurrence and strength of multi-frequency multi-GNSS Ionospheric Scintillations in Indian sector during declining phase of solar cycle 24. *Advances in Space Research*, 61(7), 1761-1775.

[20] Tiwari, S., Jain, A., Sarkar, S., Jain, S., & Gwal, A. K. (2012). Ionospheric irregularities at Antarctic using GPS measurements. *Journal of earth system science*, 121(2), 345-353.

[21] Wernik, A. W., Alfonsi, L., & Materassi, M. (2007). Scintillation modeling using in situ data. *Radio Science*, 42(01), 1-21.

Double-walled Axisymmetric Triaxial Apparatus for Testing Unsaturated Soils

Nutdanai Laichapit and Pongpipat Anantanasakul*

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Nakhon Pathom Thailand

*Corresponding author: Pongpipat Anantanasakul, e-mail address: pongpipat.ana@mahidol.ac.th

Abstract

This paper presents the details of a custom-made axisymmetric triaxial apparatus for testing unsaturated soils. The design of this apparatus was based on the axis translation principle; that is the target suction applied to the specimen is controlled by adjusting the difference in positive pore-air and pore-water pressures. A high air entry ceramic disk located on the bottom cap was employed to prevent pore-air from migrating and dissolving into the part of the apparatus saturated with water. The apparatus featured a double-walled type of mechanism to determine the specimen volume change. Its performance in testing unsaturated soils was evaluated by means of constant water content tests on kaolin clay. In these tests, drainage of the pore water during shear was prevented, while free movement of the pore air was allowed. The observed stress-strain behavior conformed well to the fundamental responses of unsaturated cohesive soils. The results of two identical validation tests exhibited less than 3% differences in the deviator stress, matric suction change and volume change-axial strain relations. Such good agreement among the results of these tests suggested a high level of performance of the double-walled triaxial apparatus to produce repeatable experimental results under axisymmetric triaxial stress states and with constant water content conditions.

Keywords: Unsaturated soil, Double-walled triaxial apparatus, Volume change, Matric suction.

1. Introduction

Unsaturated soils are often encountered in various geotechnical applications such as compacted embankments, earth slopes, spread footings and excavations. Safe and economic design of geostructures with or in unsaturated soils requires sound understanding of the deformational behavior and strength characteristics of these materials. The mechanical responses of unsaturated soils can be effectively studied within the framework of laboratory element tests. Several types of equipment have been introduced over the past decades, including one-dimensional consolidation, direct-shear, ring-shear, axisymmetric triaxial and true triaxial apparatuses [1-5].

For saturated soils, the effective stress (σ') is, essentially, the most influential factor that controls the stress-strain and strength characteristics of the materials. However, Terzaghi's concept of effective stress is not fully applicable for the case of unsaturated soils due to the interaction between the pore air and the pore water in the soil matrix. Based on the framework of multiphase continuum mechanics, Fredlund and Morgenstern (1977) introduced two independent stress state variables that combine the effects of the total stress (σ), the pore-air pressure (u_a), and the pore-water pressure (u_w). These two state variables, namely, the net stress ($\sigma - u_a$) and the matric suction ($\sigma_a - u_w$) separate the effects due to changes in normal total stress from the effects due to changes in pore-water pressure and are used in lieu of the effective stress in characterizing the mechanical behavior of unsaturated soils.

The most distinct aspect of laboratory experiments for unsaturated soils is to create an appropriate suction-controlled environment within the testing apparatus. Several approaches have been proposed, including osmotic and vapor equilibrium techniques for large suctions [7-10] and axis translation technique for low to moderate suction values [6, 12-13]. Perhaps, the axisymmetric triaxial apparatus is the most optimum type of laboratory equipment for testing unsaturated soils. The key reason is that it is simple enough compared to more advanced testing and yet both the stress-strain relationships and the strength characteristics can be observed for a variety of stress paths and magnitudes of strain. Nevertheless, commercially available triaxial apparatuses are still practically inaccessible to the local geotechnical testing industry owing mostly to their complexity and prohibitive cost. This, in one way, impedes the ability of local geotechnical engineers to gain better insight into the mechanical characteristics of unsaturated soils in their routine work and adversely affects the analysis of geostructures related to such soils due to lack of quality design parameters.

This paper attempts to fill such a technical gap. The paper explains the design and fabrication of a double-walled triaxial apparatus that is reliable and yet simple and cost effective. The specific details of the apparatus are provided so as to enable the prospective geotechnical engineers to follow and fabricate such equipment for their own use. The performance of the present apparatus will be evaluated by means of constant water content (CWC) triaxial tests on unsaturated specimens of kaolin clay, and the stress-strain and volume change behavior observed from these tests will briefly be discussed.

2. Descriptions of double-walled axisymmetric triaxial apparatus

2.1 Triaxial cell

The triaxial cell shown in Fig. 1 composes of a top plate and a bottom plate made of stainless steel and acrylic plastic inner and outer cell walls. The inner cell wall encloses the cylindrical soil specimen that is accommodated between a top cap and a bottom cap. The top and bottom plates are circular in shape and measure 200 mm in diameter and 25 mm in thickness. Both acrylic cell walls are 9 mm thick. The outer wall

is 400 mm tall whereas the inner one is 300 mm. A smooth stainless steel piston rod, 19 mm diameter, transfers vertical deviator loads to the specimen during shear. The piston rod is inserted through a bearing housing located at the center of the top plate. The housing's inside is fitted with a PVC sleeve bearing so as to minimize friction while maintaining vertical alignment of the piston rod.

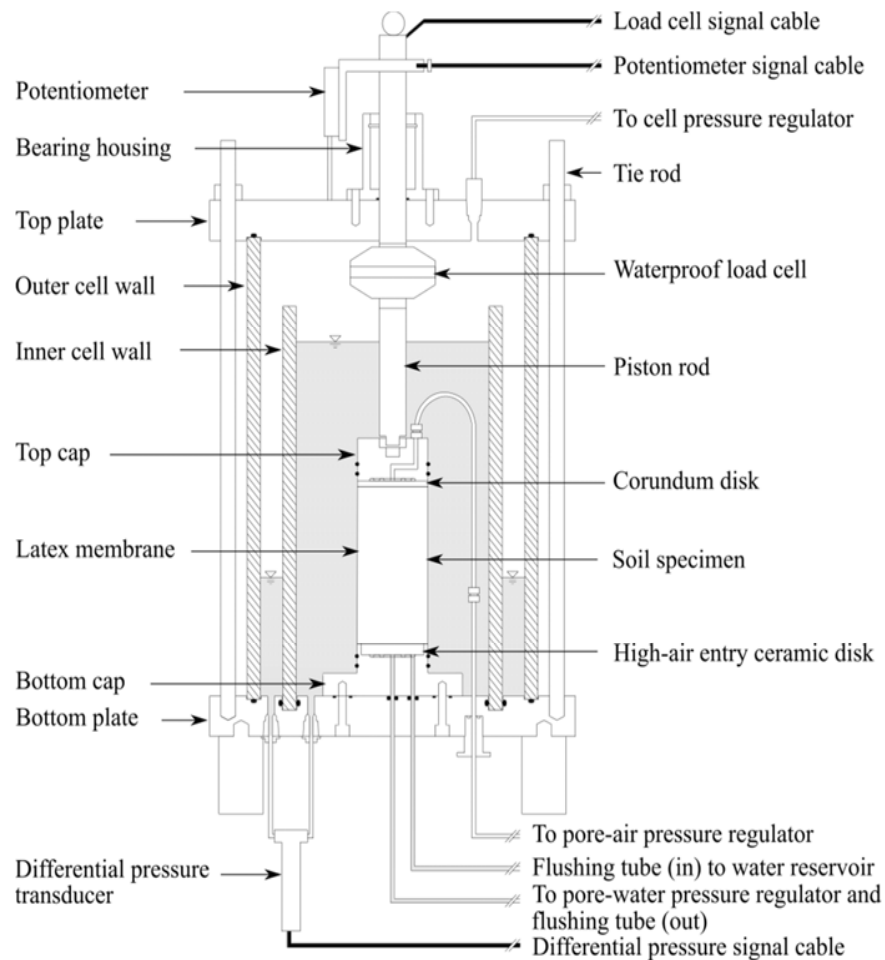


Figure 1 Side-view illustration of double-walled triaxial cell.

The specimen top cap made of Polyoxymethylene (POM) is 50 mm in diameter. The selection of this material was made due to its light weight, high resistance to corrosion and ease for machining. Such a lightweight top cap is highly suitable to test soft and sensitive clay specimens. When stronger soil specimens are tested, top caps made of anodized aluminum or stainless steel should be employed to prevent excessive deformations and possible damage to the caps. The stainless steel bottom cap measures 50 mm in diameter for the top portion. Its enlarged base (100 mm diameter) allows for convenient installation to the bottom plate and provides sufficient space to allocate bottom drain lines. The bottom cap features a recess 7 mm deep and 45 mm diameter on its top face, allowing for placement of a high air entry ceramic disk (HAECD) 7 mm thick and 42 mm diameter. HAECDs are an essential element for laboratory experiments of unsaturated soil specimens in which matric suction is applied. A HAECD is usually made of fine hydrophilic ceramic. It permits water to flow through the ceramic while stopping airflow as long as the air entry value is not exceeded. High strength epoxy filled in the side lash between the HAECD and the bottom cap bonds the two components together and prevents leakage of the pore water and air during testing. The HAECD used in the experimental program presented herewith was manufactured by Soilmoisture Equipment Corporation. It had a

porosity of 32%, a hydraulic conductivity, when fully saturated, of 2.6×10^{-11} m/s and an air entry value of 1,500 kPa.

A top drain line and a bottom drain line, both 3 mm in diameter, enable flow of water and air into the specimen. The top drain line is routed through the top cap and then connected to a high-strength nylon tube that exits the cell through the bottom plate. The bottom drain line is routed straight through the bottom cap and plate as shown in the Fig. 1. The recess of the bottom cap features a groove 3 mm deep cut in a concentrically spiral pattern to promote unidirectional flow of water. One end of the groove at the edge of the recess connects to a flush-in tube, while the other at the center joins the flush-out tube (Fig. 1). Such a groove pattern is essential to achieve satisfactory levels of saturation of the HAECD and the pore-water pressure measurement unit prior to testing. This process will be explained later.

2.2 Measurement of specimen volume change

For the case of fully saturated soil mechanics, the specimen volume change can be determined by tracking the amount of pore water that enters or exits the specimen during the course of testing. Volume-change devices (VCD) are employed for such a purpose. Different VCD designs have been introduced [14-16]. However, the compliance (ease of the entering water to trigger and stimulate the measurement mechanism of the VCD) and thus the accuracy may widely differ among them. Measurement of the volume change in this manner requires application of a back pressure to keep the specimen and the employed VCD saturated with incompressible de-aired water at all times.

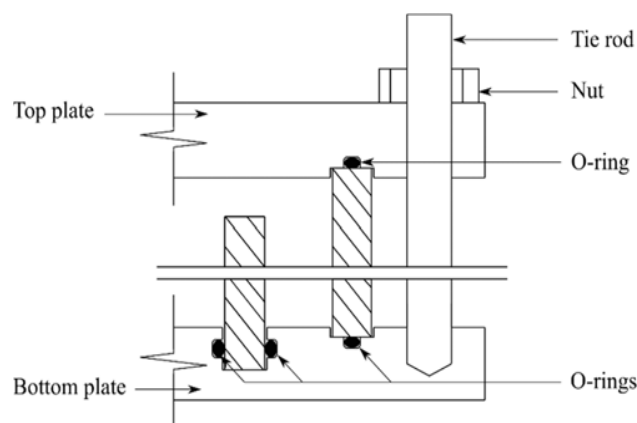


Figure 2 Sealing of water flow between inner cell wall and annulus by compression of o-rings.

For unsaturated soils, both air and water are present in the void spaces between the solid particles, and the total volume change is the sum of the volume change of air and that of water. Measurement for the water component of the volume change can be performed using the same technique as for fully saturated soil. Measurement for the air component of the volume change, however, is not straightforward, owing to the high compressibility of air and the tendency of air to diffuse into water and through porous membrane. Bishop and Henkel (1962) used a twin-burette system to monitor air-volume change while Adams et al. (1996) and Wulfsohn et al. (1998) employed digital volume-pressure controllers to track the amount of air entering or exiting the specimens. The mentioned methods require rather complicated equipment, and the processes involved are, from a practical standpoint, cumbersome. An alternative approach to measuring the volumetric deformation of unsaturated soils is to directly determine the overall volume change of the specimen. The use of a mercury-filled triaxial cell [17], optical transducers [20], and image-based deformation analysis [21] has been reported for measurement of the specimen's total volume. These techniques, although they have their

merits, are either hazardous for today's practice or still too complicated for routine geotechnical laboratory testing.

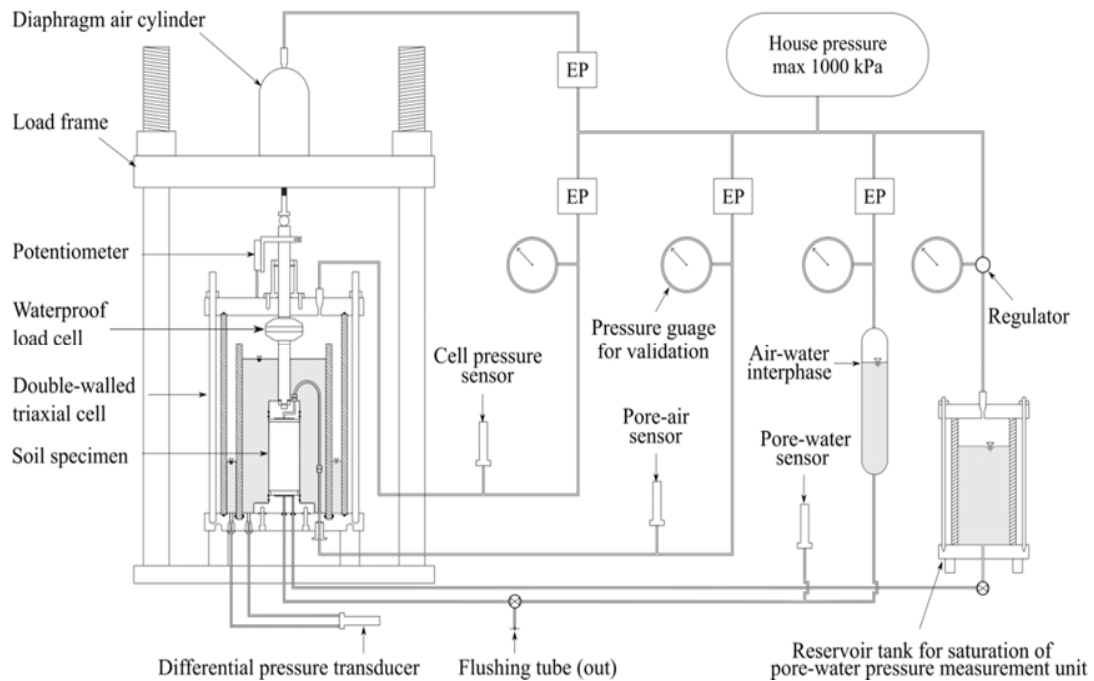


Figure 3 Triaxial cell, pressure control board and instrumentation of double-walled triaxial apparatus.

The highlighted drawbacks may be overcome with the use of double-walled triaxial cells [22]. With this arrangement, another cell wall with a smaller diameter and height is installed inside the conventional triaxial cell. The specimen is accommodated in the inner cell. The annulus and the inner cell are filled with water, and no water flow is allowed between the two spaces. Expansive and contractive specimen volume changes will result in increases and decreases in the water level of the inner cell, respectively. If the water level in the annulus is kept constant as the specimen is consolidated and sheared, a sensitive differential pressure transducer can be used to measure the total specimen volume change by tracking the difference in water levels in the annulus and the inner cell. As the total volume change is known, the air-volume change can be determined by subtracting the water-volume change from it. For the present apparatus, the inner cell wall is installed by inserting it into a groove 10 mm deep cut into the bottom plate. Sealing of water flow between the inner cell and the annulus is achieved by compression of two o-rings placed on the opposite sides of the groove (Fig. 2).

2.3 Application of matric suction with axis translation technique

In common geotechnical applications, negative pore-water pressures ($u_w < 0$) are always present in both natural and compacted unsaturated soils. The pore air in the void space usually interconnects and eventually joins up to the atmospheric pressure. For the case of laboratory triaxial testing, if the applied pore-air pressure is equal to the atmospheric pressure, i.e., $u_a = 0$ (gauge), the matric suction is essentially negative pore-water pressure or tension in the pore water. As the magnitude of matric suction increases and the pore-water pressure decreases toward -101 kPa, the water in the groove or compartment below the HAEC will start to cavitate. This results in the presence of air bubbles, thus leading to erroneous readings of the pore-water pressure. Such a problem can be circumvented with the use of axis translation technique. With this approach, the pore-air pressure is elevated so as to create an artificial atmosphere, in which the pore-water pressure is positive and yet the same matric suction is obtained in the specimen. For instance, an air pressure

of 300 kPa is applied to the specimen, thus also raising the pore-air pressure by the same amount. The pore-water pressure is increased to 100 kPa beneath the ceramic disk with an air entry value of, e.g., 500 kPa. The matric suction is 200 kPa but the risk of cavitation of the water in the compartment below the ceramic disk is eliminated. This ensures the continuity and maintains the accuracy of the pore-water pressure measuring system. It is worth noting that the applied matric suction must not exceed the air entry value of the ceramic disk to maintain full saturation of the pore-water pressure reading system. It has been observed in past research that the use of axis translation technique does not affect the observed stress-strain and strength characteristics of unsaturated soils [1, 3, 6, 11].

The present apparatus prevents the pore water from entering into the pore-air pressure measurement unit by using a 3-mm thick corundum porous disk placed beneath the top cap as shown in Fig. 1. This particular material is hydrophobic in nature. Its air entry value and hydraulic permeability are extremely low, thus allowing convenient airflow while making it very difficult for water to migrate through. Small-diameter nylon tubes are employed in the pore-air pressure measurement system to minimize the effects of air compressibility. With the present design, the pore water is applied from the bottom of the specimen through the water compartment below the HAECD. Regulated-air pressure is employed as the source for the pore-water pressure application with an air-water interphase separating the pressurized air from the de-aired water as shown in Fig. 3. The net pressure and matric suction can be adjusted by controlling the cell pressure, the pore-air pressure and the pore-water pressure, simultaneously.

Table 1 Transducers, required electrical excitations and corresponding output signals

Physical quantity	Type of sensor	Brand and model	Excitation	Output signal
Vertical deformation	Potentiometer	Bei Duncan model 9600 0-38-mm stroke	+15 VDC	0-10 VDC
Vertical deviator load	Load cell	Applied Measurements model STALC3 0-10 kN	+10 VDC	0-20 mV
Cell pressure	Pressure transducer	Omega model PX-409-500G10V 0-3450 kPa (gauge)	+15 VDC	0-10 VDC
Pore-air pressure	Pressure transducer	Omega model PX-319-500G10V 0-3450 kPa (gauge)	+15 VDC	0-5 VDC
Pore-water pressure	Pressure transducer	Omega model PX-409-150G10V 0-1030 kPa (gauge)	+15 VDC	0-10 VDC
Volume change	Differential pressure transducer	Omega model PX-409-10WDWU10V 0-250 mm of water	+15 VDC	0-10 VDC

2.4 Instrumentation of double-walled triaxial apparatus

The triaxial cell, its pressure control board and the corresponding instrumentation are shown in Fig. 3. A potentiometric displacement sensor measures the specimen's vertical deformation. It is attached to the piston rod with the tip of its probe resting on the top plate. The apparatus employs a submersible load cell to measure the vertical deviator load. The data cable of the load cell is routed through the piston rod that is hollow. Sealing of the cell pressure can be achieved by compression of an o-ring placed at the threaded connection between the load cell and piston rod. The installation of a load cell inside the triaxial cell

eliminates the need for correction of the vertical deviator load by the friction between the piston rod and the bearing housing. A high-precision differential pressure transducer tracks the difference of the water levels in the annulus and the inner cell, and this allows for determination of the specimen's overall volume change. Three pressure transducers independently measure the cell pressure, pore-air pressure and pore-water pressure. Note that the differential pressure transducer and the pore-water pressure transducer must be fully saturated with de-aired water prior to use, while the cell and pore-air pressure transducers can directly be connected to their corresponding air supply tubes as shown in Fig. 3. As shown in Fig. 4, proper power supply units provide electrical excitations denoted as $\pm E$ to the transducers. The voltage signals $\pm S$ from the transducers are filtered to eliminate noises and amplified as necessary using a signal conditioning unit.

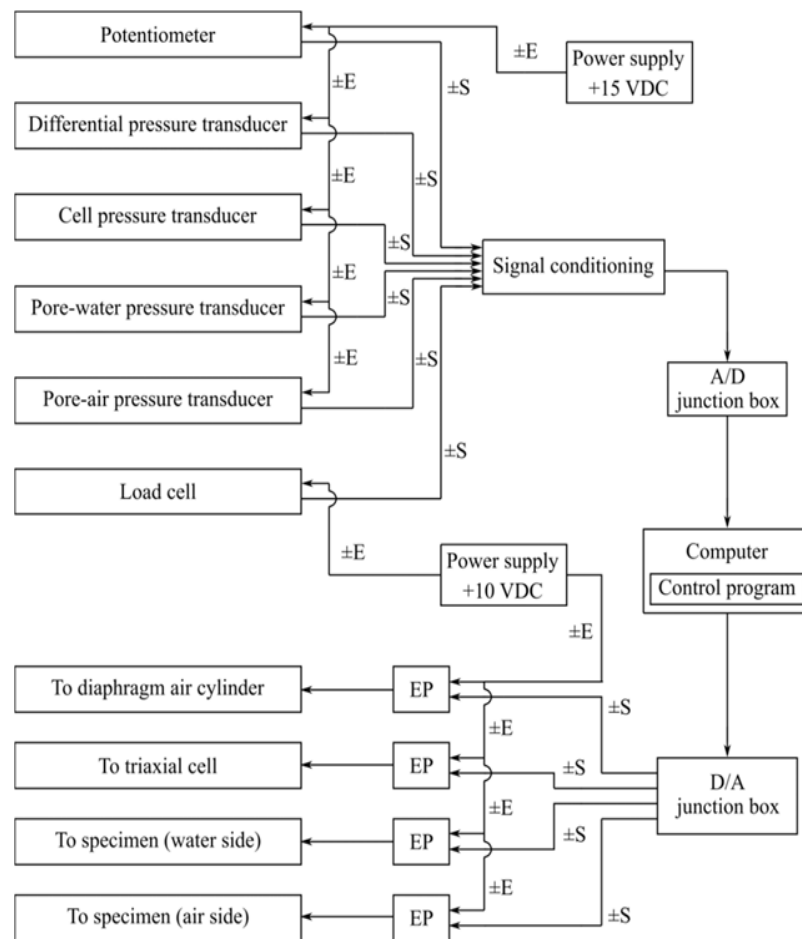


Figure 4 Schematic diagram for instrumentation, data acquisition and control of double-walled triaxial apparatus.

Table 1 lists the transducers employed in the experimental program to validate the present apparatus. The table also summarizes the required electrical excitations and the corresponding output signals of these transducers. The apparatus uses two National Instruments (NI) DAQ 9239 Voltage modules incorporated into a dedicated data acquisition and control computer to perform data acquisition at a sampling rate of 1 Hz. The apparatus also features a control system that enables axisymmetric triaxial compression tests to follow specific stress paths suitable for characterizing the mechanical behavior of unsaturated soils. These stress conditions are characterized by $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ where σ_1 is the major principal stress; σ_2 is the intermediate principal stress; and σ_3 is the minor principal stress. Such control is

achieved through the ability to independently adjust the vertical deviator load, cell pressure, pore-air pressure and pore-water pressure of the specimen in real time. The apparatus employs four electro-pneumatic (EP) pressure regulators (FAIRCHILD model T7800) in conjunction with a closed-loop computer control program. One regulator adjusts a diaphragm air cylinder, thus controlling the vertical deviator force, while the others control air pressures in the triaxial cell, the specimen and the air-water interphase (Fig. 3). The arrangement for electrical wiring of the instrumentation, data acquisition and control of the apparatus is schematically illustrated in Fig. 4.

2.5 Automatic test control

A custom computer program used in conjunction with the apparatus was developed in National Instruments LabVIEW environment to perform axisymmetric triaxial tests in a fully automated manner. The computer program consists of one master unit and three other units; namely, an analog-to-digital (A/D), a proportional–integral–derivative (PID) controller, and a digital-to-analog (D/A) unit. The master unit manipulates the other three units and executes steps necessary to perform the desired test. It obtains user's inputs (e.g., matric suction, net pressure and strain rate) and initiates the control process by starting the A/D unit that continuously receives input signals from the aforementioned transducers and computes the current stresses (or pressures) and strains on the specimen.

To follow the desired stress path, the master unit assigns target stresses and strains to the PID controller unit, which at any time (t) attempts to minimize the differences or errors $\Delta(t)$ between the measured stresses and strains and the targets by outputting corrective reactions $R(t)$ to the apparatus. The PID controller unit calculates $R(t)$ -values according to the formula:

$$R(t) = P\Delta(t) + I \int_{t-\chi}^t \Delta(t) d\tau + D \frac{d\Delta(t)}{dt} \quad (1)$$

The parameters P, I and D in (1) are the proportional, integral and derivative gains, and χ is an appropriate time interval. The proportional part determines the corrective reactions with respect to the current errors, whereas the integral part determines the corrective reactions based on the sum of errors over a time period of χ , and the derivative part computes the corrective reactions based on the rates, at which the errors have been changing. The P, I and D parameters that allow for optimum control of the apparatus can be determined from trial-and-error. The D/A unit then converts the corrective reactions into voltage signals, and these are sent to the appropriate electro-pneumatic regulators. As such, the stresses and strains are readjusted and a real-time feedback control operation is formed (Fig. 4).

3. Performance evaluation with constant water content triaxial tests

The performance of the present apparatus was evaluated by means of constant water content (CWC) triaxial tests on unsaturated specimens of kaolin clay. The details of these evaluation tests are provided below.

3.1 Specimen preparation

Laboratory produced soil specimens were employed in the experimental program so as to maintain high levels of specimen consistency and eliminate the variability of soil physical states that, otherwise, are prevalent in natural unsaturated soils. As such, clear evaluation of the repeatability of testing with respect to the apparatus's performance and the experimental procedures can be made. The kaolin clay used in this

study was obtained from a uniform natural deposit in Lampang, Thailand. It was supplied as bulk samples with delivery water contents of 7-10%. These samples were oven dried and ground to produce fine clay powder. The liquid limit and plasticity index of the soil were 55 and 20, respectively, indicating a Unified Soil Classification System (USCS) group symbol of MH. Dry kaolin clay powder was mixed with water to produce slurry at a water content twice as large the liquid limit of the soil. The slurry was later one-dimensionally consolidated in a double draining consolidation tank as shown in Fig. 5.

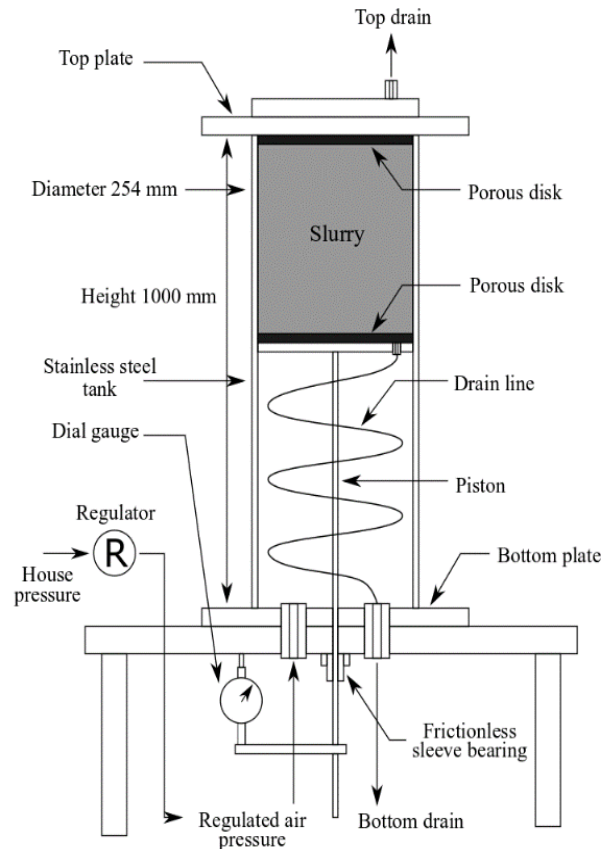


Figure 5 Double draining consolidation tank to produce soil specimens [23].

The slurry was placed in the consolidation tank, using a small cup, in three lifts, and a rod was used to gently stir the slurry in one direction for a few revolutions for each lift. Prior to consolidation, a vacuum of 100 kPa was applied to the tank, purging air bubbles trapped inside the slurry. The inside of the stainless steel consolidation tank was highly polished and coated with a thin layer of vacuum grease to minimize friction between it and the soil. Cylindrical soil cakes 254 mm in diameter and 170 mm tall were produced after the one-dimensional consolidation. Cylindrical specimens, 51 mm in diameter and 102 mm in height were carved from the cake samples and installed into the apparatus. It is worth mentioning that the consolidation pressure of 100 kPa was employed to produce soil samples which were adequately stiff and could be handled in the subsequent testing procedures without significant disturbance.

3.2 Saturation of pore-water pressure measurement unit

The high-air entry ceramic disk was saturated with de-aired water prior to each triaxial test. The saturation procedure after Bishop and Henkel (1962) and Fredlund (1973) were strictly followed. The triaxial cell was assembled, however, with no specimen in it. Water was introduced through the bottom drain ports into both the annulus and the inner cell such that the water level was about 25 mm above the ceramic disk. A cell pressure of 600 kPa was applied for about an hour, forcing the cell water to flow through the ceramic disk and into the compartment below. Air bubbles, if any, inside the disk would be displaced by water flow and accumulated immediately in the compartment below it. De-aired water was then flushed, with a driving pressure of 200 kPa, through the compartment for ten minutes so as to expel the air bubbles out from the pore-water measurement unit. This process was repeated for six cycles to ensure satisfactory levels of saturation. The permeability of the ceramic disk was later determined. Unusually high values of permeability indicate cracks or leakage of the seal around the ceramic disk.

The triaxial cell was disassembled, and the specimen was placed on the ceramic disk. Two layers of latex membrane were placed around the specimen, and o-rings located on the membranes and around the top and bottom caps helped seal the specimen from the cell fluids during testing. The top and bottom drain lines were connected; and the inner and outer cell walls were re-assembled with cell water re-introduced.

3.3 Testing program

The performance of the present apparatus was evaluated by means of CWC tests on unsaturated specimens of the kaolin clay. In these tests, three different matric suctions of 0, 150 and 300 kPa were applied, and later the specimens were sheared under constant gravimetric water content conditions. The soil physical states associated with this type of triaxial test are highly pertinent to the actual field conditions, and yet the test is less time consuming and not as so complex when compared to the drained and undrained tests. The employed matric suctions and the pore-air and pore-water pressures required to achieve them are listed in Table 2. Although the matric suctions were different, the net pressures of these tests were identical.

Table 2 Stress states for constant water content triaxial tests with varying matric suctions.

Test No.	Pore-air pressure (kPa)	Pore-water pressure (kPa)	Cell pressure (kPa)	Net pressure (kPa)	Matric suction (kPa)
1	200	200	300	100	0
2	350	200	450	100	150
3	500	200	600	100	300

Upon installation into the apparatus, the specimens of kaolin clay obtained from the consolidation of slurry were essentially fully saturated, i.e., the degree of saturation $S \approx 100\%$. To achieve the three target matric suctions, the pore-air pressure and pore-water pressure were proportionally raised and the specimens were allowed to “equalize” with permitted movements of the pore air and water. The equalization with matric suction was considered to be complete when the total volume change plot with a logarithmic scale of time did not noticeably decrease any further. As these new equilibrium states were reached, air had permeated into the soil, resulting in smaller values of S and decreased gravimetric water contents; $\mu = m_w/m$ where m_w is the mass of pore water and m is the total mass.

The drainage path of pore water was later closed, and the specimen was sheared by applying vertical deviator stresses that resulted in a constant axial strain rate of 0.04% per minute. The pore-air and cell pressures were controlled to be constant, while the corresponding changes in pore-water pressure and

specimen total volume were monitored. The tests were discontinued well beyond failure with axial strains of at least 20 %. After each test was complete, the apparatus was disassembled and samples from various parts of the tested specimen were taken for water content determination.

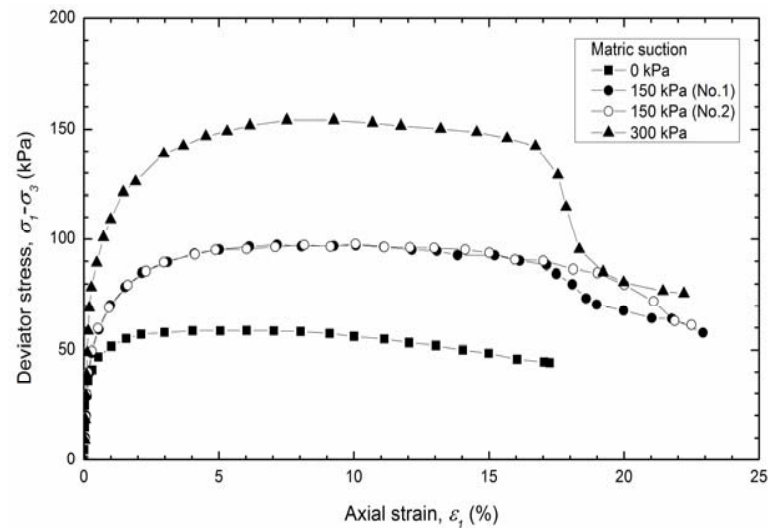


Figure 6 Deviator stress-axial strain relationships of constant water content triaxial tests with varying matric suctions prior to shear.

4. Experimental results

The deviator stresses ($\sigma_1 - \sigma_3$) during shear are plotted versus the corresponding axial strains (ϵ_1) as shown in Fig. 6. The matric suction change ($\Delta(u_a - u_w)$)-axial strain relationships and volumetric strain (ϵ_v)-axial strain responses are plotted in Figs 7 and 8, respectively. For all suction values, the deviator stress curves in Fig. 6 rise rather rapidly for axial strains less than 2-3%. At larger strains, however, the curves increase only marginally to reach peak values, and they either remain relatively constant or slightly decrease afterward. It is also apparent that the stress-strain curves increase more rapidly and attain higher peak points, thus indicating higher values of stiffness ($E_{50} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{max} / 2\epsilon_{50}$) and shear strengths ($\tau_f = (\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$) with increasing matric suction. In the preceding definitions of stiffness and shear strength, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ denotes the maximum deviator stress, while ϵ_{50} signifies the axial strain corresponding to a deviator stress equal to 50% of $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$. As shown in Fig. 7, the matric suction changes during shear decrease rather rapidly for axial strains smaller than 2%. The curves then decrease with much smaller rates and, eventually, attain ultimate constant values even as ϵ_1 continues to increase. The experimental values of $\Delta(u_a - u_w)$ are all negative. Since $\Delta u_a = 0$ during CWC shear, it follows that the magnitudes of $-\Delta u_w$ gradually increase with shearing. It is also apparent from the figure that the magnitudes of negative matric suction change increase with that of the matric suction present in the soil prior to shear. The volumetric strain responses in Fig. 8 are, in general, contractive with their magnitudes increasing with the axial strain and matric suction. This indicates outward flow of the pore air from the soil mass while it undergoes stressing under constant water content conditions. It is worth to note that the observed patterns of stress-strain and volume change behavior of the kaolin clay conformed well to the results of other research works on unsaturated cohesive soils [1, 3, 7, 11, 17, 19, 22, 24].

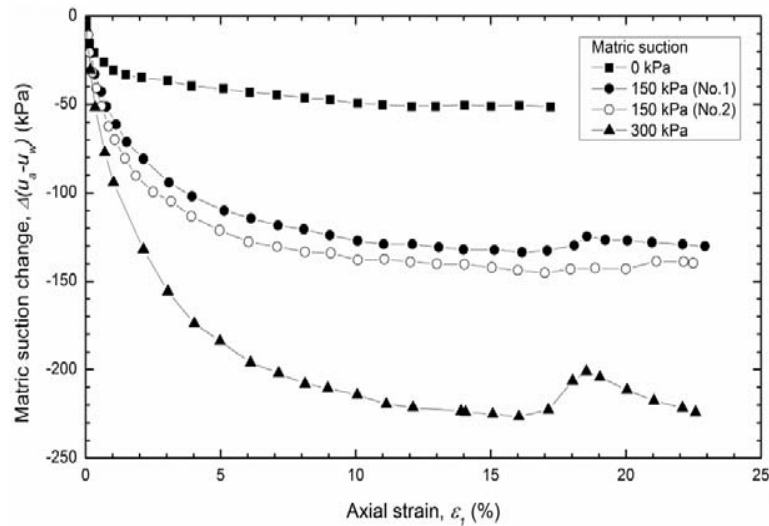


Figure 7 Matric suction changes during shear plotted with axial strains for constant water content triaxial tests.

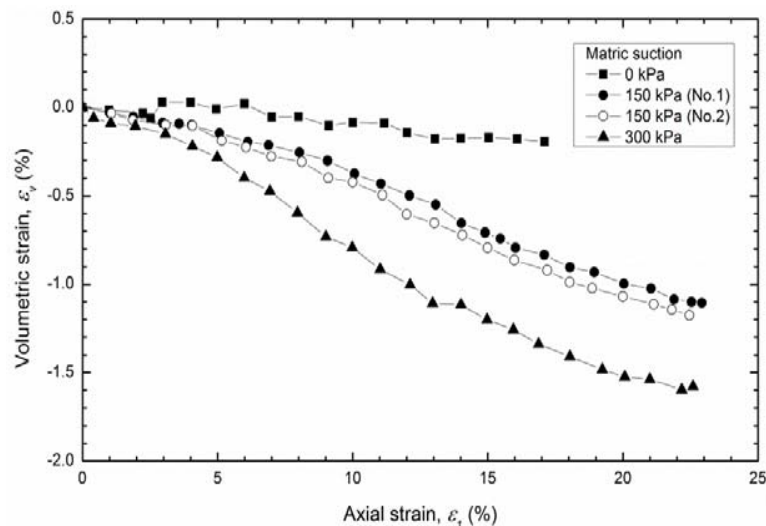


Figure 8 Volumetric strain responses of constant water content triaxial tests with varying matric suctions prior to shear.

An additional CWC test with a matric suction of 150 kPa was performed to investigate the ability of the present apparatus to reproduce experimental results under the same testing conditions. The results of this test are also plotted in Figs. 6, 7 and 8 for comparison purpose. It can be observed that the stress difference curves of these two validation tests are essentially identical up to large ϵ_1 -values, while differences of less than 3% are present for the cases of matric suction change and volumetric strain during shear. Such good agreement between the two tests suggests a high level performance of the double-walled triaxial apparatus to produce repeatable experimental results under axisymmetric triaxial stress states and with constant gravimetric water content conditions.

5. Conclusions

The aim of this study was to introduce a custom-made double-walled axisymmetric triaxial apparatus for testing unsaturated soils. The design of this simple and reliable equipment was based on the axis translation technique where an artificial atmosphere is created in the specimen by elevated air pressure. The

matric suction can thus be applied with no risk of cavitation due to excessive negative pore-water pressures. This apparatus featured a double-walled type of mechanism to measure specimen volume change. The performance of this apparatus was evaluated by means of constant water content tests on unsaturated kaolin clay with three different matric suctions. The observed stress-strain behavior conformed well to the fundamental responses of unsaturated cohesive soils reported in the literature. When the results of two identical validation tests were compared, it was observed that the stress difference-strain relationships were essentially identical up to large ε_1 -values. Differences less than 3% were present for the cases of matric suction change and volumetric strain during shear. Such good agreement between these tests suggested a high level of performance of the double-walled triaxial apparatus to produce repeatable experimental results under axisymmetric triaxial stress states and with constant gravimetric water content conditions.

6. Acknowledgements

This study was funded by the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) through Grant 58-B104000-158-IO.SS03A3008242-MU. Such a financial support is gratefully acknowledged.

7. References

- [1] Fredlund, D.G. 1973. Volume Change Behavior of Unsaturated Soils. Ph.D. Dissertation, University of Alberta, Canada.
- [2] Rampino, C., Mancuso, C., and Vinale, F. 1999. Laboratory testing on unsaturated soil: equipment, procedures and first experimental results. *Canadian Geotechnical Journal*. 36 (1). pp. 1-12.
- [3] Matsuoka, H., Sun, D.A., Kogane, A., Fukusawa, N., and Ishihara, W. 2002. Stress-strain behavior of unsaturated soil in true triaxial tests. *Canadian Geotechnical Journal*. 39 (3). pp. 608-619.
- [4] Sedano, J.A., Vanapalli, S.K., and Garga, V.K. 2007. Modified ring shear apparatus for unsaturated soil testing. *Geotechnical Testing Journal*. 30(1). pp. 1-9.
- [5] Hoyos, L.R., Perez-Ruiz, D.D., and Puppala, A.J. 2010. Experimental and applied modeling of unsaturated soils. In *Proceedings of the GeoShanghai International Conference*, Shanghai, China, 3-5 June 2010. pp. 40-47.
- [6] Fredlund, D.G. and Morgenstern, N.R. 1977. Stress state variables for unsaturated soils. *Journal of Geotechnical Engineering Division* 103(5). pp. 447-466.
- [7] Cui, Y.J. and Delage, P. 1996. Yielding and plastic behavior of an unsaturated compacted silt. *Geotechnique*. 46(2). pp. 291-311.
- [8] Blatz, J.A. and Graham, J. 2000. A system for controlled suction in triaxial tests. *Geotechnique* 50(4). pp. 465-478.
- [9] Boso, M., Tarantino, A., and Mongioli, L. 2005. A direct shear box improved with the osmotic technique. In *Proceedings of the International Symposium on Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics*, Trento, Italy, 27-29 June 2005. pp. 85-91.
- [10] Sheng, D. and Zhou, A.N. 2009. Yield stress, volume change and shear strength behavior of unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 46(9). pp. 1034-1045.
- [11] Hilf, J.W. 1956. An investigation of pore-water pressure in compacted cohesive soils. Technical Report 654. U.S. Bureau of reclamation, Design and construction Division, Denver, USA.
- [12] Matyas, E.L. and Radhakrishna. 1968. Volume change characteristics of partially saturated soils. *Geotechnique*. 18(4). pp. 432-448.

- [13] Aversa, S. and Nicotera, M.V. 2002. A triaxial and odometer apparatus for testing unsaturated soils. *Geotechnical Testing Journal*. 25(1). pp. 3-15.
- [14] Alva-Hurtado, J.E. and Selig, E.T. 1981. Survey of laboratory devices for measuring soil volume change. *Geotechnical Testing Journal*. 4(1). pp. 11-18.
- [15] Lade, P.V. 1988. Automatic volume change and measurement devices for triaxial testing of soils. *Geotechnical Testing Journal*. 11(4). pp. 263-268.
- [16] Sakhare, R., Dev, L., Prasad, K., and Robinson, R. (2016). A double acting piston based automatic volume change apparatus. *Geotechnical Testing Journal*. 39(6). pp. 899-905.
- [17] Bishop, A.W. and Henkel, D.J. 1962. *The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test*. 2nd Edition. Edward Arnold, London, England.
- [18] Adams, B.A., Wulfsohn, D., and Fredlund, D.G. 1996. Air volume change measurement in unsaturated soil testing using a digital pressure-volume-controller. *Geotechnical Testing Journal*. 19(1). pp. 12-21.
- [19] Wulfsohn, D., Adams, B.A., and Fredlund, D.G. 1998. Triaxial testing of unsaturated agricultural soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 69(4). pp. 317-330.
- [20] Escario, V. and Uriel, S. 1961. Optical method for measuring the cross section of samples in the triaxial test. In *Proceeding of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, France. pp. 89-93.
- [21] Yamamuro J.A., Aberantes, A.E., and Lade, P.V. 2011. Effects of strain rate on the stress-strain behavior of sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 137(12). pp. 1169-1178.
- [22] Wheeler, S.J. and Sivakumar, V. 1992. Critical state concepts for unsaturated soil. In *Proceeding of the 7th International Conference on Expansive Soils*, Dallas, USA. pp. 167-172.
- [23] Anantanasakul, P. and Roth, C. 2018. Undrained behavior of silt-clay transition soils with varying degrees of overconsolidation. *Journal of Geoengineering*. 13(1): 1-13.
- [24] Adams, B.A., Wulfsohn, D., and Fredlund, D.G. 1997. Application of unsaturated soil mechanics for agricultural conditions. *Canadian Agricultural Engineering*. 38(3). pp. 173-181.