



วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

science Journal
Chandrakasem Rajabhat University

ปีที่ 33 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2566)
VOL.33 NO.1 JANUARY- JUNE 2023

ISSN: 1685 - 0491

ISSN: 2697 - 4584 (online)

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (Science Journal Chandrakasem Faculty of Science Chandrakasem Rajabhat University) ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 33 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 โดยวารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งสิ้น 7 เรื่อง และทุกบทความได้รับการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน

โดยวารสารออนไลน์ใช้ระบบ ThaiJO 2.0 มีหมายเลข ISSN (Online) คือ 2697-4584 และวารสารเป็นเล่ม มี ISSN (Print) คือ 1685-0491 ซึ่งวารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม) วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ ของอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจ จากสถาบันอุดมศึกษาและหน่วยงานต่างๆ ทั้งบทความวิจัยและบทความวิชาการ ซึ่งกองบรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์มุ่งมั่นที่จะปรับระดับคุณภาพของวารสารให้พร้อมที่จะเข้าสู่การประเมินคุณภาพวารสารในฐาน TCI ต่อไป

กองบรรณาธิการวารสารขอขอบคุณผู้สนับสนุนบทความทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในการส่งบทความ จำนวน 7 บทความ (บทความภายใน 2 บทความ และบทความภายนอก 5 บทความ) เพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 กองบรรณาธิการฯ ขอพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาใช้เวลาในการตรวจสอบคุณภาพของบทความและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง สุดท้าย ขอขอบคุณ ทีมงานที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ทำให้รูปเล่มของวารสารให้มีความสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ สวัสดิ์นะที

บรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์

สารบัญ

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล	1
การศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอิพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วสำหรับการรับน้ำหนัก	11
การเปรียบเทียบผลของมุมเข้าขณะวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าและระยะก้นที่มีต่อความสามารถในการสร้างแรงในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน	24
คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร	34
ปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก	41
ช่วงความเชื่อมั่นบูตสแตรป์สำหรับพารามิเตอร์ของการแจกแจงปัวซอง-การริมา: กรณีศึกษาจำนวนพายุฝนฟ้าคะนองในประเทศสหรัฐอเมริกา	53
การเตรียมพอลิออลชีวภาพจากยางธรรมชาติและของเสียผลิตภัณฑ์ยาง	64

Table of Contents

A Study of Factors Affecting The Selection Field of Vocational Certificate Students to Pursue Higher Vocational Certificate Programs Using Data Mining Techniques.	1
The Feasibility Study of Concrete Mixed with Used EPS Foam for Load	11
The Comparison of Knee Angle while Foot placed on the Starting Block among Shin and Dominant Length on Ability to Produce Force in Young Swimmers	24
Butter Cookies Supplemented With Dragon Fruit Peel	34
Factors Affecting Japanese Learning Motivation for Small Sample	41
Bootstrap Confidence Intervals for the Parameter of the Poisson-Garima Distribution: A Case Study of the Number of Thunderstorms in the USA	53
Bio Polyol Preparation from Natural Rubber and Waster Rubber Product	64

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพเพื่อเรียนต่อในระดับ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล

A Study of Factors Affecting The Selection Field of Vocational Certificate Students to Pursue
Higher Vocational Certificate Programs Using Data Mining Techniques.

วิสูตร มาศชาย^{1*} และ วิภาวรรณ บัวทอง²
Visutr Maschai^{1*} and Wipawan Buathong²

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

^{1,2} Department of Digital Technology, Faculty of Science & Technology, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพเพื่อศึกษาต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพที่จบการศึกษา ปีการศึกษา 2560-2563 วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่ จำนวน 251 รายการ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อนำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล แบบจำแนกประเภทข้อมูล โดยใช้ขั้นตอนวิธีต้นไม้ตัดสินใจ ทำการประเมินแบบจำลองด้วยวิธี 5-fold cross-validation และ 10-fold cross-validation ได้ค่าสูงสุดเท่ากัน คือ ค่าความแม่นยำ (Precision 98.5%) ค่าความไว (Recall 100%) การวัดค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure 99.3%) ได้กฎการจำแนกจำนวน 4 กฎ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำเหมืองแบบกฎความสัมพันธ์โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Apriori โดยกำหนด ค่า Minimum Support = 0.3 ค่า Minimum Confidence = 0.8 และ ค่า Minimum Support = 0.4 และ ค่า Minimum Confidence = 0.7 เมื่อนำกฎความสัมพันธ์มาเปรียบเทียบกันเพื่อหากฎที่ซ้ำกัน สามารถสรุปข้อมูลได้ 4 กฎ จากหลักการการทำเหมืองข้อมูล 2 แบบ จะได้กฎความสัมพันธ์และกฎการจำแนกไปในทิศทางเดียวกัน คือ นักศึกษาจะเลือกเรียนต่อที่วิทยาลัยเดิมก็ต่อเมื่อมีสาขาเดิมในระดับที่สูงกว่ารองรับ

คำสำคัญ: กฎความสัมพันธ์ ต้นไม้ตัดสินใจ ป่าสุ่ม อะโพเรีย

Abstract

The objectives of this research were; to identify factors affecting the choice of field of study of vocational certificate students to study at the higher vocational level. 251 data at vocational certificates graduated in the academic year between 2017 and 2020, Krabi College of Agriculture and Technology, Data classification based on the Decision tree evaluation was performed using 5-fold cross-validation and 10-fold cross-validation methods. representing similar efficient results. Accuracy (Precision 98.5%), Sensitivity (Recall 100%), Efficiency (F-Measure 99.3%), and 4 rules were obtained. The result of mining affinity rules using the Apriori algorithm specifies 0.3 Minimum Support, 0.8 Minimum Confidence, 0.4 Minimum Support, and 0.7 Minimum Confidence. When the rules are compared if the Duplicate rule Data can be summed up by 4 rules. From the two data mining principles, the correlation rules are in the same direction. Students will choose to study at the same college only if the same branch is supported by a higher level.

Keywords: Association Rule, Decision Tree, Random Forest, Apriori.

* Corresponding author : s6381423101@pkr.u.ac.th

Received: 10 ตุลาคม 2565

Revised: 16 พฤศจิกายน 2565

Accepted: 21 ธันวาคม 2565

1. บทนำ

ปัจจุบันการรับสมัครนักศึกษาใหม่ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่ มีการประชาสัมพันธ์หลักสูตรผ่านหลากหลายช่องทาง เพื่อให้ผู้สมัครที่สนใจตัดสินใจเข้าศึกษา รวมถึงมอบหมายให้งานแนะแนว และอาจารย์ของแต่ละสาขาวิชาชีพเดินทางไปตามโรงเรียนในเขตพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อแนะแนวหลักสูตรต่างๆ ให้โรงเรียน และผู้เรียนที่กำลังจะจบการศึกษาในระดับมัธยมตอนต้นได้มีโอกาส และมีทางเลือกในการตัดสินใจเลือกสถานศึกษามากขึ้น ในปีการศึกษา 2565 วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่ เปิดสอนทั้งหมด 7 แผนกวิชาชีพ คือ สามัญสัมพันธ์ พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ประมง ช่างกลเกษตร บริหารธุรกิจ และอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งเป็นการสอนโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อให้ได้บุคคลากรที่มีคุณภาพสู่ตลาดแรงงานที่มีความต้องการแรงงานสายอาชีพสูงขึ้น และเพื่อไปประกอบอาชีพได้กว้างขวาง ทั้งงานราชการ ประกอบอาชีพอิสระตามความถนัดและความสนใจของตนเองได้ ดังนั้นการเลือกสาขาวิชาของผู้เรียนเป็น เรื่องที่สำคัญอย่างมาก เพราะมีผลโดยตรงต่อเส้นทางอาชีพ และอาจส่งผลต่อชีวิตการเรียนของผู้เรียน เนื่องด้วยนักศึกษายังขาดประสบการณ์ ไม่ทราบถึงความต้องการและทักษะของตน ประกอบกับยังไม่รู้จักแต่ละสาขาวิชามากพอ ทำให้ใช้ความรู้สึกชอบ มองแค่สภาพแวดล้อม ตามเพื่อน หรือความเห็นของผู้ปกครอง ในการเลือกสาขาวิชา จึงมีผู้เรียนไม่น้อยเสียเวลาเพื่อการศึกษาโดยค้นพบกับตนเองภายหลังว่าไม่เหมาะสมกับสาขาวิชาที่เลือกตอนแรก จนเกิดปัญหาการขอย้ายสาขาวิชา ขอฟักการศึกษา ไม่จบการศึกษา ไปจนถึงการลาออกจากการเป็นนักศึกษา ซึ่งมีจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้เรียนในการตัดสินใจเลือกเข้าศึกษาต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และเป็นข้อมูลในการจัดโครงการแนะแนว ประชาสัมพันธ์สาขาวิชา จนถึงเป็นแนวทางในการพัฒนาสาขาวิชาและคุณภาพของสถานศึกษาต่อไป โดยแต่ละสถานศึกษามักมีการเก็บข้อมูล เกี่ยวกับนักศึกษาเป็นจำนวนมาก โดยผู้สมัครเข้าศึกษามาจากหลากหลายสายวิชา และมีพื้นฐาน ครอบครัวยุคที่แตกต่างกัน ข้อมูลพื้นฐานนักศึกษาจำนวนมาก สามารถใช้เทคนิคในการวิเคราะห์รูปแบบ และความสัมพันธ์ของข้อมูลจำนวนมากที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อมูลมาใช้ประโยชน์ได้มาก

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล การจำแนกประเภทของข้อมูลมาช่วย วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกสาขาวิชาชีพในการศึกษาต่อของนักเรียน นักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยใช้การสังเคราะห์ข้อมูลออกมาจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ใช้กฎการจำแนกเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree (J48)) นาอิวเบย์ (Naïve Bayes) และสุ่มป่าไม้ (Random Forest) เพราะอัลกอริทึมทั้ง 3 มีข้อดีที่ต่างกัน กล่าวคือ Decision Tree คือ เลือกตัวแปรที่มีความสำคัญที่ช่วยแบ่งแยกข้อมูลออกมาได้ แต่ถ้าใช้เทคนิคอื่นเราอาจจะต้องเลือกตัวแปรเอง Naive Bayes คือความสะดวก ง่ายในการ Training โดยเฉพาะกับจำนวน Feature ที่มาก และข้อมูลขนาดใหญ่ ประกอบกับสามารถใช้จำแนกคลาสจำนวนมากได้ Random Forest ใช้ได้ทั้งกับปัญหา classification และ regression วิเคราะห์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ โดยใช้อัลกอริทึม อะพริออริ (Apriori) เพื่อค้นความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อการเลือกศึกษาต่อ นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงหลักสูตร และในการจัดสรรทรัพยากรในด้านต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สอดคล้องกับ รัชฎา เทพประสิทธิ์ และจรัญ แสนราช (2563, หน้า 134) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล จากข้อมูลพื้นฐานนักศึกษาของงานส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน ในช่วงปีการศึกษา พ.ศ. 2556-2560 จำนวนนักศึกษา 3,867 คน มาวิเคราะห์ตัวแปรโดยใช้กระบวนการเหมืองข้อมูล ด้วยกฎการจำแนกเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ผลวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชา คณะครุศาสตร์ 15 สาขาวิชา ได้แก่ แผนการเรียนก่อนเข้าศึกษา และเพศ จากตัวแปรทั้งหมด 9 ตัวแปร และการประเมิน วัดประสิทธิภาพของโมเดลวัดค่าความแม่นยำ ได้ค่า 72.5% ซึ่งถือว่าการทดสอบที่เชื่อถือได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เสาวลักษณ์ เรียงพรม และอรอุมา ลาสุนนท์ (2561, หน้า 66) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ของนิสิตระบบเทียบเข้า รหัส 59 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้แก่ ปัจจัย

ด้านผลิตภัณฑ์ โดยนิสิตคาดว่าความสำเร็จการศึกษาจากสถาบันนี้จะมีทักษะวิชาชีพตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการ และมีโอกาสได้ไปประกอบวิชาชีพ (กว.) รับรอง ส่วนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลสำเร็จของการศึกษา ปัจจัยด้านอาคารสถานที่และทำเลที่ตั้งของสถานศึกษา ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ปัจจัยด้านบุคคลที่เกี่ยวข้อง และปัจจัยด้านราคา ตามลำดับ

เจษฎาพร ปาคำว และคณะ (2563, หน้า 24) ได้ศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ของนักศึกษาด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม 14 คุณลักษณะจากนักศึกษาจำนวน 400 คน แบ่งเป็นนักศึกษาใหม่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จำนวน 200 คน และอีก 200 คน เป็นนักศึกษาใหม่จากสถาบันอื่น ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณลักษณะเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อจำแนกข้อมูล เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความแม่นยำเป็น 93.00% และ 88.25% ตามลำดับ และมีค่า RMSE เป็น 0.2574 และ 0.3031 ตามลำดับ คุณลักษณะที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจของนักศึกษาได้แก่ ชื่อเสียงของมหาวิทยาลัย รายได้ของผู้ปกครอง จำนวนหลักสูตร ที่ตั้งของมหาวิทยาลัย อาชีพของผู้ปกครอง และความทันสมัยของหลักสูตร ตามลำดับ

รัชฎา เทพประสิทธิ์ และจรัญ แสนราช (2563, หน้า 134) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล จากข้อมูลพื้นฐานนักศึกษาของงานส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน ในช่วงปีการศึกษา พ.ศ. 2556-2560 จำนวนนักศึกษา 3,867 คน มาวิเคราะห์ตัวแปรโดยใช้กระบวนการเหมืองข้อมูล ด้วยกฎการจำแนกเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ผลวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาคณะครุศาสตร์ 15 สาขาวิชา ได้แก่ แผนการเรียนก่อนเข้าศึกษา และเพศ จากตัวแปรทั้งหมด 9 ตัวแปร และ การประเมินวัดประสิทธิภาพของโมเดลวัดค่าความแม่นยำ ได้ค่า 72.5% ซึ่งถือว่าการทดสอบที่เชื่อถือได้

Harwati and Amby Sudiya (2560, หน้า 1) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ในการคัดเลือกนักศึกษาใหม่ที่มีมหาวิทยาลัยอิสลามแห่งอินโดนีเซีย หนึ่งในทางเลือกของมหาวิทยาลัยคือการกรองการเลือก ตามบันทึกของนักเรียนที่คาดหวังในโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายโดยไม่มีการทดสอบ การคัดเลือกทำได้โดยการเปรียบเทียบโพลีโสมมของผู้สมัครเท่านั้น ดังนั้นความเป็นวิสัยของการประเมินจึงเกิดขึ้นได้มาก เนื่องจากขาดเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถแยกคุณภาพของนักเรียนออกจากกันได้ โดยการใช้การจำแนกเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล สามารถสร้างการเลือกแบบจำลองสำหรับนักเรียนใหม่ซึ่งรวมถึงเกณฑ์มาตรฐานบางอย่าง เช่น ภูมิลาเนา สถานะของโรงเรียน ค่าเฉลี่ย และอื่นๆ เกณฑ์เหล่านี้กำหนดโดยกฎที่ปรากฏตามการจำแนกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (GPA) ของนักศึกษาในปีก่อนหน้าที่เข้ามาวิทยาลัยด้วยวิธีเดียวกัน ใช้ต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนได้รับสิทธิพิเศษในการรับเข้าเรียนคือมีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ คือ มาจากเกาะชวา โรงเรียนของรัฐ เอกวิทยาาสตร์ ค่าเฉลี่ยมากกว่า 75 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างน้อยหนึ่งรายการระหว่างการศึกษาในโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

Alaa Khalaf Hamoud (2560, หน้า 26) ได้ศึกษาอัตราความสำเร็จของนักเรียนสะท้อนถึงความสำเร็จขององค์กรการศึกษา ดังนั้นแนวโน้มความสำเร็จของนักเรียนที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นเป้าหมายขององค์กรการศึกษาทั้งหมด นอกจากนั้นความเต็มใจของนักเรียนในการศึกษาระดับอุดมศึกษาหลังจากจบมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญที่สุดขององค์กรการศึกษา หลายสาเหตุส่งผลต่อความเต็มใจนี้ และการเปิดเผยเหตุผลเหล่านี้อาจช่วยส่งเสริมเจตจำนงของนักเรียน Decision Tree Algorithms ถือเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการค้นหารูปแบบที่ซ่อนอยู่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายเหล่านี้ ชุดข้อมูลทดลองที่ใช้ในงานนี้คือชุดข้อมูลเกี่ยวกับนักเรียนโปรตุเกสในสองหลักสูตร (คณิตศาสตร์ (395 รายการ) และโปรตุเกส (หลักสูตรภาษาโปรตุเกสซึ่งมี 659 รายการ)) โดยใช้อัลกอริทึมการตัดสินใจสามแบบ (J48, RepTree และ Hoeffding Tree (VFDT)) ถูกนำไปใช้และทดลองในงานนี้ ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึม J48 เหมาะสมอย่างยิ่งในการจำแนกและทำนายความเต็มใจของนักเรียนที่จะสำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาและความสำเร็จในหลักสูตร

Adebisi Abimbola Baale and Adelodun F Ojijiywi (2561, หน้า 51) ได้ศึกษาการวางแผนเป็นปัญหาสำคัญที่ต่อสู้กับเศรษฐกิจในจีเรีย เทรนด์วันนี้กำลังเปลี่ยนไปสู่ทักษะการได้มาซึ่งมากกว่าวุฒิการศึกษาที่สามารถทำให้เยาวชนพึ่งพาตนเองได้งาน ผู้สร้างและไม่ใช่มือแรงงาน ฝ่ายบริหารของ วิทยาลัยโพลิเทคนิค ทำงานอย่างไม่มีรู้จักเหน็ดเหนื่อยเพื่อให้แน่ใจว่านักเรียนแต่ละคนได้

เรียนรู้ทักษะวิชาชีพเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเข้าสู่แรงงานตลาด ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เทคนิคการชุดข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล อาชีวศึกษาของนักเรียนของ วิทยาลัยโปลีเทคนิค ในไนจีเรียเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่จะช่วยโรงเรียนผู้บริหารในการตัดสินใจที่สำคัญ และวางแผนได้ดีขึ้นเพื่อการปฏิบัติงานในสายอาชีพของตนอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโปรแกรมทักษะ ทำการทดลอง โดยใช้อัลกอริทึมการจำแนกประเภท ID3, C4.5 และ Naïve Bayes ถึงสร้างแบบจำลองภายใต้สภาพแวดล้อม WEKA 3.8.2 วิธีระบุและวิธีตรวจสอบไขว้ 10 เท่าคือใช้ในการทดสอบโมเดล เมทริกซ์ความสับสนถูกใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบบนพื้นฐานความแม่นยำ ความไว และเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง และพบว่าอัลกอริทึม C4.5 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการตรวจสอบทั้งสองแบบ

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี กระบี่ ประจำปีการศึกษา 2560 – 2563 จำนวนทั้งสิ้น 286 คน ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนที่จบประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี ในปีการศึกษา พ.ศ. 2560 - 2563 จำนวน 251 คน

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้นคือ ข้อมูลประวัติและการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ เช่น กลุ่มเรียน จังหวัด จำนวนพี่น้อง เป็นต้น และตัวแปรตามคือ สาขาที่เรียนต่อ สาขาศึกษา

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรมตารางคำนวณ โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล WEKA

ผู้วิจัยดำเนินการตามมาตรฐานกระบวนการทำเหมืองข้อมูล Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Business Understanding ทำความเข้าใจปัญหา การเลือกสาขาวิชาของผู้เรียนเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างมาก เพราะมีผลโดยตรงต่อเส้นทางอาชีพ และอาจส่งผลต่อชีวิตวัยเรียนของผู้เรียน เนื่องด้วยนักศึกษาช่างขาดประสบการณ์ ไม่ทราบถึงความต้องการและทักษะของตน ประกอบกับยังไม่รู้จักแต่ละสาขาวิชามากพอ ทำให้ใช้ความรู้สึกชอบ มองแค่สภาพแวดล้อม ตามเพื่อนหรือความเห็นของผู้ปกครอง ในการเลือกสาขาวิชา จึงมีผู้เรียนไม่น้อยเสียเวลาเพื่อการศึกษาโดยค้นพบกับตนเองในภายหลังว่าไม่เหมาะสมกับสาขาวิชาที่เลือกตอนแรก จนเกิดปัญหาการขอย้ายสาขาวิชา ขอฟกการศึกษา ไม่จบการศึกษา ไปจนถึงการลาออกจากการเป็นนักศึกษาซึ่งมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้เรียนในการตัดสินใจเลือกเข้าศึกษาต่อในสายอาชีพ และเป็นข้อมูลในการจัดโครงการแนะแนว ประชาสัมพันธ์สาขาวิชา

ขั้นตอนที่ 2 Data Understanding ทำความเข้าใจข้อมูล ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่มีอยู่พร้อมพิจารณาข้อมูลและความเป็นไปได้ของการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ สามารถแบ่งข้อมูลได้ 2 ชุด คือ

1. ข้อมูลประวัติส่วนบุคคลและข้อมูลจบการศึกษา

2. ข้อมูลการศึกษาต่อ โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลทั้ง 2 ชุด ถึงจำนวนข้อมูล คุณลักษณะ ความครบถ้วนของข้อมูล ความเป็นไปได้ที่จะนำมาวิเคราะห์ ตลอดจนยังพิจารณาตัวแปรส่วนบุคคลร่วมด้วย

ขั้นตอนที่ 3 Data Preparation การเตรียมข้อมูล ขั้นตอนนี้เป็นการทำความสะอาดข้อมูล เพื่อจัดการคัดเลือกข้อมูลให้ตรงตามวัตถุประสงค์ และมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1. สํารวจและตรวจสอบ คือการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จะมีข้อมูลที่ขาดหาย จะใช้วิธีการเติมข้อมูลให้ครบ และจัดการข้อมูลที่มีความผิดปกติ เช่นข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกันภายใน Attribute เดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและสมบูรณ์ จะทำให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ถูกต้องและไม่มีข้อผิดพลาด งานวิจัยนี้ไม่ปรากฏข้อมูลที่ไม่เหมาะสม

2. การผสานข้อมูล เป็นการรวมข้อมูลที่มาจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน นำมาไว้ที่เดียวกัน ผสานข้อมูลเพื่อช่วยลดความซ้ำซ้อน ลดความไม่สอดคล้องของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีคุณภาพ ทำให้กระบวนการทำเหมืองข้อมูลมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการนำข้อมูลทั้ง 2 ชุด คือ 1) ข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษา 2) ข้อมูลการศึกษาต่อ รวมข้อมูลให้เป็นชุดเดียวกัน

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
sex	religion	blood type	branch1	gpa	province	district	status	sibling	occupation	salary	relation	Education	branch2	academy
M	buddhist	B	agriculture	high	surat	Else	together	two	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
F	buddhist	B	agriculture	high	krabi	Nuea Khlon	remarry	three	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
M	buddhist	B	agriculture	mid	krabi	Khao Phant	together	two	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
F	buddhist	O	agriculture	mid	krabi	Nuea Khlon	together	three	work for hire	mid	mother	y	agriculture	kcat
M	buddhist	O	agriculture	low	krabi	Nuea Khlon	together	one	work for hire	mid	mother	y	agriculture	kcat
M	buddhist	O	agriculture	mid	pnangnga	Else	together	two	trade	mid	father	y	agriculture	kcat
F	buddhist	O	agriculture	vhigh	krabi	Plai Phraya	remarry	three	agriculture	mid	father	n	work	no
M	buddhist	O	agriculture	mid	surat	Else	together	three	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
M	buddhist	O	animal	high	krabi	Khao Phant	together	three	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
F	buddhist	B	animal	vhigh	krabi	Khao Phant	together	three	trade	mid	mother	y	agriculture	kcat
F	islam	O	animal	vhigh	nakorn sri	Else	remarry	two	else	mid	mother	y	agriculture	kcat
F	buddhist	O	animal	high	krabi	Lam Thap	divorce	two	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat

ข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษา

ข้อมูลการศึกษาต่อ

ภาพที่ 1 การผสานข้อมูล

3. การปรับสภาพข้อมูล เป็นการปรับรูปแบบของข้อมูล ให้เป็นแบบเดียวกัน ซึ่งง่ายต่อการ เปรียบเทียบข้อมูล และการนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ จากข้อมูลที่ได้มาข้อมูลจะเป็นตัวอักษรที่เป็นภาษาไทยและตัวเลข

สถานะนักเรียน	ปีการศึกษา	นที่ออกจากสถานศึกษา	เหตุที่ออก	สถานะการสำเร็จ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	หน่วยกิตสะสม	คะแนนเฉลี่ยสะสม
สำเร็จการศึกษา	5	07/05/2564	สำเร็จการศึกษา	จบภาคฤดูร้อน	2563	107	2.86
สำเร็จการศึกษา	2	31/03/2564	สำเร็จการศึกษา	จบพร้อมรุ่น	2563	107	3.60
สำเร็จการศึกษา	5	07/05/2564	สำเร็จการศึกษา	จบภาคฤดูร้อน	2563	107	2.70
สำเร็จการศึกษา	2	31/03/2564	สำเร็จการศึกษา	จบพร้อมรุ่น	2563	107	3.13
สำเร็จการศึกษา	2	31/03/2564	สำเร็จการศึกษา	จบพร้อมรุ่น	2563	107	3.62
สำเร็จการศึกษา	2	31/03/2564	สำเร็จการศึกษา	จบพร้อมรุ่น	2563	107	3.65

ภาพที่ 2 ข้อมูลเดิม

4. การลดรูปข้อมูล เป็นขั้นตอนในการลดขนาดและปริมาณข้อมูลให้มีความเหมาะสมเพื่อให้มีความง่ายต่อการวิเคราะห์ ลดระยะเวลาในการประมวลผล ลดเวลาในการประมวลผลและเพิ่มความเร็วในการทำเหมืองข้อมูลซึ่งต้องอยู่บนพื้นฐานของลักษณะข้อมูลที่เหมาะสม เริ่มจากข้อมูลสาขางานที่จบการศึกษา มีหลากหลายสาขางาน ผู้วิจัยจึงจำแนกสาขาตามโดยพิจารณาจากลักษณะของสาขานั้น ๆ เพื่อให้อยู่ในกลุ่มสาขาเดียวกัน เช่น agriculture คือคนที่จบ พืชศาสตร์ การเกษตร การผลิตพืช ธุรกิจเกษตร เป็นต้น

Relation: EndData2

No.	1: sex	2: religion	3: blood type	4: branch1	5: gpa	6: province	7: district	8: status	9: sibling	10: occupation	11: salary	12: relation	13: Education	14: branch2	15: academy
Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal
1	M	buddhist	B	agricult...	high	surat	Else	toget...	two	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
2	F	buddhist	B	agricult...	high	krabi	Nuea ...	remarry	three	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
3	M	buddhist	B	agricult...	mid	krabi	Khao ...	toget...	two	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
4	F	buddhist	O	agricult...	mid	krabi	Nuea ...	toget...	three	work for hire	mid	mother	y	agriculture	kcat
5	M	buddhist	O	agricult...	low	krabi	Nuea ...	toget...	one	work for hire	mid	mother	y	agriculture	kcat
6	M	buddhist	O	agricult...	mid	pnangnga	Else	toget...	two	trade	mid	father	y	agriculture	kcat
7	F	buddhist	O	agricult...	vhigh	krabi	Plai P...	remarry	three	agriculture	mid	father	n	work	no
8	M	buddhist	O	agricult...	mid	surat	Else	toget...	three	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
9	M	buddhist	O	animal	high	krabi	Khao ...	toget...	three	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
10	F	buddhist	B	animal	vhigh	krabi	Khao ...	toget...	three	trade	mid	mother	y	agriculture	kcat
11	F	islam	O	animal	vhigh	nakorn sri	Else	remarry	two	else	mid	mother	y	agriculture	kcat
12	F	buddhist	O	animal	high	krabi	Lam T...	divorce	two	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
13	F	buddhist	A	animal	vhigh	krabi	Else	toget...	three	work for hire	mid	elder	y	agriculture	kcat
14	F	buddhist	B	animal	vhigh	krabi	Lam T...	divorce	seven	work for hire	mid	mother	y	agriculture	kcat
15	F	buddhist	O	animal	vhigh	krabi	Lam T...	toget...	two	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
16	M	buddhist	O	fishery	mid	krabi	Nuea ...	divorce	three	agriculture	mid	mother	y	agriculture	kcat
17	M	buddhist	O	fishery	high	krabi	Plai P...	toget...	two	work for hire	mid	father	y	agriculture	kcat
18	F	buddhist	B	fishery	high	krabi	Lam T...	toget...	two	agriculture	mid	father	n	work	no
19	F	buddhist	O	fishery	mid	surat	Else	remarry	four	work for hire	mid	elder	n	work	no
20	M	buddhist	AB	fishery	mid	krabi	Khao ...	toget...	five	agriculture	mid	father	y	agriculture	kcat
21	F	buddhist	O	computer	high	krabi	Nuea ...	toget...	two	work for hire	low	father	n	work	no
22	F	buddhist	B	computer	mid	krabi	Nuea ...	divorce	one	agriculture	low	mother	n	work	no
23	F	buddhist	O	travel	low	surat	Else	remarry	two	work for hire	mid	father	y	travel	kcat
24	F	buddhist	O	travel	low	krabi	Khlon...	toget...	three	work for hire	mid	mother	y	travel	kcat
25	F	buddhist	A	travel	low	krabi	Khlon...	remarry	three	agriculture	mid	mother	n	work	no

Add instance Undo OK Cancel

ภาพที่ 3 แสดงข้อมูลเมื่อนำเข้าโปรแกรม WEKA

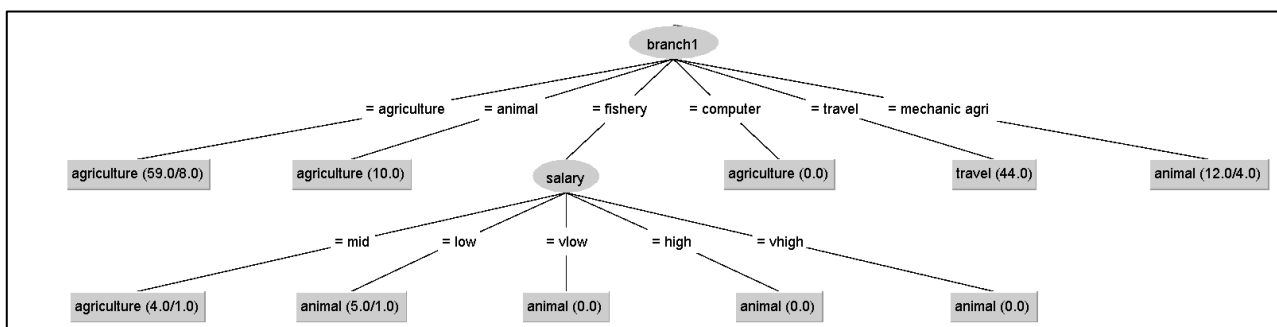
ขั้นตอนที่ 4 Modeling Phase สร้างแบบจำลอง ขั้นตอนนี้เป็นทางเลือกใช้อัลกอริทึมสร้างแบบจำลองจากข้อมูลนักเรียนที่จบประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี ในปีการศึกษา พ.ศ. 2560 - 2563 จำนวน 251 คน ประกอบด้วย 15 คุณลักษณะ ซึ่งกำหนดคุณลักษณะ branch2 (สาขาที่เรียนต่อ) เป็นคลาสซึ่งเป็นเป้าหมาย โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกอัลกอริทึมการทำเหมืองข้อมูล 3 อัลกอริทึม คือ 1) ต้นไม้ตัดสินใจ(Decision Tree) 2) การเรียนรู้แบบเบย์ (Naïve Bayes) และ 3) ป่าสุ่ม (Random Forest) มาทำการทดลองแบบจำลองทั้ง 3 อัลกอริทึม และวิเคราะห์ผลแบบจำลองที่ดีที่สุด มีความเหมาะสมที่สุด และหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง คือการนำข้อมูล มาวิเคราะห์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ โดยใช้อัลกอริทึม อะพริออริ (Apriori) โดยกำหนดค่า Minimum Support เท่ากับ 0.3 ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.8 กับ กำหนดค่า Minimum Support เท่ากับ 0.4 ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.7

ขั้นตอนที่ 5 Evaluation Phase ประเมินผลแบบจำลอง ที่ได้หลังจากการสร้างแบบจำลอง โดยจะทำการประเมินแบบจำลองด้วยวิธี 5-fold cross-validation, 10-fold cross-validation วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมในการทำงานวิจัย เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลเนื่องจากผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ การวัด ประสิทธิภาพด้วยวิธี Cross-validation นี้จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วน (มักจะแสดงด้วยค่า k) เช่น 5-fold cross-validation คือ ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หรือ 10-fold cross-validation คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หลังจากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนจะใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ทำวนไปเช่นนี้จนครบจำนวนที่แบ่งไว้ และPercentage split 70% วิธี Split Test เป็นการแบ่งข้อมูลด้วยการสุ่มออกเป็น 2 ส่วน เช่น 70% ต่อ 30% หรือ 80% ต่อ 20% โดยข้อมูลส่วนที่หนึ่ง (70% หรือ 80%) ใช้ในการสร้างโมเดลและข้อมูลส่วนที่สอง (30% หรือ 20%) ใช้ใน การทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล การทดสอบแบบ Split Test นี้ทำการสุ่มข้อมูลเพียงครั้งเดียวซึ่งในบาง ครั้งถ้าการสุ่มข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบที่มีลักษณะคล้ายกับข้อมูลที่ใช้สร้างโมเดล ทำให้ผลการวัด ประสิทธิภาพได้ออกมาดี ในทางตรงข้ามถ้าการสุ่มข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบที่มีลักษณะแตกต่างกับข้อมูลที่ใช้สร้างโมเดลมากทำให้ผลการวัดประสิทธิภาพได้ออกมาแย่ ดังนั้นจึงควรใช้วิธี Split Test นี้หรือทำการสุ่ม หลายๆครั้ง ซึ่งใช้เกณฑ์ในการประเมินค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง คือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ(Precision) ค่าเรียกคืน (Recall) และ ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) เพื่อวิเคราะห์ว่าตรงกับวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้หรือไม่

ขั้นตอนที่ 6 Deployment Phase นำไปใช้งาน นำแบบจำลองที่ได้และผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และนำไปประยุกต์ใช้งาน

5. ผลการวิจัย

วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงของนักศึกษาวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่ โดยใช้หลักการทำเหมืองข้อมูล 2 แบบ ได้แก่ การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล และ แบบกฎความสัมพันธ์ พบว่า การทำเหมืองแบบจำแนกข้อมูลโดยใช้ขั้นตอนวิธีต้นไม้ตัดสินใจ ทำการประเมินแบบจำลองด้วยวิธี 5-fold cross-validation และ 10-fold cross-validation ได้ค่าสูงสุดเท่ากัน คือ ค่าความแม่นยำ (Precision 98.5 %) ค่าความไว (Recall 100 %) การวัดค่าประสิทธิภาพ (F-Measure 99.3 %) ผลที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจมีกฎความสัมพันธ์ ดังนี้



ภาพที่ 4 กฎความสัมพันธ์ของอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจในโปรแกรม Weka

ตารางที่ 1 ผลการสร้างกฎความสัมพันธ์และการแปลความหมาย

กฎที่ได้จากโปรแกรม Weka	แปลความหมายของกฎ
1. branch1 = agriculture ==> agriculture	ถ้าจบสาขาเกษตรศาสตร์จะเรียนต่อในสาขาเดิม
2. branch1 = animal ==> agriculture	ถ้าจบสาขาสัตวศาสตร์จะเรียนต่อในสาขาเกษตรศาสตร์
3. branch1 = fishery ==> salary = mid ==> agriculture	ถ้าจบสาขาประมงและรายได้ผู้ปกครองอยู่ในระดับปานกลาง จะเรียนต่อในสาขาเกษตรศาสตร์
3.1 branch1 = fishery ==> salary = low ==> animal	ถ้าจบสาขาประมงและรายได้ผู้ปกครองอยู่ในระดับต่ำ จะเรียนต่อในสาขาสัตวศาสตร์
3.2 branch1 = fishery ==> salary = vlow or high or vhigh ==> animal	ถ้าจบสาขาประมงและรายได้ผู้ปกครองอยู่ในระดับต่ำมาก หรือสูง หรือสูงมาก จะไม่เลือกเรียนต่อในสาขาสัตวศาสตร์
4. branch1 = computer ==> travel	ถ้าจบสาขาคอมพิวเตอร์จะไม่เรียนต่อในสาขาเกษตรศาสตร์
5. branch1 = travel ==> travel	ถ้าจบสาขาการท่องเที่ยวจะเรียนต่อในสาขาเดิม
6. branch1 = mechanic ==> animal	ถ้าจบสาขาช่างเกษตรจะเรียนต่อในสาขาสัตวศาสตร์

ตารางที่ 2 กฎของความสัมพันธ์ จากการกำหนด Apriori กำหนดค่า ค่า Minimum Support เท่ากับ 0.3 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.8 ที่ซ้ำกับ Minimum Support เท่ากับ 0.4 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.7

กฎของความสัมพันธ์	Confidence	Lift
1. academy=kcat 134 ==> Education=y 134	1.00	1.37
2. religion=buddhist academy=kcat 113 ==> Education=y 113	1.00	1.37
3. province=krabi academy=kcat 101 ==> Education=y 101	1.00	1.37
4. academy=kcat 134 ==> religion=buddhist Education=y 113	0.84	1.37
5. satus=together Education=y 133 ==> religion=buddhist 112	0.84	1.03
6. Education=y 183 ==> religion=buddhist 154	0.84	1.03
7. blood type=O Education=y 126 ==> religion=buddhist 105	0.83	1.02

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำเหมืองแบบกฎความสัมพันธ์โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Apriori โดยกำหนดค่า Minimum Support = 0.3 ค่า Minimum Confidence = 0.8 และ ค่า Minimum Support = 0.4 และ ค่า Minimum Confidence = 0.7 เมื่อนำกฎมาเปรียบเทียบกับเพื่อหากฎที่ซ้ำกัน ตัดกฎที่ให้ค่า lift น้อยกว่าและเท่ากับ 1 จะได้กฎ 7 กฎ แต่บางกฎที่ให้ความใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาพบว่ากฎดังกล่าว สามารถสรุปข้อมูลได้ 4 กฎดังต่อไปนี้

1. จำนวนนักศึกษาที่เรียนต่อที่วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่เท่ากับนักศึกษาที่ศึกษาต่อเป็นร้อยละ 100 ของผู้จบการศึกษาที่เลือกเรียนต่อ
2. นักศึกษาที่นับถือศาสนาพุทธและเรียนต่อที่วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่เท่ากับนักศึกษาที่ศึกษาต่อคิดเป็นร้อยละ 100 ของผู้จบการศึกษาที่เลือกเรียนต่อ
3. นักศึกษาที่มีภูมิลำเนาอยู่ในจังหวัดกระบี่และเลือกเรียนต่อที่วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่คิดเป็นร้อยละ 100 ของนักศึกษาที่เลือกเรียนต่อทั้งหมด
4. นักศึกษาที่พ่อแม่ อยู่ด้วยกันและเลือกเรียนต่อ 133 คนจะนับถือศาสนาพุทธคิดเป็นร้อยละ 84 ของนักศึกษาที่เลือกเรียนต่อทั้งหมด

จากหลักการทำเหมืองข้อมูล 2 แบบ จะได้กฎความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน คือ นักศึกษาจะเลือกเรียนต่อที่วิทยาลัยเดิมก็ต่อเมื่อมีสาขาเดิมที่ในระดับที่สูงกว่ารองรับ

6. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพเพื่อเรียนต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชา ทั้ง 3 อัลกอริทึม ต้นไม้ตัดสินใจ นาอิวเบย์ และป่าสุ่ม พบว่า ต้นไม้ตัดสินใจให้ผลลัพธ์ดีที่สุด สามารถดูได้จากกฎความสัมพันธ์ในตารางที่ 1 กล่าวคือ ถ้านักศึกษาเรียนจบในสาขาเกษตรศาสตร์ สาขาการท่องเที่ยว นักศึกษาเหล่านั้นจะเรียนต่อในสาขาเดิม เป็นต้น ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จากงานชิ้นนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ การหาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายของนักเรียน โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยเลือกการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี 2 วิธี คือ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : J48) และป่าสุ่ม (Random Forest) พบว่าค่าความถูกต้องเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีค่าสูงที่สุด (ชิตนภัส มาศชาย และคณะ, 2554, หน้า 1-11) นอกจากนี้ยังพบว่างานวิจัยฉบับนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมและการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับอาชีวศึกษา โดยใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูล 3

เทคนิค ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : J48) เทคนิคนาอ็ิบเบย์ (Naive Bayes) และ เทคนิคกฎการอุปนัย (Rule Induction) ซึ่งพบว่าค่าความถูกต้องเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีค่าสูงที่สุด (รัชพล กลัดชื่น และจรัญ สานราช, 2561, หน้า 1-10)

ผลการสร้างกฎความสัมพันธ์พบว่ากฎความสัมพันธ์ที่ได้จากอัลกอริทึม Apriori มีค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 80% ทำให้ทราบว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้นักศึกษาเลือกศึกษาต่อคือสถานศึกษาจะต้องมีสาขาวิชาที่รองรับในการเรียนต่อในระดับที่สูงขึ้น และนักศึกษาจะต้องมีภูมิลำเนาอยู่ในจังหวัดที่สถานศึกษาตั้งอยู่

นักศึกษาส่วนใหญ่จะไม่ลังเลที่จะเรียนต่อ และรู้ตัวว่าตนเองจะต้องเลือกเรียนในสาขาวิชาใด แต่จะมีนักศึกษาอีกกลุ่มที่เลือกเรียนตามสาขาที่เพื่อนแนะนำ การเลือกให้ของผู้ปกครอง หรือการโน้มน้าวของผู้สอนในสาขาเดิม ทำให้นักศึกษาเหล่านี้ อาจเลือกสาขาผิด ส่งผลให้เรียนได้ไม่ดี ไม่มีความสุขในการเรียน เกิดการเปลี่ยนหรือย้ายสาขาระหว่างเรียน ทำให้เสียเวลา และส่งผลต่อเนื่องในการเลือกคณะที่จะเรียนต่อในระดับอุดมศึกษา ในการวิจัยในครั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการแนะแนวการศึกษาต่อให้กับนักศึกษา เพื่อลดการออกกลางคันของนักศึกษาที่เรียนอยู่ เมื่อนักศึกษาเลือกสาขาได้ตรงต่อความต้องการ ทั้งนี้ยังตอบสนองนโยบายของ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ยุทธศาสตร์คุณภาพ “จุดเน้น อาชีวศึกษา 2565” ดำเนินการแบบองค์รวม ขยายโอกาสทางการศึกษาด้านอาชีวศึกษาให้กับเยาวชน

การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล(Classification) ยังมีอีกหลายเทคนิคที่น่าสนใจและน่าจะนำมาทำการทดลองเพื่อหาผลที่ได้ เช่น ขั้นตอนวิธีแบบ Multilayer Perceptron, K-Nearest Neighbor, Support Vector Machine เป็นต้น การวิจัยในครั้งนี้ใช้กับกลุ่มประชากรเพียงที่เดียวเท่านั้น หากมีผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับประชากรกลุ่มอื่นได้ และยังสามารถนำไปสร้างเป็นแอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน ในการวิจัยในครั้งต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลโดยการพิจารณาจากความชอบ ทักษะที่มีของนักศึกษา เพื่อให้ นักศึกษาค้นพบความสามารถที่แท้จริงและเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

6.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

- 1) นำผลที่ได้ไปสร้างเป็นแอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ลองใช้เทคนิคอื่นได้ เช่น ขั้นตอนวิธีแบบ Multilayer Perceptron, K-Nearest Neighbor, Support Vector Machine
- 2) ลองใช้กับข้อมูลชุดอื่นๆเพื่อดูผลจากการทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล และ แบบกฎความสัมพันธ์ ให้ผลที่สอดคล้องกันหรือไม่

7. กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากมีบุคคลหลายท่านได้ให้ความช่วยเหลือ ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภาวรรณ บัวทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี รวมไปถึงคณาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีดิจิทัลทุกท่าน ที่ได้คำชี้แนะเพื่อให้งานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอบคุณงานทะเบียน ผู้บริหารวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกระบี่ ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆร่วมรุ่น ตลอดจนจนถึงครอบครัวที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาจนทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

เจษฎาพร ปาคำวัง, กาญจน์ คุ่มทรัพย์ และ เกรียงไกร ทิมศร. (2563). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 14(1), 24-32

ชิตนภัส มาศชาย, นุชนารถ ศรีชะโหม่, วิสูตร มาศชาย, และวิภาวรรณ บัวทอง. (2564). การหาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพ

ทางกายของนักเรียนโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
ลำปาง, 14(2), 1-11.

รัชพล กลัดชื่น, และจรัญ แสนราช. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมและการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อการ
ทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับอาชีวศึกษา. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 17(1),
1-10.

รัชฎา เทพประสิทธิ์, และจรัญ แสนราช. (2563). การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับปริญญาตรีคณะ
ครุศาสตร์ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล. วารสารบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์,
14(1), 134-145.

เสาวลักษณ์ เรียงพรม และอรอุมา ลาสุนนท์. (2561). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต. วารสารนานาชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 8(3), 66-92.

Adebisi Abimbola Baale and Adelodun F Ojiyivwi. (2018). Analyses of Students' Vocational Data Using Some
Selected Classification Algorithms. *Advances in Mathematical Sciences Journal*, 6(2), 51-62.

Alaa Khalaf Hamoud. (2017). Selection of Best Decision Tree Algorithm for Prediction and Classification of Student's
Action. *American International Journal of Research in Science*, 16(1), 26-32

Harwati and Amby Sudiya (2016). Application Of Decision Tree Approach To Student Selection Model- A Case
Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-8.

การศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับการรับน้ำหนัก The Feasibility Study of Concrete Mixed with Used EPS Foam for Load Bearing

จรัล รัตนโชตินันท์
Jaran Ratanaachotinun

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
Department of Civil and Construction Management Engineering, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่อการรับน้ำหนัก โดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟมและการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 0.1%, 0.2%, 0.3%, และ 0.4% ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังแรงอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เหมาะสม คือ ระดับไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและมีค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับเฉลี่ยร้อยละ 2 ถึง 6 ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยประมาณ 1,980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งลดลงจากต้นทุนของคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

คำสำคัญ: คอนกรีตผสมอีพีเอสโฟม ต้นทุนคอนกรีต อีพีเอสโฟม

Abstract

This research is the feasibility study of concrete mixed with used EPS foam for loading, comparing with typical concrete and assessment for cost of concrete mixed with used EPS foam. The testing of compressive strength compared with typical concrete and concrete which mixed with EPS foam in rate of 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4 % by weight of fine aggregates and the curing age of 7, 14 and 28 days. The results have shown that increased EPS foam the lower the strength compare to typical concrete. The proper percentage of EPS foam is no more than 0.3 % by weight, average strength of 218 kg/cm² and average density of green concrete is 2%-6% lower than density of typical concrete. The cost of concrete is around 1980 baths per cubic meter which is 3% lower than typical concrete.

Keywords: Concrete mixed with EPS foam, Concrete cost, Used EPS foam

1. บทนำ

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น อาคาร ถนน เป็นต้น ส่วนประกอบของคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ปัญหาการกำจัดขยะโดยเฉพาะที่เป็นขยะโพลีเอสเตอร์ กระดาษสิ่งแวดล้อม และอ้างอิงข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ในปี 2560 สำหรับประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกหิ้ว จำนวน 45,000 ล้านใบต่อปี และโพลีเอสเตอร์อาหาร จำนวน 6,758 ล้านใบต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดขยะโพลีเอสเตอร์เป็นจำนวนมาก ข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) กำหนดข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 กำหนดค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง จึงส่งผลต่อต้นทุนการกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์ การกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์จะเกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ อ้างอิงข้อมูลจาก Reginald B.H. et al. (Reginald B.H. Tan, Hsien H. Khoo, 2005) ได้อธิบายไว้ว่า การปลดปล่อยก๊าซ CO₂ โดยประมาณเท่ากับ 0.051 และ 0.028 กิโลกรัมต่อขยะโพลีเอสเตอร์ 1 กิโลกรัม สำหรับการฝังกลบและการเผาขยะโพลีเอสเตอร์ตามลำดับ การกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์โดยนำมาใช้งานให้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตก่อสร้างจะช่วยลดต้นทุนการกำจัดขยะและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง อาทิ การศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่มีรูกลวงเพื่อการลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Ratanachotinun and Pairojn, 2020) เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนและช่วยประหยัดการใช้พลังงานภายในอาคาร การนำเศษโพลีเอสเตอร์มาใช้ทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต (สมบูรณ์ คงศักดิ์ศิริ, 2006) โดยนำโพลีเอสเตอร์ตามขนาดที่ต้องการและผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโพลีเอสเตอร์เป็นคอนกรีตมอร์ตาร์ที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ตาร์ คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ทราย:โพลีเอสเตอร์ คือ 1:0.5:3 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 4.52 เมกะปาสคาลหรือ 46.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำโพลีเอสเตอร์มาผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสม 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตผสมโพลีเอสเตอร์สามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ 6.41 เมกะปาสคาลหรือ 65.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกะปาสคาลหรือ 14.48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การศึกษาอิทธิพลของขนาดเม็ดโพลีเอสเตอร์ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา (รมย์ธีรา จิตอารย์, มงคล นามลักษณ์, 2562) ผลการศึกษาพบว่า การผสมเม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดเล็กจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดใหญ่ การใช้เม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดต่างกันส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตเล็กน้อย กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดต่ำลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ และคอนกรีตที่ผสมเม็ดโพลีเอสเตอร์จะมีการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม การพัฒนาความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตโพลีเอสเตอร์ที่ผสมเม็ดเซรามิก (Wang et al, 2021) ผลการทดลองพบว่า การรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยระหว่าง 5.1-62.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามสัดส่วนผสมของคอนกรีตโพลีเอสเตอร์กับเม็ดเซรามิก การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้ว (จรัส รัตนโชตินันท์, 2564) ผลการทดลองพบว่า การผสมโพลีเอสเตอร์ในอิฐบล็อกและปูนฉาบสำหรับก่อสร้างอาคารทั่วไปจะช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการช่วยกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วโดยสัดส่วนผสมโพลีเอสเตอร์ที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 1 ของมวลรวมละเอียด จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นก็จะพบว่าเป็นการศึกษาวัดที่ไม่ใช้งานแล้วผสมในคอนกรีตซึ่งยังมีความสามารถในการรับน้ำหนักไม่มากนัก สำหรับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุเหลือใช้กับการพัฒนางานก่อสร้าง อาทิ การศึกษาคอมโพสิตซีเมนต์และคอนกรีต ผลของพารามิเตอร์การบ่มต่อการบ่ม CO₂ ของบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลรวดเร็ว (Zhan et al, 2016) ศึกษาบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลสำหรับงานก่อสร้าง การศึกษาวิศวกรรมความร้อนประยุกต์ การศึกษาสมบัติเชิงกลความทนทานและการประเมินวัฏจักรชีวิตของบล็อกอาคารคอนกรีตที่มีมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Tu et al, 2018) ศึกษาความเป็นไปได้การใช้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCAs) เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับงานการก่อสร้างอาคาร การวิเคราะห์วัสดุก่อสร้างและอาคารการวิจัยเชิงทดลองของบล็อกคอนกรีตปูพื้นด้วยอิฐดินเผาและกระเบื้องรวม (Bjegovic et al, 2015) ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยวัสดุทดแทนธรรมชาติมากกว่า 50% ด้วยวัสดุรีไซเคิลที่ทำจากดินเหนียวและกระเบื้องหลังคา การศึกษาพลังงานทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใหม่เป็นฉนวนกันความร้อน

สำหรับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ก่อสร้างอาคาร (Bechki et al, 2019) การศึกษาการรีไซเคิลของเสียสำหรับใช้งานที่มีมูลค่าเพิ่มในบล็อกคอนกรีต (Ling et al., 2018) การใช้ของเสียประเภทต่างๆ เช่น คอนกรีตรีไซเคิล อิฐบด อิฐโซดาไลม์ แก้วหลอด แก้วคาโทเดอเรย์ ยางครัม เศษเซรามิกและกระเบื้องเป็นต้น มาเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนของบล็อกคอนกรีต จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาโดยภาพรวมเห็นว่ยังไม่มีการพัฒนาคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมอย่างง่ายเพื่อใช้งานก่อสร้างโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยอ้างอิงมาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงานโครงสร้างอาคาร มยผ. 1101-64 ถึง มยผ. 1106-64 (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2564) และเป็นการกำจัดขยะอีพีเอสโฟม งานวิจัยที่ผ่านมาเลือกใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทอื่นๆ ที่ไม่ใช่อีพีเอสโฟมผสมในคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง จึงเป็นที่มาของงานวิจัย งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสามารถการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่อการรับน้ำหนัก การเปรียบเทียบการรับน้ำหนักกับคอนกรีตแบบปกติ และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ คือ วัสดุและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ขนาดคละ และการดูดซึมน้ำของมวลรวม การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลการวิจัย

2.1 วัสดุและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

การวิจัยนี้ใช้วัสดุสำหรับการสร้างตัวอย่างทดสอบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1) ตราตราทีพีไอ มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 15 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเป็นมวลรวมทั่วไปที่นิยมใช้และมีอยู่ในประเทศไทย น้ำสำหรับการทดสอบเป็นน้ำประปามีคุณภาพตามมาตรฐานการประปาครหลวง สถานที่การวิจัยเป็นห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม อีพีเอสโฟมที่ใช้ในการทดสอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานสำหรับป้องกันการกระแทกจากการขนส่งสินค้าต่าง ๆ การย่อยอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตจะมีรูปร่างเป็นเม็ดโฟมทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร และผสมในคอนกรีตร้อยละ ร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด เครื่องมือสำคัญสำหรับทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่าง คือ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 15*15*15 เซนติเมตร และเครื่องทดสอบ Compressive Testing Machine วัสดุและเครื่องมือสำคัญสามารถแสดงได้ในภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 อีพีเอสโฟมและเครื่องทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัย (ก) ตัวอย่างอีพีเอสโฟมขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร

(ข) แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ (ค) เครื่อง Compressive Testing Machine

2.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ขนาดผลและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

การทดสอบวัสดุมวลรวมจะอบมวลรวมตัวอย่างเพื่อทดสอบจะใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 110 องศาเซลเซียส การทดสอบความถ่วงจำเพาะและความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C127 Standard test method for density, relative density (specific gravity), absorption aggregate การทดสอบความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C128 Standard test method for density, relative density (specific Gravity), and absorption of fine aggregate การทดสอบนี้มีสถานะอิมมัวผิวแห้ง และการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นการหาค่าดูดซึมน้ำเข้าสู่ตัวเนื้อมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

2.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการทดสอบ

อัตราส่วนผสมที่ใช้สร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมสำหรับทดสอบการรับแรงอัดของ อ้างอิงจากอุทัยฤทธิ์ โจนวิภาต (2560) โดยการคำนวณออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI (American Concrete Institute) เป็นการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตแบบปกติที่มีกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำหนดปริมาตร 1:2:4 โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน หยาบ 2 ส่วน และหิน 4 ส่วน และน้ำหนักของปูนซีเมนต์เท่ากับ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักของหยาบเท่ากับ 1,450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำหนักของหินเท่ากับ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร คือ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หยาบเท่ากับ 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินเท่ากับ 1,296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำเท่ากับ 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การสร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมจะมีสัดส่วนปริมาตรของอีพีเอสโฟมที่ผสมในคอนกรีต คือ ร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยกำหนดปริมาณมวลรวมละเอียดหรือหยาบเท่าเดิม ไม่มีการลดปริมาณหยาบ การออกแบบส่วนผสมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัสดุผสมในคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับใช้ทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ (kg)	หยาบ (kg)	หิน (kg)	น้ำ (kg)	EPS (% ของน้ำหนักหยาบ)	EPS (kg)
300	624	1296	180	0	0.000
300	624	1296	180	0.1	0.624
300	624	1296	180	0.2	1.248
300	624	1296	180	0.3	1.872
300	624	1296	180	0.4	2.496

2.4 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

การย้อยอีพีเอสโฟมที่ใช้จะมีรูปร่างเป็นเม็ดโฟมทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบอ้างอิงมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก มล 101-2550 (สำนักชลประทานที่ 14, 2562) กำหนดจำนวน 3 ตัวอย่าง สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้เตรียมตัวอย่างเพิ่มเป็น 4 ตัวอย่างต่อชุดเพื่อความน่าเชื่อถือ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่ใช้ในการทดสอบต่อสัดส่วนเท่ากับ 12 ตัวอย่าง และอายุของคอนกรีตทุกกลุ่มตัวอย่างจะมีระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 7, 14 และ 28 วันแบ่งแยกตามสัดส่วนการผสมอีพีเอสโฟม รวมตัวอย่างทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 60 ตัวอย่าง การทดสอบหารับกำลังแรงอัดเป็นตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Standard testing method for compressive strength of cylindrical concrete specimens) โดยเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา การทดสอบการรับกำลังแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตแสดงผลทดสอบในตารางและแผนภูมิภาพเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

5.การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลงานวิจัย

การเปรียบเทียบความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใส่แล้วที่สัดส่วนต่าง ๆ รูปแบบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใส่แล้ว การวิเคราะห์ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใส่แล้วจากต้นทุนกำจัดขยะอิพิเอสโม่ที่นำมาผสมในคอนกรีต

3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย สามารถแบ่งรายละเอียดดังนี้ คือ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทดสอบ ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด ลักษณะความเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใส่แล้ว และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใส่แล้ว

3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

ปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดหรือทรายหยาบที่ใช้ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.62 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.54 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 2 มวลรวมหยาบหรือหินที่ใช้ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.79 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.48 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 3 อิพิเอสโม่ที่ใส่แล้วสำหรับทดสอบมีความหนาแน่นเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการย่อยอิพิเอสโม่ได้ขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร อิพิเอสโม่ในรูปแบบเป็นขยะจะมีลักษณะที่จับตัวกันแบบหลวมเนื่องจากอิพิเอสโม่ที่ขึ้นรูปเป็นโครงกันกระแทกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ จากลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อความหนาแน่นของขยะอิพิเอสโม่จะลดลงประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ (28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นความหนาแน่นของอิพิเอสโม่ที่เป็นขยะจะมีค่าเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4 สรุปคุณสมบัติของวัสดุสำหรับทดสอบแสดงในตารางที่ 4

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด

การทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ในช่วงอายุการบ่มคอนกรีต 7, 14 และ 28 วัน และจำแนกสัดส่วนผสมอิพิเอสโม่อัตราส่วนร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียด ค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงในตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 12 และการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน (เบอร์)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักทราย + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้าง อยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
4	1,597	1,598.30	1.30	0.26	0.26	99.74
10	1,408.80	1,476.30	67.50	13.41	13.67	86.33
20	1,249.50	1,394.30	144.80	28.78	42.45	57.55
50	1,095.20	1,287.40	192.20	38.20	80.64	19.36
80	1,055.30	1,109.80	54.50	10.83	91.47	8.53
100	956	969.6	13.60	2.70	94.18	5.82
200	923.2	945	21.80	4.33	98.51	1.49
ถาด	1,049.10	1,056.60	7.50	1.49	100.00	0
รวม	9,334.10	9,837.30	503.2	100		

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมหยาบ

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน (นิ้ว)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักหิน + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้าง อยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
1	1708.9	1709.1	0.2	0.0192	0.0192	99.9808
0.75	1623.1	1736.8	113.7	10.901	10.920	89.080
0.5	1692.2	2201.9	509.7	48.869	59.789	40.211
0.375	1722.2	1918.5	196.3	18.821	78.610	21.390
0.187	1584.5	1786	201.5	19.319	97.929	2.071
ถาด	1048.3	1069.9	21.6	2.071	100.000	0
รวม	9379.2	10422.2	1043	100.000		

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของซีเมนต์และมวลรวม

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
ซีเมนต์	3.11	-	1400
หิน	2.72	0.48	1450
ทราย	2.62	1.54	1500
EPS foam	-	4	28

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบปกติผสมอิฐโผล่โฟมสัดส่วน 0 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดเฉลี่ย (กก.) / กำลังแรงอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	8.31	15.1*15*15.1	49230 / 218.8	49061 / 218.05	
	2	8.17	15*15*15	47588 / 211.5		
	3	8.31	15.1*15*15	50153 / 222.9		
	4	8.41	15.1*15*15	49275 / 219.0		
14	1	8.11	15*15*15	53865 / 239.4	54630 / 242.80	9.5 / 2436
	2	8.26	15*14.9*15	56205 / 249.8		
	3	7.95	15*15*15.1	54878 / 243.9		
	4	7.77	15*15*15	53573 / 238.1		
28	1	8.47	15*15*14.9	58478 / 259.9	57791 / 256.85	
	2	8.31	15*15*15	56183 / 249.7		
	3	8.50	15*15*15.1	57983 / 257.7		
	4	8.08	15*14.8*15	58523 / 260.1		

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.1 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	8.14	15*15*15	46980 / 208.8	48690 / 216.40	
	2	8.00	15*15*14.9	48330 / 214.8		
	3	7.99	15*14.9*15	49455 / 219.8		
	4	8.14	15*15*15	49995 / 222.2		
14	1	7.92	15*15*15	56475 / 251.0	54163 / 240.73	6.3 / 2381
	2	8.07	15*14.9*15	54585 / 242.6		
	3	8.00	15*15*15	54000 / 240.0		
	4	8.07	15*15*14.9	51593 / 229.3		
28	1	8.02	15*15*15	55643 / 247.3	54917 / 244.08	
	2	8.10	14.9*15*15	53393 / 237.3		
	3	8.04	15*15*15	56453 / 250.9		
	4	7.96	15*15*14.9	54180 / 240.8		

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.2 %

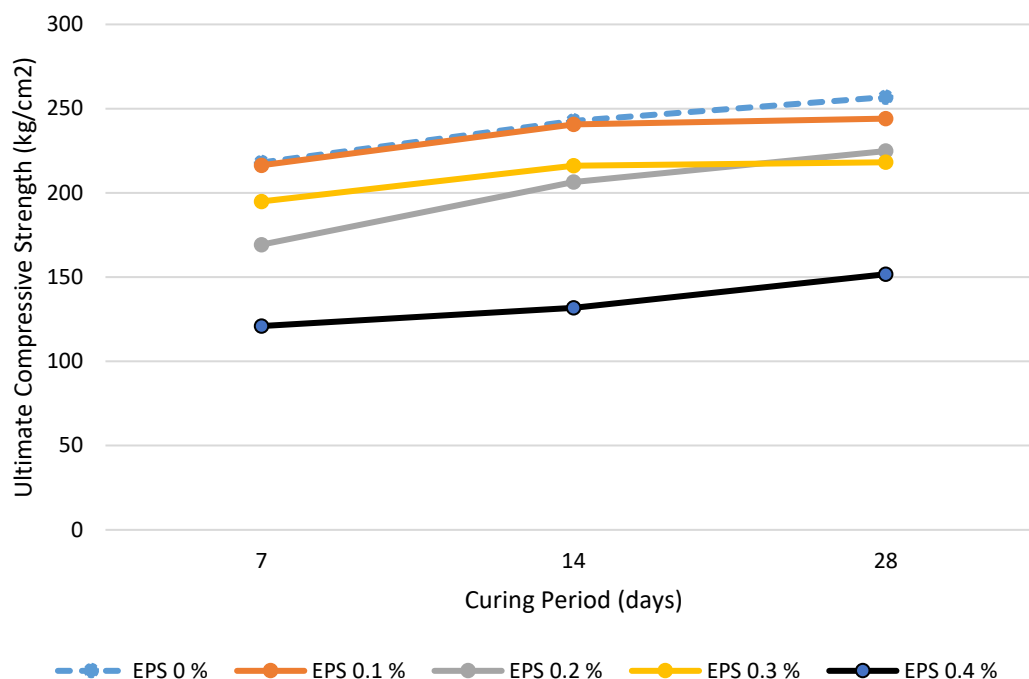
อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.76	15*15*15	44415 / 197.4	43746 / 194.43	
	2	7.85	15*15*15	44573 / 198.1		
	3	7.77	15*14.9*15	42795 / 190.2		
	4	7.75	15*14.9*15	43200 / 192.0		
14	1	7.85	15*15*15	44145 / 196.2	47177 / 209.68	5.5 / 2296
	2	7.70	15*14.9*15	49703 / 220.9		
	3	7.94	14.9*15*15	47858 / 212.7		
	4	7.86	14.9*15*15	47003 / 208.9		
28	1	7.27	14.9*15*15	50513 / 224.5	50586 / 224.83	
	2	7.70	15*15*15	51638 / 229.5		
	3	7.75	15*15*15.1	52763 / 234.5		
	4	7.80	15*15*15	47430 / 210.8		

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.3 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.82	15*15*15	40725 / 181.0	43858 / 194.93	
	2	7.76	14.9*15*15	46328 / 205.9		
	3	7.81	14.9*15*15	42435 / 188.6		
	4	7.70	15*15*15	45945 / 204.2		
14	1	7.59	15*14.9*15	48938 / 217.5	48639 / 216.18	5.5 / 2288
	2	7.73	15*15*15	47678 / 211.9		
	3	7.58	15*15*15	48645 / 216.2		
	4	8.08	15*15*15	49298 / 219.1		
28	1	7.57	15*15*15	49365 / 219.4	49088 / 218.17	
	2	7.65	14.9*15*15	51413 / 228.5		
	3	7.72	14.9*15*15	46193 / 205.3		
	4	7.67	15*15*15.1	49298 / 219.1		

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.4 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.30	14.9*15*15	27653 / 122.9	27218 / 120.97	
	2	7.42	15*15*15	29408 / 130.7		
	3	7.51	15*15.1*15	24953 / 110.9		
	4	7.47	15*15*15	26865 / 119.4		
14	1	7.54	15*14.9*15	30105 / 133.8	29671 / 131.87	4.5 / 2196
	2	7.34	15*14.9*15	30375 / 135.0		
	3	7.40	15*15*15	31253 / 138.9		
	4	7.14	15*15*15	26955 / 119.8		
28	1	7.47	15*15*15	32850 / 146	34139 / 151.73	
	2	7.42	15*15*14.9	30983 / 137.7		
	3	7.43	14.9*15*15	34988 / 155.5		
	4	7.51	15.1*15*15	37733 / 167.7		



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดในแต่ละสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบ

จากตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 9 และภาพที่ 2 พบว่าสัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดเนื่องจากมีค่าการรับกำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันเฉลี่ยเท่ากับ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่าไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถือเป็นค่าต่ำสุดในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก ความสามารถในการเทหรือสลับมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักแต่อาจสามารถใช้ออกแบบในส่วนงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักมากนัก อาทิ งานทางเดินเท้า งานคอนกรีตหยาบพื้นฐาน เป็นต้น ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตแบบปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 2.3, 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนของอีพีเอสโฟม ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ น้ำหนักของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ลดลงจะสามารถลดน้ำหนักบรรทุกทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร และส่งผลต่อการลดขนาดของโครงสร้างอาคารและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการใช้คอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมสำหรับงานพื้นหลังคาตาดฟ้าอาคารซึ่งสามารถช่วยลดค่าน้ำหนักบรรทุกทุกตายที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร การออกแบบขนาดเสาและฐานรากที่รองรับจะมีขนาดเล็กลงและต้นทุนวัสดุก่อสร้างลดลง

3.3 ลักษณะความเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 3 ความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติจะมีลักษณะแตกเป็นแนวตั้งฉากและเป็นชิ้น ส่วนตัวอย่างคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมจะมีลักษณะการแตกออกเป็นแนวเส้นตรงตั้งฉากที่เกิดขึ้นบริเวณแนวกลางและด้านข้างของตัวอย่าง สัดส่วนอีพีเอสโฟมที่ร้อยละ 0.1-0.3 มีลักษณะการแตกเสียหายที่ใกล้เคียงคลึงกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 0.4) จะมีลักษณะความเสียหายเป็นแนวตรงตั้งฉากที่เพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีการแตกในแนวกลางด้านในของตัวอย่างคอนกรีต ภาพโดยรวมความเสียหายของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับความเสียหายของคอนกรีตแบบปกติ



คอนกรีตแบบปกติ



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.1%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.2%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.3%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.4%

ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม

3.4 การประเมินต้นทุนของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

การกำจัดขยะอีพีเอสโฟมอย่างง่ายในพื้นที่ชุมชน อ้างอิงข้อมูลสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) ว่าด้วยข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 กำหนดอัตราค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง ความหนาแน่นปกติของอีพีเอสโฟมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อนำมารวมกันอยู่ในสภาพขยะจะมีลักษณะรวมตัวกันแบบหลวมมีช่องว่างเนื่องจากตัวรูปร่างของโฟมที่ขึ้นรูปทรงตัวกันกระแทก ดังนั้นน้ำหนักของขยะอีพีเอสโฟมต่อลูกบาศก์เมตรจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นปกติของอีพีเอสโฟมที่อัดแน่นโดยลดลงประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ ความหนาแน่นของขยะอีพีเอสโฟมเฉลี่ยจึงเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 10 การประเมินต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยหักต้นทุนกำจัดขยะอีพีเอสโฟม พบว่า แนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วนอีพีเอสโฟมที่ผสมเพิ่มมากขึ้น การใช้งานคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว เมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้นั้นควรเลือกใช้งานคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมสัดส่วนสูงสุดไม่เกิน 0.3 % ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแรงอัดประมาณ 218.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (คำนวณต้นทุนเฉพาะวัสดุไม่รวมค่าแรงงาน) หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบสัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมอิพีสโโฟมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร กับค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด และต้นทุนเฉลี่ย

EPS (%)	0%	0.1	0.2	0.3	0.4
ปูนซีเมนต์ (กก.)	300	300	300	300	300
ทราย (กก.)	624	624	624	624	624
หิน (กก.)	1296	1296	1296	1296	1296
EPS (กก.)	0	0.624	1.248	1.872	2.496
กำลังรับแรงอัด (กก/ตร.ม.)	256.9	244.1	224.8	218.2	151.7
ต้นทุนเฉลี่ยเบื้องต้น (บาท / ลบ.ม.)	2039	2039	2039	2039	2039
ต้นทุนเฉลี่ยกำจัดอิพีสโโฟม (บาท)	0	20	39	59	79
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/ลบ.ม.)	2039	2019	2000	1980	1960

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 % ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดหยาบและที่ช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ และสัดส่วนอิพีสโโฟมที่เหมาะสม คือ ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่เป็นค่าต่ำสุดในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อรองรับน้ำหนัก ค่าความสามารถในการเทหรือสลับมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักสูง ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วมีค่าที่ลดลงตามสัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลง ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 2.3, 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนผสมอิพีสโโฟมระดับร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ลักษณะความเสียหายเนื่องจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนอิพีสโโฟมที่ระดับร้อยละ 0.1-0.3 มีลักษณะการแตกเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตโดยภาพรวมไม่แตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วซึ่งหักลดต้นทุนการกำจัดขยะอิพีสโโฟม พบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดมีต้นทุนของคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

5. อภิปรายผล

สัดส่วนของอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตที่เหมาะสม คือ สัดส่วนไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 214 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเป็นค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้างทั่วไป ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติมีอัตราที่ลดลงระหว่างร้อยละ 2 ถึง 6 และส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตผสมอิพีสโโฟมที่ลดลงซึ่งสามารถช่วยลดค่าน้ำหนักบรรทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร และการออกแบบขนาดของโครงสร้างอาคารที่เล็กลงและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการเลือกใช้คอนกรีตผสมอิพีสโโฟมก่อสร้างพื้นหลังคาตาดฟ้าอาคารสามารถช่วยลดน้ำหนักบรรทุกตายของคอนกรีตโดยส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างหลักของอาคารที่มีขนาดเล็กลงและลด

ต้นทุนวัสดุก่อสร้าง ต้นทุนคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับสัดส่วนอิพิเอสโม่ร้อยละ 0.3 และอัตราต้นทุนที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 ดังนั้นการใช้คอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วมีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างที่ต้องการคอนกรีตต้นทุนต่ำและการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะโม่

6. ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วไม่ควรเทอิพิเอสโม่ลงไปทั้งหมดเนื่องจากจะทำให้จับตัวกันเป็นกลุ่มและไม่เกิดการกระจายตัวในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใส่ลงไปทีละส่วนเพื่อการกระจายตัวอย่างทั่วถึง การผสมน้ำควรใส่ทีละน้อยเพื่อความสะดวกต่อการผสม การวิจัยในอนาคตควรมีการทดสอบสัดส่วนผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วในคอนกรีตโดยการทดแทนมวลรวมละเอียด และวิเคราะห์ความเป็นไปได้การรับแรงอัดที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้าง รวมทั้งความสามารถลดต้นทุนคอนกรีตที่ดีขึ้นเนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดที่ลดลงโดยการทดแทนของอิพิเอสโม่และการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ CO₂ จากการกำจัดขยะโม่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). *มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโม่เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม* [จุลสาร]. กรมควบคุมมลพิษ
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2564). *มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร* มยผ. 1101-64 ถึง มยผ. 1106-64. กรมโยธาธิการและผังเมือง.
- จรัส รัตนโชตินันท์, กฤษ คำคุณธรรม, ไชยพันธ์ รัตนโชตินันท์, มนพัทธ์ สาสิงห์, เสาวรส หะสิทธิ์ และขวัญจิรา สอนระวัตร. (2564). การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1*, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- จรัส รัตนโชตินันท์. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้ว. *วารสารวิชาการ EAU Heritage*, 14(3), 15-126.
- รมย์ธีรา จิตอารย์, มงคล นามลักษณ์. (2562). อิทธิพลของขนาดเม็ดโม่โพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, 3(1), 11-18.
- สมบุญร คงสมศักดิ์ศิริ. (2006). การใช้เศษโม่มาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 2(1), 65-69.
- สวัสด์ ภูมิสวัสด์, ชัยยากร จันทรสุวรรณ. (2547). คุณสมบัติของโม่โพลีสไตรีนสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18*, ขอนแก่น.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2564). *คู่มือแนวทางการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร สำนักงานสิ่งแวดล้อม*, กรุงเทพมหานคร.
- อุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต. (2560). *Concrete Laboratory*. ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- An Tu, Chen Chen, Dawn E. Lehman, and Zhanggen Guo. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 139, 136-149.

- Bao Jian Zhan , Cai Jun Shi , Chi Sun Poon and Dong Xing Xuan. (2016). Effect of curing parameters on CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 71, 122-130.
- Djamel Bechki , Hamza Bouguettaia , Nadia Nadir and Slimane Boughali. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solar collector. *Renewable Energy* 134, 569-578.
- Dubravka Bjegovic , Ivana Milic`evic and Rafat Siddique. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricksand tiles aggregate. *Construction and Building Materials*, 94, 775-778.
- Tung-Chai Ling , Kim Hung Mo and Yazhi Meng. (2018). Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview. *Resources Conservation & Recycling*, 138, 298-312.
- Jaran Ratanachotinun and Pithan Pairojn. (2020). Assessment of the Feasibility of Autoclaved Aerated Concrete with Perforation in Thailand. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(2), 249-259.
- Giorgia Peri, Marzia Traverso, Matthias Finkbeiner, Gianfranco Rizzo. (2012). The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: *Covering the gap*. *Energy*, 48, 406-414
- Azad A.Mohammed. (2017). Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 593-604.
- Reginald B.H. Tan, Hsien H. Khoo. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management*, 74, 195–205.
- Xiaojuan Wang, Lu Liu, Hongyuan Zhou, Tianyi Song, Qiyun Qiao, Hong Zhang. (2021). Improving the compressive performance of foam concrete with ceramsite: *Experimental and meso-scale numerical investigation*. *Materials & Design*, 208, 1-23.

การเปรียบเทียบผลของมุมเข้าขณะวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าและระยะถนัดที่มีต่อ ความสามารถในการสร้างแรงในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน

The Comparison of Knee Angle while Foot placed on the Starting Block among Shin and Dominant Length on Ability to Produce Force in Young Swimmers

ธนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์¹, ธนวรรษ บำรุงวงศ์², ปกนิวิช เมฆศิริวิชัย³, ธนกร ไชมุสิก⁴,
มานพ ภูสุวรรณ์⁵, ณัฐธิดา บังเมฆ⁶, ลดาวัลย์ ชุตินากุล⁷, และ วรเมธ ประจงใจ^{8*}

Thanatpong Sukwong¹, Thanawat Bumrungwong², Papinwit Meksiriwit³, Thanakorn Kaimusik⁴,
Manop Phoosuan⁵, Nattida Bungmek⁶, Ladawan Chutimakul⁷, and Vorramate Prajongjai^{8*}

1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

⁷ วิทยาลัยการฝึกหัดครู มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 Department of Sports and Exercises Science, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Thailand

⁷ College of Teacher Education, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ของมุมเข้าขณะวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าและระยะถนัดที่มีต่อความสามารถในการสร้างแรงในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน กลุ่มตัวอย่าง นักกีฬาว่ายน้ำที่ฝึกซ้อมสำหรับการแข่งขันเพื่อความเป็นเลิศ สโมสรโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน อายุ 14-18 ปี จำนวน 11 คน โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยที่สัปดาห์แรกดำเนินการวัดมุมเข้าของขาที่อยู่ด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในท่าทางการออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ในระยะถนัด จากนั้นทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูลในมุมเข้าที่วัดมา สัปดาห์ต่อมา ดำเนินการวัดมุมเข้าของขาที่อยู่ด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในท่าทางการออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ในระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง จากนั้นทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูลในมุมเข้าที่วัดมา การวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการวัดมุมเข้าโดยไม้มิเตอร์วัดมุม (Goniometer) บนแท่นสตาร์ทแบบมีที่ถีบเท้าหลัง (Kick Plate) และทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูลบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ความถี่ในการเก็บข้อมูล 600 เฮิรตซ์ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ โดยการทดสอบค่า “ที” และค่า “ซี” กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยพบว่า แรงสูงสุดสัมพันธ์ และอัตราการพัฒนาแรงสูงสุดสัมพันธ์ 5 วินาที และ ณ ช่วงเวลา 30, 90, และ 150 มิลลิวินาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากท่าทางการออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ของระยะห่างและมุมเข้าทั้ง 2 นั้น ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าในระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งนั้นสามารถสร้างแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ได้ดีกว่า มากไปกว่านั้น ความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อส่วนล่างยังคงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ฝึกสอนและนักวิทยาศาสตร์การกีฬาควรให้ความสำคัญและผสมผสานอยู่ในแผนการฝึกซ้อมเสมอ

คำสำคัญ: ว่ายน้ำ การออกตัวว่ายน้ำ แรงสูงสุด อัตราการพัฒนาแรง

* Corresponding author : p.vorramate@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to compare the relative peak force and rate of force development between the dominant and shin-length feet placed on the starting block in youth swimmers. By using selective sampling, 11 swimmers from the Pathumwan school club at Srinakharinwirot University were selected. The kick start position was shown by participants during the first week of data collection, and their back leg's knee angle was measured. After that, isometric mid-thigh pull testing (IMTP) with a similar knee angle was performed. Participants exhibited the kick start posture on the starting block the following week while data collection was taking place, and they also measured the back leg's knee angle. After that, IMTP testing with a similar knee angle was performed. This current research was measured knee angle by goniometer on starting block (HX-09, FINN Forest) and utilized 600Hz force plate to performing IMTP testing (400S+, Fitness Technology). The mean, standard deviation, and comparison of the data were determined using the paired simple T-test and the Wilcoxon signed rank test, with statistical significance set at the 0.05 level. The findings demonstrated that there was no statistically significant difference at 0.05 between the dominant and shin lengths of feet placed on the starting block in terms of relative peak force and 5 second rate of peak force development, 30, 90, and 150 milliseconds because the length and knee angle were the same. Although, the results were no different between dominant and shin length, shin length showed slightly higher in relative peak force and rate of force development. Additionally, coaches and sports scientists should continue to emphasize the value of lower-body strength and power and include it in training plans.

Keywords: Swim, Swim Start, Peak Force, Rate of Force Development

1. บทนำ

กีฬาว่ายน้ำ เป็นอีกหนึ่งชนิดกีฬาที่มีผู้สนใจเข้าร่วมการแข่งขันเพื่อความเป็นเลิศหรือเล่นเพื่อพัฒนาสุขภาพก็ตาม เมื่อกล่าวถึงกีฬาว่ายน้ำเพื่อความเป็นเลิศนั้น กล่าวได้ว่า เป็นกีฬาอีกชนิดหนึ่งที่ตัดสินด้วยระยะเวลาในการแข่งขัน บางประเภทในการแข่งขันนั้นใช้ระยะเวลาไม่ถึงหนึ่งนาทีก็ส่งผลให้รู้ผลแพ้ชนะ โดยสามารถสังเกตได้จากสถิติโลกจากการแข่งขันที่ถูกรับรองโดยสหพันธ์ว่ายน้ำระหว่างประเทศ (Fédération Internationale De Natation: FINA) ยกตัวอย่างเช่น ในประเภทฟรีสไตล์ ชาย 50 และ 100 เมตร ระยะเวลาเร็วที่สุด 20.91 และ 46.86 วินาที ตามลำดับ และหญิง ระยะเวลาเร็วที่สุด 23.67 และ 51.71 วินาที ตามลำดับ (Fédération Internationale De Natation, 2022) เป็นต้น ในกีฬาว่ายน้ำหรือในการแข่งขันว่ายน้ำนั้นได้มีการแบ่งช่วงของการว่ายน้ำออกเป็นหลาย ๆ ช่วง โดยที่เริ่มต้นจากช่วงของการออกตัว ช่วงของการเริ่มว่ายน้ำ ช่วงของการกลับตัว (ขึ้นอยู่กับระยะที่ว่ายและระยะของสระ) และช่วงของการแตะขอบสระ (Vantorre et al., 2014) จากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาได้ให้ความสำคัญกับช่วงของการออกตัว เนื่องจากเป็นช่วงแรกสุดของการเริ่มต้นในการแข่งขันและยังถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้น (Arellano et al., 2000; Cossor & Mason, 2001; Welcher et al., 2008)

สำหรับกีฬาว่ายน้ำนั้นเป็นกีฬาที่มีผู้สนใจศึกษาและวิจัยมากที่สุด จากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาของ Slawson et al. (2012) กล่าวว่า 4 องค์ประกอบที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการแข่งขันว่ายน้ำ ได้แก่ การออกตัว ท่าทางการว่ายน้ำ การกลับตัว และการเข้าเส้นชัย จากองค์ประกอบทั้ง 4 นั้น การออกตัว นั้นสามารถคิดเป็นหนึ่งในสี่ของระยะเวลาในการแข่งขัน โดยในการแข่งขันว่ายน้ำระยะสั้นในมหกรรมกีฬาโอลิมปิกฤดูร้อน ณ นครซิดนีย์เมื่อปี 2000 พบว่า เวลาที่ใช้ในช่วงของการออกตัวนั้นถูกคิดเป็น 0.8 - 26.1% ของเวลาที่ใช้ในการแข่งขันทั้งหมด (Tor et al., 2014) โดยการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์นั้นมาจากระยะทางที่สั้นลงในการแข่งขัน (Hay, 1993) มากไปกว่านั้น ช่วงของการออกตัวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากความเร็วในแนวราบสูงสุดในขณะออกตัวนั้น

ประมาณ 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วกว่า 2 เท่าของช่วงการว่ายน้ำทางต่าง ๆ (Kiuchi et al., 2010) เพราะฉะนั้น เมื่อใดก็ตามที่นักกีฬาว่ายน้ำนั้นมีความสามารถในการออกตัวได้ดั้น หรือออกตัวแล้วสามารถเป็นผู้นำได้ตั้งแต่เริ่มต้น ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการเป็นผู้ชนะในการแข่งขันครั้งนั้น ๆ ได้ รวมถึงเป็นการช่วยลดความกดดันและความเครียดได้อีกด้วย (Cossor & Mason, 2001; Okuno et al., 2002; Slawson, 2010) ดังนั้น การออกตัวจากแท่นออกตัวนั้นจึงเป็นช่วงที่สร้างความได้เปรียบและโอกาสของการเป็นผู้ชนะในการแข่งขันครั้งนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดี

จะเห็นได้ว่า รูปแบบและวิธีการออกตัวจากแท่นออกตัวนั้นมีความสำคัญเป็นอันดับแรกที่จะช่วยสนับสนุนให้นักกีฬาว่ายน้ำนั้นมีโอกาสที่จะเป็นผู้ชนะในการแข่งขันครั้งนั้น ๆ ได้ ที่ผ่านมารูปแบบการออกตัวในนักกีฬาว่ายน้ำนั้นแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การยืนออกตัวบนแท่นออกตัวโดยเท้าทั้ง 2 ข้างชนกัน (Grab Start) และการยืนออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม (Track Start) จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า การยืนออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม (Track Start) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในหมู่นักว่ายน้ำระดับสูง (Cossor, J., & Mason, B., 2001) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการยืนออกตัวบนแท่นออกตัวของ 2 รูปแบบนั้น พบว่า การยืนออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม (Track Start) ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า และได้ระยะทางในการลอยตัวไกลกว่า (Miller et al., 2003) ต่อมาในปี 2009 เป็นต้นมา สหพันธ์ว่ายน้ำระหว่างประเทศได้อนุมัติการใช้แท่นออกตัวแบบที่ถีบด้านท้าย (Omega, OSB11) ในการแข่งขันในระดับนานาชาติ จึงเกิดการศึกษาและวิจัยของ Honda et al. (2010) เปรียบเทียบระหว่างการยืนออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม (Track Start) และการออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าบนแท่นออกตัว มีความเร็วและแรงในแนวราบที่สูงกว่าอีกด้วย นอกเหนือไปจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมาของ Cicienia et al. (2019) ศึกษา เกี่ยวกับตำแหน่งของที่ถีบด้านหลังของแท่นออกตัวที่ส่งผลให้เกิดการออกตัวที่ดีที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งของที่ถีบด้านหลังควรอยู่ห่างจากสันเท้าหน้าในระยะความยาวของกระดูกหน้าแข้งนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับ การออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) ยังเป็นที่ถกเถียงกันเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ตำแหน่งของที่ถีบด้านหลังมีระยะจำกัด ตำแหน่งที่ดีที่สุดของนักกีฬาแต่ละคนไม่น่าจะเป็นตำแหน่งเดียวกัน และยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแรงและอัตราการพัฒนาแรง ดังนั้น ผู้วิจัยและคณะจึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบแรงสูงสุดสัมผัสและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ระหว่างการออกตัวบนแท่นออกตัวโดยยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามวางบนที่ถีบด้านหลัง (Kick Start) โดยระยะห่างระหว่างเท้าเป็นระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะที่ถีบด้านหลังในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นผลย้อนกลับให้กับผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา และนักกีฬาว่ายน้ำ เพื่อพัฒนาความสามารถต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ของมุมเข้าขณะวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถีบที่มีต่อความสามารถในการสร้างแรงในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากร

นักกีฬาว่ายน้ำแข่งขันเพื่อความเป็นเลิศ สโมสรโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาว่ายน้ำ สโมสรโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน อายุ 14-18 ปี จำนวน 11 คน (เพศชาย 7 คน เพศหญิง 4 คน) โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดเกณฑ์ ดังนี้

3.2.1 เกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมการศึกษา (Inclusion Criteria)

- 1) เป็นนักกีฬาที่แข่งขันเพื่อความเป็นเลิศเฉพาะ ท่าฟรีสไตล์ (Crawl Stroke), ท่ากบ (Breaststroke), และท่าผีเสื้อ (Butterfly) หรือทำเดี่ยวผสม (Individual Medley) ที่มีอายุ 14-18 ปี
- 2) มีประสบการณ์ในการว่ายน้ำหรือแข่งขันอย่างน้อย 2 ปี และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
- 3) มีความถนัดในการกระโดดน้ำแบบเท้าหน้าเท้าตาม (Track Start)
- 4) ไม่เคยมีประวัติหรือได้รับบาดเจ็บ ที่รุนแรงหรือมีการบาดเจ็บเรื้อรัง
- 5) มีความสนใจในการเข้าร่วมการศึกษาค้างนี้ และยินยติลงนามในเอกสารยินยอม

3.2.2 เกณฑ์การคัดเลือกออกจากการศึกษา (Exclusion Criteria)

- 1) มีการบาดเจ็บ หรือมีเหตุที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการศึกษาได้ เช่น การบาดเจ็บบริเวณขา เอ็นข้อต่อต่าง ๆ จากการฝึกซ้อม หรือประสบอุบัติเหตุ เป็นต้น
- 2) เป็นโรคติดต่อร้ายแรง
- 3) ไม่สามารถเข้าร่วมการศึกษาค้างนี้ ได้ครบถ้วนตามรูปแบบที่กำหนดไว้

3.2.3 การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยเข้าพบผู้ฝึกสอนและกลุ่มตัวอย่าง โดยแนะนำตนเอง และอธิบายวัตถุประสงค์และขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการศึกษา และชี้แจงให้ทราบว่าการเข้าร่วมในการศึกษาเป็นการเข้าร่วมโดยสมัครใจ สามารถแจ้งการขอออกจากการศึกษาได้ก่อนที่จะสิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใด ๆ ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะไม่ผลอันใดต่อกลุ่มตัวอย่างและครอบครัว ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างถือเป็นความลับ และนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาค้างนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะนำเสนอในภาพรวม ทั้งนี้ ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยจะดำเนินการเก็บรวบรวมด้วยตนเอง หากผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดอาการบาดเจ็บในขณะดำเนินการทดลองหรือเป็นผลมาจากการทดลอง ผู้วิจัยจะพาไปพบแพทย์และจะเป็นผู้ดำเนินการออกค่าใช้จ่ายในการรักษาทั้งหมด

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 แผ่นสตาร์ทแบบมีที่ถีบเท้าหลัง (Kick Plate) รุ่น HX-09 ตราสินค้า FINN Forest

3.3.2 แผ่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ขนาด 90 เซนติเมตร x 90 เซนติเมตร รุ่น 400S+ ตราสินค้า Fitness Technology

1) ความถี่ในการเก็บข้อมูล 600 Hz

2) รับสัญญาณจาก 4 ช่องสัญญาณ ได้แก่ Fz1, Fz2, Fz3 และ Fz4

3.3.3 โครงสร้างเหล็กสำหรับการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูลและบาร์เบล (Mid-Thigh Pull Rig)

3.3.4 ซอฟต์แวร์ควบคุม Ballistic Measurement System Software ตราสินค้า Fitness Technology

3.3.5 ไบรด์วัดมุม (Goniometer)

3.3.6 อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกาย รับประกันโดย มอก. (Measurement Tape)

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 ผู้วิจัยทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลไปยัง โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน จังหวัด กรุงเทพมหานคร

3.4.2 ผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการวิจัย ระยะเวลาในการวิจัย และสถิติการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูล ให้กับกลุ่มตัวอย่างได้ทราบเพื่อปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด และสิทธิประโยชน์ของผู้เข้าร่วมวิจัย เช่น สิทธิที่จะได้รับการปกปิดข้อมูลเป็นความลับ การตอบรับหรือปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัย สามารถตัดสินใจในการเข้าร่วมได้อย่างอิสระ

3.4.3 ผู้วิจัยดำเนินการวัดและบันทึก ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง

3.4.4 ผู้วิจัยดำเนินการวัดและบันทึก ระยะความยาวหน้าแข้ง โดยวัดจาก Lateral Tibial Condyle จนถึง The Lateral Malleolus เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างการวางเท้าหน้าและเท้าตามบนแท่นออกตัว

3.4.5 กลุ่มตัวอย่าง อยู่ในท่าเตรียมพร้อมในการออกตัวบนแท่นออกตัว โดยระยะห่างระหว่างเท้าหน้าและเท้าตามเป็นไปตามระยะความยาวหน้าแข้ง

3.4.6 ผู้วิจัยดำเนินการวัดและบันทึก มุมเข้าของขาที่อยู่ด้านหลัง เพื่อกำหนดมุมเข้าในการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูล

3.4.7 กลุ่มตัวอย่าง อยู่ในท่าเตรียมพร้อมในการออกตัวบนแท่นออกตัว โดยระยะห่างระหว่างเท้าหน้าและเท้าตามเป็นไปตามระยะที่ถนัด

3.4.8 ผู้วิจัยดำเนินการวัดและบันทึก มุมเข้าของขาที่อยู่ด้านหลัง เพื่อกำหนดมุมเข้าในการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูล

3.4.9 กลุ่มตัวอย่าง อบอุ่นร่างกาย ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 15 นาที

3.4.10 กลุ่มตัวอย่าง ทำความคุ้นเคยกับชุดโครงสร้างเหล็กสำหรับการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูล โดยยืนบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยา โดยกำหนดมุมมองขาของข้อเข่าที่ได้จากการวัดและบันทึกตามระยะความยาวหน้าแข้งและระยะถนัด ตามลำดับ จากนั้นมือทั้ง 2 ข้างจับบาร์เบลที่ความกว้าง 100% จากความกว้างของปุ่มกระดูกหัวไหล่ และออกแรงดึงบาร์เบลด้วยความสามารถ 50% ระยะเวลา 5 วินาที

3.4.11 กลุ่มตัวอย่าง ยืนบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยา โดยกำหนดมุมมองขาของข้อเข่าที่ได้จากการวัดและบันทึกตามระยะความยาวหน้าแข้ง จากนั้นมือทั้ง 2 ข้างจับบาร์เบลที่ความกว้าง 100% จากความกว้างของปุ่มกระดูกหัวไหล่ และออกแรงดึงบาร์เบลด้วยความสามารถ 100% ระยะเวลา 5 วินาที จำนวน 2 รอบ โดยพักระหว่างรอบ 5 นาที

3.4.12 กลุ่มตัวอย่าง ยืนบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยา โดยกำหนดมุมมองขาของข้อเข่าที่ได้จากการวัดและบันทึกตามระยะถนัด จากนั้นมือทั้ง 2 ข้างจับบาร์เบลที่ความกว้าง 100% จากความกว้างของปุ่มกระดูกหัวไหล่ และออกแรงดึงบาร์เบลด้วยความสามารถ 100% ระยะเวลา 5 วินาที จำนวน 2 รอบ โดยพักระหว่างรอบ 5 นาที

3.4.13 ผู้วิจัยให้สัญญาณ “เริ่ม” และ “หยุด” ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยก่อนดึงทุกครั้งผู้วิจัยจะแนะนำว่า “ดึงและเหยียบลงด้วยความสามารถสูงสุด ดึงและเหยียบลงด้วยความเร็วที่สุดและแรงสุด” โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนดำเนินการทดสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

3.4.14 นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 นำค่าแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงที่ดีที่สุดจาก 2 ครั้งจากการเก็บรวบรวมจากการทดลองของกลุ่มตัวอย่าง มาหารด้วยน้ำหนักร่างกายของแต่ละบุคคล และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสำเร็จรูป IBM SPSS version 21 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.5.2 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั่วไป

3.5.3 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงสูงสุดสัมพัทธ์ และอัตราการพัฒนาแรงสัมพัทธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, และ 150 มิลลิวินาที

3.5.4 วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลที่ได้มา (Normality Test) ด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test)

1) หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าแรงสูงสุดสัมพัทธ์และอัตราการพัฒนาแรงสัมพัทธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ของระยะความยาวหน้าแข้งและระยะถนัด ด้วยวิธีการทดสอบค่าที่แบบรายคู่ (Paired Sample T-test)

2) หากข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าแรงสูงสุดสัมพัทธ์และอัตราการพัฒนาแรงสัมพัทธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ของระยะความยาวหน้าแข้งและระยะถนัด ด้วยวิธีการทดสอบค่าที่แบบวิลคอกซัน (Wilcoxon Signed Rank Test)

4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาในครั้งนี้ ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า มีค่าเฉลี่ยอายุเท่ากับ 15.30 ± 1.49 ปี ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 61.10 ± 10.27 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยส่วนสูงเท่ากับ 170.60 ± 7.66 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความยาวหน้าแข้งเท่ากับ 42.65 ± 1.76 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยระยะห่างการวางเท้าถนัดเท่ากับ 41.92 ± 1.01 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยระยะห่างการวางเท้าตามระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งเท่ากับ 42.65 ± 1.76 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยมุมเข่าหลัง ระยะถนัดเท่ากับ 89.00 ± 8.04 องศา และค่าเฉลี่ยมุมเข่าหลัง ความยาวกระดูกหน้าแข้งเท่ากับ 90.40 ± 6.45 องศา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไป	$\bar{x}$	SD
อายุ (ปี)	15.30	1.49
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	61.10	10.27
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	170.60	7.66
ระยะห่างการวางเท้าถนัด (เซนติเมตร)	41.92	1.01
ระยะห่างการวางเท้าตามระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง (เซนติเมตร)	42.65	1.76
มุมเข่าหลัง ระยะถนัด (องศา)	89.00	8.04
มุมเข่าหลัง ความยาวกระดูกหน้าแข้ง (องศา)	90.40	6.45

ผลการเปรียบเทียบแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดของการวางเท้าบนแท่นออกตัวในนักกีฬาวัยน้ำเยาวชน พบว่า มีค่าเฉลี่ยระยะห่างการวางเท้าถนัดและระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง เท่ากับ 41.92 ± 1.01 และ 42.65 ± 1.76 เซนติเมตร ตามลำดับค่าเฉลี่ยมุมเข่าหลัง ระยะถนัดและระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง เท่ากับ 89.00 ± 8.04 และ 90.40 ± 6.45 องศา ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดสัมพันธ์ระยะถนัดของการวางเท้า และระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง เท่ากับ 24.31 ± 7.40 และ 24.52 ± 3.38 นิวตัน/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์สูงสุด 5 วินาทีของระยะถนัด และระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง เท่ากับ 77.25 ± 26.09 และ 111.02 ± 71.38 นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ของระยะถนัด และระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง ณ ช่วงเวลา 30 มิลลิวินาที เท่ากับ 9.98 ± 5.68 และ 9.48 ± 6.47 นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ของระยะถนัด และระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง ณ ช่วงเวลา 90 มิลลิวินาที เท่ากับ 23.68 ± 12.05 และ 28.76 ± 11.06 นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ของระยะถนัด และระยะความยาวกระดูกหน้าแข้ง ณ ช่วงเวลา 150 มิลลิวินาที เท่ากับ 32.20 ± 15.60 และ 34.50 ± 11.08 นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการเปรียบเทียบ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบแรงสูงสุดและอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดของการวางเท้าบนแท่นออกตัวในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน

การเปรียบเทียบ	ระยะถนัด	ระยะความยาว กระดูกหน้าแข้ง	ค่าสถิติ	p-value
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$		
ระยะห่างการวางเท้า (เซนติเมตร)	41.92 $\pm$ 1.01	42.65 $\pm$ 1.76	1.927	0.086
มุมมองขาเข้า (องศา)	89.00 $\pm$ 8.04	90.40 $\pm$ 6.45	1.413	0.191
แรงสูงสุดสัมพันธ์ (นิวตัน/กิโลกรัม)	24.31 $\pm$ 7.40	24.52 $\pm$ 3.38	t = 0.083	0.935
อัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์สูงสุด 5 วินาที (นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม)	77.25 $\pm$ 26.09	111.02 $\pm$ 71.38	z = 0.968	0.333
ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ ณ ช่วงเวลา 30 มิลลิวินาที (นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม)	9.98 $\pm$ 5.68	9.48 $\pm$ 6.47	z = 0.255	0.799
ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ ณ ช่วงเวลา 90 มิลลิวินาที (นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม)	23.68 $\pm$ 12.05	28.76 $\pm$ 11.06	z = 1.274	0.203
ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์ ณ ช่วงเวลา 150 มิลลิวินาที (นิวตัน/มิลลิวินาที/กิโลกรัม)	32.20 $\pm$ 15.60	34.50 $\pm$ 11.08	t = 0.540	0.602

*p<0.05

5. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบ ระยะห่างการวางเท้า มุมองศาขาเข้าหลัง แรงสูงสุดสัมพันธ์ และอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ระหว่างระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดของการวางเท้าบนแท่นออกตัวในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชน ปรากฏว่า ผลการเปรียบเทียบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจาก ระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดในการวางเท้าของนักกีฬาที่นำมากำหนดระยะของการวางเท้านั้นมีความใกล้เคียงกันมาก โดยสังเกตได้จากผลของการเปรียบเทียบระยะห่างการวางเท้าของทั้ง 2 รูปแบบซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มากไปกว่านั้น ระยะห่างการวางเท้าทั้ง 2 รูปแบบที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อมุมของข้อเท้าของทั้ง 2 รูปแบบที่มาใช้เป็นตัวกำหนดในการทดสอบไอโซเมตริกมิดไทด์พูลซึ่งผลปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน นอกเหนือไปจากนี้สัดส่วน ความยาวของร่างกายเป็นปัจจัยที่ควรจะนำมาพิจารณาช่วยในการศึกษาครั้งต่อไป

ประการต่อมา ความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของการเปรียบเทียบระหว่างแรงสูงสุดสัมพันธ์และอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ของระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดของการวางเท้าบนแท่นออกตัวในนักกีฬาว่ายน้ำเยาวชนนั้น เมื่อสังเกตค่าเฉลี่ยแล้วมีความเป็นไปได้ว่า การวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งนั้นสามารถสร้างแรงสูงสุดสัมพันธ์และอัตราการพัฒนาแรงสัมพันธ์สูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ได้ดีกว่าระยะถนัด

จากข้อสังเกตดังกล่าวนี้ สามารถเสนอแนะได้ว่า การวางเท้าบนแท่นออกตัวด้วยระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งนั้นอาจจะมีประสิทธิภาพได้มากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Taber et al. (2016) ที่กล่าวว่า อัตราการพัฒนาแรงสัมผัสเป็นกุญแจสำคัญในการส่งเสริมทักษะเฉพาะเจาะจงด้านกีฬาที่ต้องการแรงสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด เช่น การวิ่ง การกระโดด การขว้าง และการเตะ เป็นต้น ซึ่งการออกตัวในกีฬาว่ายน้ำนั้นลักษณะเป็นการถ่วงตัวคล้ายคลึงกับการกระโดดนั่นเอง ซึ่งต้องอาศัยแรงสูงสุดในช่วงระยะเวลาอันสั้น ยิ่งถ้าเป็นนักกีฬายู่นี้นั้นการออกตัวได้เร็วและได้ไกลส่งผลต่อระยะเวลาในการว่ายทั้งสิ้นซึ่งสอดคล้องกับ Cossor & Mason. (2001) และ Hannula & Thornton. (2001) สรุปได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้บนแท่นออกตัวในการกระโดดนั้นยิ่งน้อยยิ่งส่งผลดีต่อนักกีฬายู่นี้นั้นมากกว่าระยะไกล และการออกตัวที่ดีที่สุดจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกจากแท่นกระโดดได้อย่างรวดเร็วและสามารถลงน้ำได้อย่างรวดเร็วในมุมที่เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อความเร็วได้อีกด้วย

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ สามารถเสนอแนะได้ว่า ตำแหน่งในการวางเท้าหลังของนักกีฬายู่นี้นั้นในการออกตัวบนแท่นออกตัวนั้น หากมีการวางเท้าห่างกันมากขึ้น โดยปรับตำแหน่งของที่ถีบเท้าหลัง (Kick Plate) ให้ไกลออกไปนั้น มีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถสร้างแรงได้ดีกว่า สอดคล้องกับ Cicienia et al. (2019) สรุปได้ว่า ตำแหน่งที่ถีบเท้าหลังถ้าอยู่ไกลจะช่วยเรื่องการลดระยะเวลาปฏิบัติได้ แต่ถ้าไกลออกไปจะช่วยสนับสนุนในการสร้างแรงในการถ่วงตัวออกจากแท่น มากไปกว่านั้น Slawson et al. (2012) ศึกษาตำแหน่งมุมเข่าด้านหลังและการสร้างแรงโดยจัดตำแหน่งที่ถีบเท้าหลัง (Kick Plate) โดยกล่าวว่า การสร้างแรงในแนวราบมีมากที่สุดเมื่อมุมเข่าด้านหลังของนักกีฬายู่นี้นั้นอยู่ระหว่าง 100-110 องศา และออกแรงในแนวตั้งมากที่สุดที่ 90 องศา ในทางปฏิบัติ นอกเหนือไปจากนี้ หากสามารถพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกายในนักกีฬายู่นี้นั้นได้ จะช่วยส่งผลให้มีความสามารถในการออกตัวได้ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Tor et al. (2015) กล่าวว่า นักกีฬายู่นี้นั้นหากสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าต่อสัญญาณปล่อยตัวได้ดีและการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกาย จะส่งผลลดระยะบนแท่นออกตัวได้ดีซึ่งมีผลต่อระยะเวลาในการแข่งขันนั้น ๆ นอกเหนือไปจากนี้ การศึกษาของ West et al. (2011) สรุปว่า หลักฐานสำคัญจากการศึกษาและวิจัยให้ความสำคัญกับความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกายที่ส่งผลต่อช่วงเวลาในการออกตัวในนักกีฬายู่นี้นั้นระยะ 50 เมตรระดับนานาชาติ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบข้อจำกัดบางประการที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการศึกษา ได้แก่ การทดสอบไอโซเมตริกมิเตอร์พูล เป็นการทดสอบแรงบนแท่นวัดแรงปฏิบัติในแนวตั้ง แต่การสร้างแรงในการออกตัวของนักกีฬายู่นี้นั้นมีการผสมผสานกันมากกว่า 1 แกน ดังนั้น การศึกษาในครั้งต่อไป ควรใช้แท่นวัดแรงที่มีมากกว่า 1 แนวแรงในการวัด หรือใช้แท่นกระโดดที่มีแท่นวัดแรงติดตั้งอยู่แทนที่ปัจจุบัน

6.สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า ระยะทางการวางเท้า มุมองศาเข่าขาหลัง แรงสูงสุดสัมผัส และ อัตราการพัฒนาแรงสัมผัสสูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาที ระหว่างระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งและระยะถนัดของการวางเท้าบนแท่นออกตัวในนักกีฬายู่นี้นั้น โดยระยะความยาวกระดูกหน้าแข้งของกลุ่มตัวอย่าง มีความเป็นไปได้ว่าเป็นระยะการวางเท้าที่ดีที่สุด แต่หากเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างเท้าหน้าและเท้าหลังนั้น อาจจะส่งผลที่ดีขึ้น ตามลำดับ ทั้งนี้ ปัจจัยเรื่องสัดส่วนและความยาวของร่างกายควรนำมาพิจารณาด้วย

สำหรับ แรงสูงสุดสัมผัส และอัตราการพัฒนาแรงสัมผัสสูงสุด 5 วินาทีและ ณ ช่วงเวลา 30, 90, 150 มิลลิวินาทีสามารถนำมาพยากรณ์บอกได้ว่านักกีฬาคอนไดที่มีความสามารถในการออกตัวจากแท่นได้ไกล และได้เร็วกว่ากัน

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านตัวแปรทางสรีรวิทยากับความสามารถในการสร้างแรง เช่น คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ, เปรียบเทียบความสูงและความยาวของร่างกายในท่าทางกระโดดที่ดีที่สุด เป็นต้น

7.2 ผู้ฝึกสอน และนักวิทยาศาสตร์การกีฬา สามารถนำค่าเฉลี่ยมุมข้อเข่าและระยะห่างระหว่างเท้าทั้ง 2 ข้างไปใช้เป็นแนวทางของรูปแบบการฝึกซ้อมในการออกตัวบนแท่นให้กับนักกีฬาได้ตีความพิจารณาสัดส่วนของร่างกายและความยาวร่างกายร่วมด้วย

7.3 ฝึกสอน และนักวิทยาศาสตร์การกีฬา ควรมีโปรแกรมการฝึกและพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกายผสมผสานอยู่ในแผนการฝึกซ้อมด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน จังหวัด กรุงเทพมหานครที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้ และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาวัยน้ำของ สโมสรและโรงเรียนที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมที่ได้อนุเคราะห์ให้นักศึกษาช่วยเก็บข้อมูล และให้ยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถภาพ จนการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- Arellano, R., Pardillo, S., De La Fuente, B., & García, F. (2000, 25-30 June). A system to improve the swimming start technique using force recording, timing and kinematic analyses. *18 International symposium on biomechanics in sports*, Hong Kong, China.
- Cicenia, A., Oster, C., & Mokha, M. (2019). Kick plate position and track start biomechanics in elite swimmers. *Journal of Exercise and Nutrition*, 2(3), 12.
- Cossor, J., & Mason, B. (2001). Swim Start Performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *19 International symposium on biomechanics in sports*, San Francisco, USA.
- Fédération Internationale De Natation. (2022). *Swimming world records*. <https://www.fina.org/>
- Hannula, D. L., & Thornton, N. (2001). *The swim coaching bible* (Vol. 1). Human Kinetics, Inc.
- Hay, J. C. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (Vol. 4). Benjamin-Cummings publishing company, USA.
- Honda, K., Sinclair, P., Mason, B., & Pease, D. (2010). A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. *XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*, Oslo, Norwegian
- Kiuchi, H., Nakashima, M., Cheng, K. B., & Hubbard, M. (2010). Modelling fluid forces in the dive start of competitive swimming. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 5(4), 314-328. <https://doi.org/10.1299/jbse.5.314>
- Miller, M., Allen, D., & Pein, R. (2003, June 21-23). A kinetic and kinematic comparison of the grab and track starts in swimming. *IXth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*, Saint-Etienne.
- Okuno, K., Ikuta, Y., Wakayoshi, K., Nomura, T., Takagi, H., Ito, S., Ogita, F., Ohgi, Y., Tachi, M., Miyashita, M. (2002). Stroke characteristics of world class male swimmers in freestyle events of the 9th FINA world swimming championships 2001 Fukuoka. *IXth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*, University of Saint-Etienne, France.
- Slawson, S. (2010). *A novel monitoring system for the training of elite swimmers* [Loughborough University]. Loughborough University, United Kingdom.

- Slawson, S., Chakravorti, N., Conway, P., Cossor, J., & West, A. (2012). The effect of knee angle on force production, in swimming starts, using the OSB11 block. *Procedia Engineering*, 34, 801-806.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.137>
- Taber, C., Bellon, C., Abbott, H., & Bingham, G. E. (2016). Roles of maximal strength and rate of force development in maximizing muscular power. *Strength & Conditioning Journal*, 38(1), 71-78.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000193>
- Tor, E., Pease, D., & Ball, K. (2014). Characteristics of an elite swimming start. *XIIth International symposium for biomechanics and medicine in swimming*, Canberra, Australian.
- Tor, E., Pease, D. L., & Ball, K. A. (2015). Key parameters of the swimming start and their relationship to start performance. *Journal of sports sciences*, 33(13), 1313-1321.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.990486>
- Vantorre, J., Chollet, D., & Seifert, L. (2014). Biomechanical analysis of the swim-start: A review. *Journal of sports science & medicine*, 13(2), 223-231.
- Welcher, R. L., Hinrichs, R. N., & George, T. R. (2008). Front-or rear-weighted track start or grab start: which is the best for female swimmers? *Sports biomechanics*, 7(1), 100-113.
<https://doi.org/10.1080/14763140701683247>
- West, D. J., Owen, N. J., Cunningham, D. J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2011). Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(4), 950-955. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c8656f>

คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

Butter Cookies Supplemented With Dragon Fruit Peel

ลลิตา มุฮัมมัด¹, กฤติยา เล็กตระกูล², นพมาศ กาดนอก³, สิริวรรณ ฤกษ์โชคดี⁴,
กรรณก จุลตรี⁵, ทศนีย์ ประหยัทยอด⁶ และ ชาริสา แสงทองอร่าม^{7*}

Lalida Moohammad¹, Krittiya Lektrakool², Noppamat Kadnok³, Sirawan Rerkchokdee⁴, Gunkanok
Julratee⁵, Thatsani Prayatyot⁶ and Charisa Sangthongaram^{7*}

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 สาขาวิชาการประกอบอาหารและการจัดการงานครัว คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Department of Culinary Art and Kitchen Management, Faculty of Science,

Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) ศึกษาสูตรมาตรฐานของคุกกี้เนยสด 2) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร 3) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร ผลการวิจัยพบว่า จากการคัดเลือกสูตรมาตรฐานคุกกี้เนยสดที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือสูตรที่ 2 เนื่องจากมีค่าคะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ 2 มาพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรที่ใช้ปริมาณเปลือกแก้วมังกรที่ร้อยละ 6 สูงกว่าสูตรอื่น และผู้บริโภคมีความสนใจซื้อคุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรมากที่สุดถึงร้อยละ 96.70 รองลงมา คือสนใจมากอยากนำมาขายต่อ ร้อยละ 3.30 คุณค่าทางโภชนาการของคุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร 50 กรัม ต่อ 1 หน่วยบริโภค พบว่า ให้พลังงาน 190 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย โปรตีน 1.66 กรัม คาร์โบไฮเดรต 20.12 กรัม ไขมัน 11.58 กรัมใยอาหาร 0.27 กรัม แคลเซียม 1.41 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 0.28 มิลลิกรัม และเหล็ก 6.45 มิลลิกรัม

คำสำคัญ : การพัฒนา คุกกี้เนยสด เปลือกแก้วมังกร

Abstract

The purposes of this research were to 1) study the standard formulation of butter cookies 2) study consumer acceptance for butter cookies supplemented with dragon fruit peel and 3) study the nutritional value of butter cookies products with dragon fruit rind. The results showed that from the selection of the standard formula, the most accepted recipe was the second formula because of its liking scores on color, smell, taste, texture and overall liking. The highest score of formula 2 was compared with formula 1 and formula 3 with statistical significance ($P \leq 0.05$). Therefore, the researcher chose formula 2 to develop butter cookies with dragon fruit rind. The development of butter cookies with dragon fruit rind was found that consumers gave a sensory liking to the product of butter cookies with dragon fruit rind that used dragon fruit rind at 6% higher than other formulas. Consumers were most interested in buying butter cookies with dragon fruit rind at 96.70%, followed by very interested and wanting to

* Corresponding author : charisa.s@chandra.ac.th

resell at 3.30%. The nutritional value of butter cookies with dragon fruit rind, 50 grams per serving size, was found to provide 190 kilocalories of energy, consisting of 1.66 grams of protein, 20.12 grams of carbohydrates, 11.58 grams of fat, and fiber. 0.27 grams of food, 1.41 milligrams of calcium, 0.28 milligrams of phosphorus, and 6.45 milligrams of iron.

Keywords: Development, Butter cookies, Dragon fruit rind

1. บทนำ

คุกกี้เป็นขนมอบชิ้นเล็ก มีความชื้นต่ำ รูปร่างแบนทำจากแป้งสาลีที่มีลักษณะกรอบร่วน รสหวาน มีขนาด รูปร่าง กลิ่น รส แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของคุกกี้แต่ละชนิด ส่วนผสมหลักของคุกกี้ประกอบด้วย แป้งสาลี เนย น้ำตาล ไข่ นม และสารให้กลิ่นรส เช่น กลิ่นวนิลา กลิ่นนมเนย และใช้ผงฟู หรือเบกกิ้งโซดาเป็นตัวช่วยให้ขนมมีความเบา ขึ้นฟู และมีปริมาตรเพิ่มขึ้น และมีส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ผลไม้เชื่อม ผลไม้อบแห้ง และธัญพืชต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งให้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายนอกจากนี้ประโยชน์ของคุกกี้ยัง นิยมใช้เป็นของฝาก ใช้ในการจัดเลี้ยงในงานโอกาสพิเศษเนื่องจากเป็นขนมที่ทำได้ง่าย มีหลายรูปแบบ และมีอายุการเก็บนานไว้นาน (lalalittt. 2564)

แก้วมังกรมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus cacti* หรือเรียกอีกอย่างว่า Red pitaya หรือ Pitahaya เป็นพืชในตระกูล กระบองเพชร ในประเทศไทยได้เริ่มมีการปลูกแก้วมังกรเป็นไม้ผลเศรษฐกิจ และมีอนาคตทางการตลาดไปได้ดีเนื่องจากการปลูกดูแล รักษาไม่ยุ่งยาก และยังให้ผลผลิตที่ค่อนข้างคุ้มค่ารวมถึงการที่สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแก้ว มังกร ปัจจุบันแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวเปลือกสีแดง และเนื้อสีแดงเปลือกสีแดง มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยส่วนของเนื้อนอกจาก รับประทานสดยังสามารถแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ และผลไม้กวน (กรวรรณ ชากรี และคณะ, 2556)

เปลือกแก้วมังกรจัดเป็นของเหลือทิ้งจากการบริโภคสด มีสรรพคุณช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำในกระแส โลหิต เปลือกแก้วมังกรมีคุณสมบัติที่ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบสารแต่งสีธรรมชาติ ทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ในอาหาร และเครื่องดื่ม มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย มีกลิ่น และละลายน้ำได้ง่ายให้สีชมพูอมม่วง (กัญญะ ภูมิ, 2562)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร โดยการนำส่วนเปลือกแก้วมังกรกลับมาใช้ ใหม่ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มคุณค่า และสารอาหารให้กับผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสูตรมาตรฐานของคุกกี้เนยสด
- 2.2 เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร
- 2.3 เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การคัดเลือกสูตรมาตรฐานของคุกกี้เนยสด

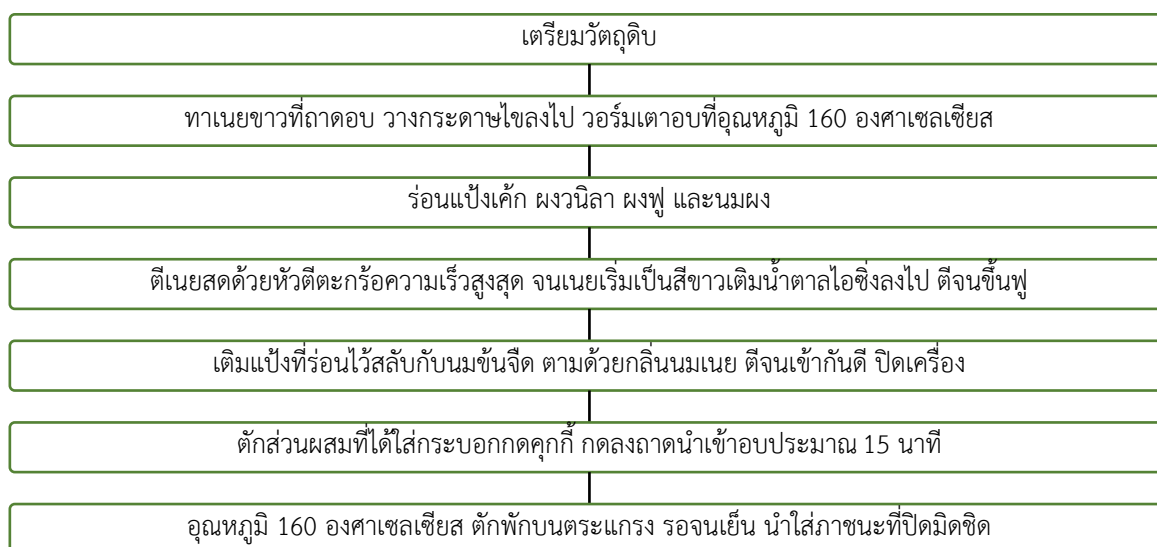
ทำการศึกษาสูตรมาตรฐานของคุกกี้เนยสด โดยนำสูตรคุกกี้เนยสด 3 สูตร จากหนังสือแสงแดดคุกกี้ และไอศกรีม หนังสือเบ เกอร์เมนูเตาตั้ง และหนังสือสารพัดคุกกี้ มาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์ และบุคคลในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จำนวน 30 คน จำนวน 30 คน

ตารางที่ 1 สูตรมาตรฐาน สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3

ส่วนผสม	ปริมาณต่อกรัม		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
แป้งสาลีเอนกประสงค์	237 กรัม	-	-
แป้งเค้ก	-	125 กรัม	250 กรัม
เนยสดชนิดเค็ม	200 กรัม	110 กรัม	180 กรัม (แช่เย็น)
น้ำตาลทรายป่น	185 กรัม	-	130 กรัม
ไข่แดง	51 กรัม	-	-
ไข่ไก่	-	-	50 กรัม
กลี้นวนิลา	3.3 กรัม	1.3 กรัม	-
ผงฟู	-	0.6 กรัม	2.6 กรัม
นมผง	-	7.5 กรัม	-
น้ำตาลไอซิ่งร่อนแล้ว	-	60 กรัม	-
นมข้นจืด	-	30 กรัม	35 กรัม
กลี้นมเนย	-	3.3 กรัม	0.8 กรัม

สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 ที่มา: (ศรีสมร คงพันธุ์, 2552) ,(บริษัทสำนักพิมพ์แม่บ้านจำกัด, 2559) ,(เศรษฐพงศ์ อัมมะเย, 2561)

ขั้นตอนการทำคุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำคุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน

3.2 การศึกษาปริมาณเปลือกแก้วมังกรที่เหมาะสมต่อการทำคุกกี้เนยสด

ขั้นตอนการเตรียมเปลือกแก้วมังกรมีดังนี้ นำแก้วมังกรไปล้างน้ำให้สะอาด ใช้มีดปอกเปลือกที่อยู่บริเวณด้านนอกออกให้หมดให้เหลือส่วนเปลือกสีแดงที่อยู่ติดกับเนื้อแก้วมังกร จากนั้นผ่าครึ่งควั่นเอาเนื้อออก และนำเปลือกไปล้างน้ำอีก 1 รอบ ซับน้ำออกให้หมดนำไปผึ่งแดดไว้ 35 นาที หรือจนแห้ง นำไปอบในหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำมาตำให้ละเอียดให้เป็นผงแล้วนำไปร่อนในตะแกรงร่อนแป้ง วงกลม 40 mesh ก่อนนำไปใช้

ศึกษาปริมาณเปลือกแก้วมังกรที่นำมาเสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด 3 ระดับ ได้แก่ สูตรที่ 1 จนถึงสูตรที่ 3 ปริมาณผงจากเปลือกแก้วมังกรที่ใช้ระดับร้อยละ 2, 4 และ 6 ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตรไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการสุ่มแบบบังเอิญ โดยใช้แบบสอบถาม 9 Point Hedonic Scale กับผู้บริโภค ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์ และบุคคลในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จำนวน 30 คน

3.3 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรที่พัฒนาได้มาทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม รวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคโดยนักศึกษ อาจารย์ และบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมจำนวน 30 คน

3.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

คำนวณโดยการนำข้อมูลจากจากหนังสือตารางคุณค่าทางโภชนาการ ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (พลังงานและสารอาหารจากคุกกี้เนยสด. 2558) มาใช้ในการอ้างอิงปริมาณ และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการคัดเลือกสูตรมาตรฐานคุกกี้เนยสด

ในการศึกษาสูตรมาตรฐานจำนวน 3 สูตร จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน นำมาทำการทดลองแล้วคัดเลือกสูตรมาตรฐานเพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร จากนั้นนำมาประเมินด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด ได้ผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด สูตรมาตรฐาน

คุณลักษณะ	ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
สี	5.0±1.9 ^b	7.3±1.3 ^a	7.2±1.3 ^a
กลิ่น	5.3±2.1 ^b	7.1±1.7 ^a	7.1±1.4 ^a
รสชาติ	5.3±2.0 ^b	7.5±1.4 ^a	7.3±1.3 ^a
เนื้อสัมผัส	4.0±2.0 ^b	7.5±1.5 ^a	7.4±1.2 ^a
ความชอบโดยรวม	4.6±1.9 ^b	7.6±1.5 ^a	7.5±1.2 ^a

*หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน จำนวน 30 คน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 1-9 ระดับ พบว่า คุกกี้เนยสดสูตรที่ 1 ผู้บริโภคให้คะแนนคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมโดยอยู่ในช่วง 4.0-5.3 คะแนน (ระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรที่ 2 และ 3 โดยคุกกี้เนยสดสูตรที่ 2 ผู้บริโภคให้คะแนนคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงอยู่ในช่วง 7.1-7.6 คะแนน (ระดับชอบปานกลาง) ส่วนคุกกี้เนยสดสูตรที่ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนคุณลักษณะอยู่ในช่วง 7.1-7.5 คะแนน (ระดับชอบปานกลาง) ซึ่งสูตรที่ 2 มีต้นทุนต่อชิ้นที่ต่ำกว่าสูตรที่ 3 จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดสูตรที่ 2 มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรที่เหมาะสมต่อไป

4.2 ผลการศึกษาปริมาณเปลือกแก้วมังกรที่เหมาะสมในการเสริมคุกกี้เนยสด

ในการศึกษาปริมาณของเปลือกแก้วมังกรที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร ทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ สูตรที่เสริมเปลือกแก้วมังกร ร้อยละ 2, 4 และ 6 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยผู้ชิมเป็นนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

คุณลักษณะ	ร้อยละปริมาณเปลือกแก้วมังกรที่เสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด		
	ร้อยละ 2 (6.8 กรัม)	ร้อยละ 4 (13.5 กรัม)	ร้อยละ 6 (20.3 กรัม)
สี ^{ns}	6.1±1.7	6.5±1.8	6.8±1.9
กลิ่น ^{ns}	6.5±1.7	6.6±1.8	6.8±2.0
รสชาติ ^{ns}	6.4±1.6	6.6±1.7	6.8±2.1
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.8±1.6	6.7±1.6	7.2±1.9
ความชอบโดยรวม ^{ns}	6.6±1.5	6.7±1.7	7.3±1.9

*หมายเหตุ ns not significant

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ในการทดสอบผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร พบว่า การใส่เปลือกแก้วมังกรที่เสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด ทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่าการเสริมเปลือกแก้วมังกรในปริมาณมากที่สุดที่ระดับร้อยละ 6 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด มีความเหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

4.3 ผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

ในการศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรสูตรที่ใช้เปลือกแก้วมังกรร้อยละ 6 ผู้บริโภคมีความคิดเห็นแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในเรื่องการยอมรับผลิตภัณฑ์	จำนวน	ร้อยละ
ยอมรับ	30	100.00
ไม่แน่ใจ	0	0.00
ไม่ยอมรับ	0	0.00
รวม	30	100.00
ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในเรื่องการตัดสินใจซื้อ โดยถ้ามีผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร ออกจำหน่ายในปริมาณ 100 กรัม ต่อ1 กล่อง ราคากล่องละ 35 บาท	จำนวน	ร้อยละ
สนใจซื้อ	29	96.70
ไม่สนใจซื้อ	0	0.00
ไม่แน่ใจ	0	0.00
สนใจมากอยากนำมาขายต่อ	1	3.30
รวม	30	100.00

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการประเมินความคิดเห็น และการยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรโดยผู้บริโภคทั่วไปในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมจำนวน 30 คน โดยใช้แบบประเมินความคิดเห็น และการยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร ผลการประเมินการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับทั้งหมดจำนวน 30 คน ร้อยละ 100.00 ผู้บริโภคจำนวน 29 คน (ร้อยละ 96.70) ให้ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร โดยมี 1 คน (ร้อยละ 3.30) ให้ความสนใจที่จะนำไปจำหน่ายต่อ

4.4 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร

ตารางที่ 5 คุณค่าโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกรต่อ 1 หน่วยบริโภค เมื่อเทียบกับคุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร หนึ่งหน่วยบริโภค เท่ากับ 50 กรัม							
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	ใยอาหาร (กรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)
190	1.66	20.12	11.58	0.27	1.41	0.28	6.45
ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐาน หนึ่งหน่วยบริโภค เท่ากับ 50 กรัม							
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	ใยอาหาร (กรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)
233.50	3.00	34.50	9.50	0.40	14.50	0.28	1.10

ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร โดยการคำนวณจากหนังสือตารางคุณค่าทางโภชนาการ ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ดังตารางที่ 5 พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร 1 หน่วยบริโภค มีค่า 50 กรัม ซึ่งจะมีพลังงาน 190 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย โปรตีน 1.66 กรัม คาร์โบไฮเดรต 20.12 กรัม ไขมัน 11.58 กรัม ใยอาหาร 0.27 กรัม แคลเซียม 1.41 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 0.28 มิลลิกรัม และเหล็ก 6.45 มิลลิกรัม

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกแก้วมังกร” ในการดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดสูตรมาตรฐานโดยเลือกมา 3 สูตร นำมาทำการประเมินทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกเพียง 1 สูตรที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ 2 ซึ่งมีลักษณะปรากฏ คือ ผิวละเอียด หอมเนย รสหวานเค็ม และกรอบ จากนั้นนำมาศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมเปลือกแก้วมังกรในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด พบว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดที่เสริมเปลือกแก้วมังกรร้อยละ 6 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด มีสีม่วงอมชมพูเข้ม เนื้อสัมผัสคุกกี้มีผิวหยาบเล็กน้อย มีรสชาติหวาน เค็ม และออกเปรี้ยวนิด ๆ และมีค่าคะแนนระดับความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้คะแนนความชอบระดับปานกลาง โดยงานวิจัยของอมรรัตน์ ถนนวนแก้ว (2551) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคจากเปลือกมะนาวในผลิตภัณฑ์คุกกี้ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 2.23, 4.44 และ 6.66 พบว่าคุกกี้เสริมเปลือกที่ระดับร้อยละ 2.23 มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส และ ลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าคุกกี้ที่เติมเปลือก ร้อยละ 4.44 และ 6.66 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรควบคุม ($P > 0.05$) การเพิ่มปริมาณเปลือกเป็นร้อยละ 4.44 และ 6.66 ทำให้คุกกี้มีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากผลิตภัณฑ์ มีรสเปรี้ยว และมีลักษณะเหนียวติดเพดานปาก จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้เสริมเปลือกพบว่า คุกกี้เสริมเปลือกร้อยละ 2.23 มี

ความชื้นในช่วงร้อยละ 5.68-8.47 ไขมันในช่วงร้อยละ 16.81- 24.17 ปริมาณความชื้น และไขมันของคุกกี้เสริมเพคตินลดลงเมื่อมีปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) คุกกี้เสริมเพคตินมีโปรตีนในช่วงร้อยละ 7.27-8.12 และพบว่าโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเถ้าของเพคตินทั้ง 4 สูตร มีค่าในช่วงร้อยละ 1.54-1.84 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเพคตินไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในคุกกี้ ($P > 0.05$) จากการทดสอบทางการตลาด พบว่า ผู้บริโภคทุกวัยให้คะแนนความชอบของคุกกี้เสริมเพคตินสูงกว่าคุกกี้ที่ขายตามท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากการคำนวณพบว่าคุกกี้เสริมเพคติน ร้อยละ 2.23 มีต้นทุนในการผลิต 89.1 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อทดสอบผลของการบริโภคคุกกี้เสริมเพคตินต่อสุขภาพของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนกายลดลง และพบว่าการบริโภคคุกกี้เสริม เพคตินทำให้ความถี่ของมื้ออาหาร และความถี่ ในการบริโภคอาหารระหว่างมื้อลดลง รวมทั้งทำให้ความถี่ในการขับถ่ายของผู้ทดสอบเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

- 1) ควรมีการศึกษาในการใช้เปลือกผลไม้ หรือวัตถุดิบอื่น ๆ ในการทำผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ
- 2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการยืดอายุในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสด

6. เอกสารอ้างอิง

- กรวรรณ ชากรี, ปฤษณา เรืองรัตน์, จุฑา แซ่ว่อง และ สันหัต วิเชียรโชติ. (2556). *ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวต่อระบบ ภูมิคุ้มกันของหนูขาวใหญ่*. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กัญฐุณี บุญมี. (2562). การใช้เปลือกแก้วมังกรทดแทนหนังหมูและสารไนเตรทในผลิตภัณฑ์แฮม. *งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2562*, มหาวิทยาลัยรังสิต.
- บริษัทสำนักพิมพ์แม่บ้านจำกัด. (2559). *เบเกอรี่ เมนูเตาตั้ง*. สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด.
- ศรีสมร คงพันธุ์. (2552). *แสงแดดคุกกี้และไอศกรีม*. พิมพ์ครั้งที่ 10. แสงแดด.
- เศรษฐพงศ์ อัมมะเย. (2561). *สารพัดคุกกี้*. พิมพ์ครั้งที่ 1. วาดศิลป์.
- อมรรัตน์ ถนนแก้ว. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเพคตินจากเปลือกมะนาว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 11(2), 39-55.
- Lalalittt. (7 กันยายน 2564). *ประวัติคุกกี้*. <https://lalitgroup.wordpress.com/2020/11/30/ประวัติของคุกกี้>

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก Factors Affecting Japanese Learning Motivation for Small Sample

เบญจมาศ ตูลยนิติกุล^{1*}, ณภัทรสร พระนอนเขตต์², เจนจิรา สำราญจิตร³ และ ศตพร ทิพย์นาวา⁴
Benjamas Tulyanitikul^{1*}, Naphatsorn Pranornket², Janejira Sumranjit³ and Sataporn Thipnava⁴

^{1, 2, 3, 4} สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

^{1, 2, 3, 4} Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก และหาตัวแบบการพยากรณ์ค่าระดับแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น โดยทำการเปรียบเทียบตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ (Quantile Regression) กับตัวแบบการถดถอยควอนไทล์แบบบูตสตรัป (Bootstrapped Quantile Regression) โดยใช้ค่าความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้ที่เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 ในสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และใช้การเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ที่เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 รุ่นที่ 11 จำนวน 37 คน โดยใช้แบบสอบถาม แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น และปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น, ทัศนคติที่มีต่อคนญี่ปุ่น และภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น ผลการวิจัยพบว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ที่ระดับควอนไทล์ที่ 2 เป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด และปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น โดยมีค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สเปียร์แมน เท่ากับ 0.541

คำสำคัญ: ตัวอย่างขนาดเล็ก แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น การถดถอยแบบควอนไทล์ การถดถอยแบบควอนไทล์บูตสตรัป

Abstract

The purpose of this study is to examine the factors influencing motivation in learning Japanese with a small sample size and develop a predictive model for motivation levels. Two models, quantile regression analysis and bootstrapped quantile regression, are compared using the width of confidence intervals of the regression coefficients as a criterion. The studied population consists of individuals studying Japanese at the B1 level in the Institute of East Asian Studies, Thammasat University. Purposive sampling was employed, specifically selecting 37 participants from Batch 11 of the B1 level Japanese course. A questionnaire was used to assess motivation in learning the Japanese language, focusing on factors of attitudes towards Japan, attitudes towards Japanese people, and the stereotype of Japan. The research findings indicate that the quantile regression analysis at the 2nd quartile level is the most appropriate model, and the factor that had statistically significant relationship with motivation in learning the Japanese language is the stereotypes of Japan, with a Spearman's correlation coefficient of approximately 0.541.

Keywords: Small sample, Japanese learning motivation, Quantile regression, Bootstrapped quantile regression

* Corresponding author : benjamas@mathstat.sci.tu.ac.th

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ภาษาญี่ปุ่นเป็นภาษาต่างประเทศที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศมหาอำนาจทางเศรษฐกิจในภูมิภาคเอเชีย ในปัจจุบันมีบริษัทญี่ปุ่นเข้ามาลงทุนในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก จากรายงานจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน พบว่าญี่ปุ่นเป็นประเทศที่ลงทุนโดยตรงในไทยสูงสุดเป็นอันดับ 1 ในปี 2564 ด้วยเหตุนี้ การสื่อสารด้วยภาษาญี่ปุ่นได้จะทำให้มีโอกาสในการทำงานมากขึ้น คนที่สื่อสารภาษาญี่ปุ่นได้ดี ก็จะได้รับค่าตอบแทนที่ค่อนข้างสูง

สายันท์ กอเสถียรวงศ์ (2564) กล่าวว่า “แรงจูงใจมีผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนภาษาญี่ปุ่นมากกว่าปัจจัยในเรื่องของเพศ อายุ และ พรสวรรค์ ผู้เรียนส่วนใหญ่จึงมีความเชื่อต่อแรงจูงใจและความคาดหวังในการเรียนภาษาญี่ปุ่นของตนเองในเชิงบวกว่าตนเองจะประสบความสำเร็จในการเรียนภาษาญี่ปุ่น เพราะแรงจูงใจในการเลือกเรียนมาจากความชื่นชอบในภาษาและวัฒนธรรมญี่ปุ่นและความคาดหวังในการได้งานที่ดีในอนาคต”

Keiko Yoshikawa (2013, pp 117, 124-125) อ้างถึงใน กนก รุ่งศิริติกุล และคณะ (2561) พบว่า แม้ผู้เรียนจะมีแรงจูงใจและความต้องการในการเรียนภาษาญี่ปุ่นระดับสูงในช่วงเริ่มเรียน แต่อาจจะไม่ต่อเนื่องในการรักษาระดับความอยากเรียนจนถึงช่วงเวลาสุดท้ายของการเรียน ดังนั้นผู้สอนควรให้ความสำคัญต่อการกระตุ้นความต้องการอย่างต่อเนื่อง มากกว่า ให้ความสำคัญกับแรงบันดาลใจตอนเริ่มต้น

ยุพกา พุกขิมา และคณะ (2556) ศึกษาความนิยมในการเรียนภาษาญี่ปุ่นและภาษาจีนของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าแรงจูงใจของนิสิตที่เรียนภาษาญี่ปุ่น 2 อันดับแรก คือ “ชอบและสนใจในวัฒนธรรมญี่ปุ่น” และ “ภาษาญี่ปุ่นใช้ในการหางานได้ง่ายและเงินเดือนสูง”

Furuoka et al. (2019) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรปในตัวอย่างขนาดเล็กทางด้านภาษาศาสตร์ประยุกต์ ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n=27$) จากผู้ที่ศึกษาภาษาญี่ปุ่นในมหาวิทยาลัยของรัฐในประเทศ มาเลเซีย โดยเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี ได้แก่การถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบบูตสเตรป (Bootstrapped OLS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป ผลการศึกษาพบว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ควอนไทล์แบบบูตสเตรปเป็นวิธีที่ดีที่สุด เมื่อเกิดปัญหาการละเมิดสมมติฐานของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและการมีค่าผิดปกติ และสรุปว่าวิธีการบูตสเตรป สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวอย่างขนาดเล็ก และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์สามารถแก้ปัญหาค่าผิดปกติได้

O.John (2015) ศึกษาความแกร่งของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์กับข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ โดยศึกษาจากข้อมูลตัวแปรตามคือ ค่าปรับลดผลิตภัณฑ์รวมในประเทศ (Gross Domestic Product: Implicit Price Deflator (GDPDEF)) รายไตรมาสจากธนาคารกลางของประเทศไนจีเรียตั้งแต่ปี 2000-2012 และมีตัวแปรอิสระ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รวมด้านเกษตรกรรม, ผลิตภัณฑ์รวมด้านอุตสาหกรรม, ผลิตภัณฑ์รวมด้านอาคารและสิ่งปลูกสร้าง, ผลิตภัณฑ์รวมด้านธุรกิจค้าส่งและค้าปลีก และผลิตภัณฑ์รวมด้านการบริการ โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม R ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มข้อมูลค่าผิดปกติลงไปในข้อมูลตัวแปรตาม 2 ครั้ง โดยครั้งที่หนึ่ง คุณค่าของข้อมูลด้วย 5 และครั้งที่ 2 คุณค่าของข้อมูลด้วย 7 พบว่าผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่ค่าเฉลี่ย (Mean Regression) ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างชุดข้อมูลเดิมกับชุดข้อมูลที่เพิ่มค่าผิดปกติเข้าไป รวมถึงทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ของแต่ละตัวแบบให้ผลตรงกันข้ามกัน ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ที่ค่ามัธยฐาน (Median Regression) ให้ผลลัพธ์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงแม้เพิ่มค่าผิดปกติลงไปในข้อมูล เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์จะทำให้ตัวประมาณที่ได้มีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือแม้จะเกิดค่าผิดปกติที่มาก (Extreme Outliers)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น โดยทำการสำรวจตัวอย่างจาก ผู้ที่ศึกษาภาษาญี่ปุ่น ระดับ B1 รุ่นที่ 11 ซึ่งเปิดการเรียนการสอน ในปี พ.ศ. 2565 ที่จัดโดยศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมเอเชีย ดำเนินงานภายใต้การกำกับดูแลของสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า

กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ การจัดการเรียนการสอนของศูนย์ภาษา ฯ เป็นการศึกษาที่จัดขึ้นนอกเหนือจากที่จัดในคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2529 ได้รับอนุมัติให้เริ่มเปิดการเรียนการสอนภาษาญี่ปุ่นเป็นภาษาแรก ต่อมาได้ขยายเปิดการเรียนการสอนภาษาเกาหลี และภาษาจีน ตามลำดับ

หลักสูตรภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 เป็นหลักสูตรที่เปิดการเรียนการสอนจำนวน 39 ชั่วโมง เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานภาษาญี่ปุ่นมาก่อน เน้นการเรียนรู้ด้วยการทำความเข้าใจที่ถูกต้องกับภาษาในภาพรวม

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น โดยเริ่มจากการใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) แต่เนื่องจากข้อมูลที่น่าสนใจในการวิเคราะห์มีขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณ เช่น ข้อมูลมีค่าผิดปกติ (Outlier) และข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Non-normality) ผู้วิจัยจึงพิจารณาตัวแบบที่มีความแกร่ง (Robust statistics) มาช่วยในการวิเคราะห์อีก 2 วิธี คือ วิธีการถดถอยแบบควอนไทล์ (Quantile Regression: QR) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสตรัป (Bootstrapped Quantile Regression: BQR) นอกจากนี้ผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น (Learning language motivation) ว่าปัจจัยใดมีความสัมพันธ์มากที่สุด เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนภาษาญี่ปุ่นให้แก่ผู้ที่สนใจให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย

เพื่อเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์การถดถอย จะขอแนะนำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (ordinary least squares : OLS) โดยมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

เมื่อ y_i คือ ตัวแปรตาม
 x_i คือ ตัวแปรอิสระ
 β_0 คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอย
 β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย
 ε_i คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$\text{และ } \hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \quad (2)$$

สมการ (2) เป็นสมการการถดถอยของตัวอย่าง

เมื่อ b_0 คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอยตัวอย่างและ b_0 เป็นค่าประมาณของ β_0
 b_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยตัวอย่างและ b_1 เป็นค่าประมาณของ β_1

โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด สามารถหาช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha) \times 100\%$ ของ β_1 ได้จาก

$$(b_1 - t_{\frac{\alpha}{2}, (n-2)} SE(b_1), b_1 + t_{\frac{\alpha}{2}, (n-2)} SE(b_1)) \quad (3)$$

เมื่อ $SE(b_1)$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ b_1
 $t_{\frac{\alpha}{2}, (n-2)}$ คือ ค่าสถิติ t ที่มีพื้นที่ปลายหางการแจกแจง t เท่ากับ $\frac{\alpha}{2}$ ที่องศาอิสระ $(n-2)$

1.2.2 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ (Quantile Regression: QR)

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์พัฒนาโดย Koenker & Bassett (1978) เป็นส่วนขยายของการถดถอยแบบดั้งเดิมที่ใช้วิธีการประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งการถดถอยแบบควอนไทล์ใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงมีลักษณะไม่

สมมาตรหรือมีความเบ้ หรือเมื่อมีปัญหาค่าผิดปกติ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ใช้หลักการจากสมการถดถอยในการประมาณค่ามัธยฐาน สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ไม่ได้พิจารณาเฉพาะแนวโน้มเข้าสู่ค่าเฉลี่ย แต่สามารถหาความสัมพันธ์ ณ จุดใดจุดหนึ่งของการแจกแจงหรือระดับควอนไทล์ที่ต่างกัน โดยแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์เป็นแบบจำลองที่กำหนดให้ Y เป็นตัวแปรสุ่มโดยฟังก์ชันของการแจกแจงความน่าจะเป็น ดังนี้

$$F(y) = \text{Prob}(Y < y) \quad (4)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรที่กำลังพิจารณา

y คือ ระดับที่ต้องการหาความน่าจะเป็น

สมการตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์สำหรับระดับควอนไทล์ที่ τ ($0 < \tau < 1$)

$$y_{\tau i} = \beta_{0(\tau)} + \beta_{1(\tau)} x_{i1} + \dots + \beta_{p(\tau)} x_{ip} + \varepsilon_i$$

(5)

โดยที่ τ คือ ณ ระดับต่างๆ ของควอนไทล์ของข้อมูล

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์ จะหาค่าประมาณของ β_i ที่ให้ค่าผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ถ่วงน้ำหนัก (weight sum of absolute value of vertical distance) ต่ำที่สุด

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์แตกต่างจากการวิเคราะห์ถดถอยโดยทั่วไป ตรงที่การวิเคราะห์การถดถอยทั่วไปจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ออกมาเพียงค่าเดียวที่ค่าเฉลี่ย แต่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ออกมาได้หลายค่าตามการแบ่งระดับของควอนไทล์ วิธีการถดถอยแบบควอนไทล์ เป็นอีกหนึ่งวิธีการสถิติที่มีความแกร่ง (Robust statistics) ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการมีค่าผิดปกติ (O.John, 2015).

1.2.3 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสตรัป (Bootstrapped Quantile Regression: BQR)

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสตรัปใช้เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับระเบียบวิธีในการศึกษาตัวอย่างขนาดเล็ก Furuoka et al.(2019) แนะนำให้รวมวิธีการทางสถิติที่มีประสิทธิภาพ 2 วิธี คือ วิธีการบูตสตรัปและวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์มาประยุกต์รวมกัน โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสตรัป มีวิธีการดังนี้

1. ใช้วิธีการบูตสตรัปในการสุ่มตัวอย่างจำนวน R ครั้ง จะได้จำนวนตัวอย่างใหม่มาจำนวน R ชุด
2. ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (b_1) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์จากแต่ละตัวอย่าง สุดท้ายจะได้สัมประสิทธิ์ความชันออกมา R ตัว
3. คำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE_{b_1}) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

$$SE(b_1) = \left(\frac{\sum_{k=1}^R (b_{1k} - b^-)^2}{R-1} \right)^{1/2}, \quad b^- = \frac{\sum_{k=1}^R b_{1k}}{R} \quad (6)$$

โดยที่ b^- คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความชัน

b_{1k} คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระตัวที่ i ในรอบที่ k

R คือ จำนวนครั้งของการทำซ้ำในการบูตสตรัป

1.2.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด และมีทิศทางความสัมพันธ์รูปแบบใด กรณีที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวเรียกว่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) กรณีที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงพหุ (Multiple Correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation Coefficient) เป็นสถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุด โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยที่

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนมีเครื่องหมาย + หมายถึง ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน และ ถ้ามีเครื่องหมาย - หมายถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยที่

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

โดยที่ r_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนจากตัวอย่าง

$\sum_{i=1}^n D_i^2$ คือ ผลรวมของกำลังสองของผลต่างของอันดับแต่ละคู่

n คือ ขนาดตัวอย่าง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น

2.2 เพื่อหาตัวแบบการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าระดับแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น เมื่อตัวอย่างขนาดเล็ก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้ที่เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 ในสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ซึ่งเป็นผู้ที่กำลังเริ่มเรียนและไม่มีพื้นฐาน เน้นการเรียนด้วยการทำความเข้าใจที่ถูกต้องกับภาษาในภาพรวม ฟังการฟัง การอ่านออกเสียง การสนทนาขั้นพื้นฐานที่จำเป็นในชีวิตประจำวัน) และตัวอย่าง คือ ผู้ที่เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 รุ่นที่ 11 ในสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จำนวน 37 คน

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ผู้วิจัยสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อถามเกี่ยวกับแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น และปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น ได้แก่ ทักษะที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น, ทักษะที่มีต่อคนญี่ปุ่น และภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 ในสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา โดยดัดแปลงมาจากแบบสอบถามงานวิจัยใน Using bootstrapped quantile regression analysis for small sample research in applied linguistics: Some methodological considerations (Furuoka et al.,2019)

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

กำหนดตัวแปรและค่าระดับคะแนนของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

ตัวแปรตาม (ระดับความคิดเห็นของแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น) มีจำนวนข้อคำถาม 5 ข้อ ใช้มาตรวัดแบบมาตราส่วน (Rating Scale) 5 ระดับ ได้แก่ เห็นด้วยอย่างยิ่ง (5) เห็นด้วย (4) เห็นเป็นกลาง (3) ไม่เห็นด้วย (2) และ ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (1)

ตัวแปรอิสระ ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 (ทัศนคติต่อประเทศญี่ปุ่นและ และทัศนคติต่อคนญี่ปุ่น) มีจำนวนข้อคำถามตัวแปรละ 1 ข้อ ใช้มาตรวัดแบบมาตราส่วนเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer Scale) ตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 100 โดยแทนความรู้สึกในเชิงบวกอย่างยิ่ง (100) , ... , ไม่ได้รู้สึกในเชิงบวกหรือเชิงลบ (50) , ... , ความรู้สึกในเชิงลบอย่างยิ่ง (0)

ตัวแปรอิสระตัวที่ 3 (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น) มีจำนวน 6 ข้อ ใช้มาตรวัดระดับความประทับใจ (Valence Ratings) 5 ระดับ ได้แก่ ความประทับใจในเชิงบวกอย่างยิ่ง (2) ความประทับใจในเชิงบวก (1) ไม่ได้ประทับใจในเชิงบวกหรือเชิงลบ (0) ความประทับใจในเชิงลบ (-1) และความประทับใจในเชิงลบอย่างยิ่ง (-2)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล

งานวิจัยนี้ประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 22 ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.1.1 สำหรับการประมวลผลการถดถอยแบบคอนโวล (ใช้ package “quantreg”) และ การถดถอยคอนโวลแบบบูตสเตรป (ใช้ package “boot” ร่วมกับ package “quantreg”)

3.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัย



รูปที่ 3.1 กรอบแนวความคิด

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1 เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนภาษาญี่ปุ่นระดับ B1 รุ่น 11 (ปี พ.ศ. 2565) ที่ศึกษาในสถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา

3.6.2 ตรวจสอบข้อมูล และศึกษาชุดข้อมูล และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.3 สร้างตัวแบบการถดถอยแบบคอนโวล และคำนวณช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% 95% และ 99%

3.6.4 สร้างตัวแบบการถดถอยคอนโวลแบบบูตสเตรป โดยทำการสุ่มตัวอย่างขนาด 37 แบบแทนที่เดิม จำนวน 1000 ครั้ง และคำนวณช่วงความเชื่อมั่นเฉลี่ยของ สัมประสิทธิ์การถดถอย ที่ระดับความระดับความเชื่อมั่น 90% 95% และ 99%

3.6.5 เปรียบเทียบความกว้างของช่วงความเชื่อมั่น จากตัวแบบในข้อ 3 และ 4 และเลือกตัวแบบที่ให้ความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นที่ต่ำที่สุด

3.6.6 จากตัวแบบที่เลือกได้ในข้อ 5 นำมาสร้างตัวแบบที่ควอร์ไทล์ ต่าง ๆ เพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด

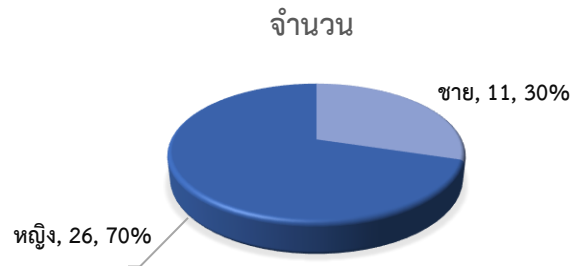
3.6.7 สรุปผลเพื่อหาตัวแบบและปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นและอธิบายความหมายของผลที่ได้

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
ชาย	11	29.73
หญิง	26	70.27
รวม	37	100



รูปที่ 2 กราฟแสดงสัดส่วนของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามเพศ

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามเพศ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 37 คนส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 70.27 ที่เหลือเป็นเพศชายจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 29.73 และเป็นเพศ

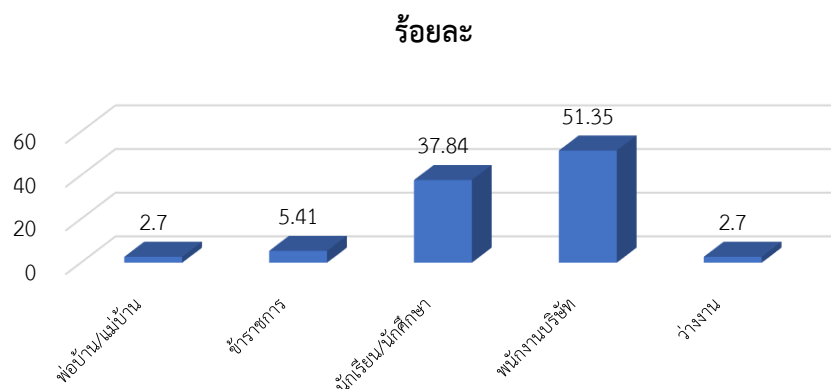
ตารางที่ 2 แสดงสถิติพรรณนาของอายุผู้ตอบแบบสอบถาม

ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าฐานนิยม	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
29.62	29	21	11.48	11	51

ตารางที่ 2 แสดงค่าสถิติพรรณนาของอายุผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุเฉลี่ย 29.62 ปี มีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 29 ปี และ ฐานนิยมเท่ากับ 21 ปี โดยในกลุ่มนี้มีผู้ที่มีอายุต่ำสุด 11 ปี และสูงสุด 51 ปี

ตารางที่ 3 จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอาชีพ

อาชีพ	จำนวน	ร้อยละ
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	1	2.70
ข้าราชการ	2	5.41
นักเรียน/นักศึกษา	14	37.84
พนักงานบริษัท	19	51.35
ว่างงาน	1	2.70
รวม	37	100.00



รูปที่ 3 กราฟแสดงสัดส่วนของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอาชีพ

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอาชีพ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 37 คนส่วนใหญ่เป็นพนักงานบริษัทจำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 51.35 รองลงมา เป็นนักเรียน/นักศึกษา จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 37.84

ตารางที่ 4 แสดงสถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม เมื่อพิจารณาตัวแปรตาม คือ แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น พบว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และ ค่าฐานนิยม ของตัวแปรตาม แตกต่างกัน สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่ไม่สมมาตร นอกจากนี้พบว่ามีข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า $Q_1 - 1.5 \times IQR$ แสดงว่าข้อมูลชุดนี้มีค่าผิดปกติ ($IQR = Q_3 - Q_1$ แทน ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (interquartile range) และ Q_1 และ Q_3 แทน ค่าควอร์ไทล์ที่ 1 และ ควอร์ไทล์ที่ 3 ตามลำดับ)

ตัวแปรอิสระ ทักษะคิดที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น กำหนดช่วงของคะแนนเป็น 1-100 พบว่า ค่าระดับทักษะคิดที่มีต่อประเทศญี่ปุ่นมีค่าเฉลี่ย 85.5135 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.3886 ตามลำดับ

ตัวแปรอิสระ ทักษะคิดที่มีต่อคนไทย กำหนดช่วงของคะแนนเป็น 1-100 พบว่าค่าระดับทักษะคิดที่มีต่อคนไทยมีค่าเฉลี่ย 79.3514 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.3317 ตามลำดับ

ตัวแปรอิสระ ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น กำหนดช่วงของคะแนนเป็น (-2) – (+2) พบว่าค่าระดับภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่นมีค่าเฉลี่ย 1.6541 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.3671 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 สถิติพรรณนาของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ค่าสถิติ/ตัวแปร	Motivation (แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น)	Country (ทักษะคิดที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น)	People (ทักษะคิดที่มีต่อคนไทย)	Stereotypes (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น)
ค่าเฉลี่ย	4.2811	85.5135	79.3514	1.6541
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.4932	11.3886	13.3317	0.3671
ค่าน้อยที่สุด	3.0	50	50	0.6
ควอร์ไทล์ที่ 1	4.0	80	75	1.6
ควอร์ไทล์ที่ 2	4.2	85	80	1.8
ควอร์ไทล์ที่ 3	4.6	95	90	2.0
ค่ามากที่สุด	5.0	100	100	2.0
ฐานนิยม	4.0	80	75	2.0

ตารางที่ 5 ค่าความเบ้และความโด่งของตัวแปรตาม : แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น

สถิติ	ค่าสถิติ
ค่าความเบ้	-0.285
ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเบ้	0.388
ค่าความโด่ง	0.145
ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความโด่ง	0.759

ตารางที่ 5 แสดงค่าสถิติของตัวแปรตาม พบว่าค่าความเบ้ของตัวแปรแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น เท่ากับ -0.285 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย (Left Skewness) และค่าความโด่งมีค่าเท่ากับ 0.145 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 นั่นคือแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่มีความโด่งมากกว่าความโด่งของการแจกแจงแบบปกติ (Leptokurtic) นอกจากนี้พบว่ามีค่าของข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า $Q_1 - 1.5 \times IQR$ แสดงว่าข้อมูลชุดนี้มีค่าผิดปกติ

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Spearman correlation coefficient) ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา กับ แรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น

ปัจจัยที่ศึกษา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (p-value)
Country (ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น)	0.170 (0.315)
People (ทัศนคติที่มีต่อคนญี่ปุ่น)	0.124 (0.464)
Stereotypes (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น)	0.541*(0.001)

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ นัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน พบว่าแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น และภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าระดับความสัมพันธ์เท่ากับ 0.541 นั่นคือถ้าภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นด้วย

4.2 การวิเคราะห์ช่วงความเชื่อมั่นของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป

ตารางที่ 7 แสดงช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% 95% และ 99% พบว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ ให้ช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระทุกตัวต่ำกว่า วิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป ที่ทุกระดับความเชื่อมั่น ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์จึงเป็นตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพมากกว่า

ตารางที่ 7 ช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากตัวแบบการถดถอยควอนไทล์ และการถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป

ตัวแปร	ระดับความเชื่อมั่น	ช่วงความเชื่อมั่น (CIs)	
		ตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์	ตัวแบบการถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป
Intercept (ค่าคงที่)	90%	[3.0869, 3.9631]	[0.9640, 4.4770]
	95%	[3.0029, 4.0471]	[0.7720, 5.0610]
	99%	[2.8389, 4.2111]	[0.4290, 5.4000]
Country (ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น)	90%	[-0.0072, 0.0072]	[-0.0133, 0.0406]
	95%	[-0.0086, 0.0086]	[-0.0181, 0.0426]
	99%	[-0.0112, 0.0112]	[-0.0246, 0.0467]
People (ทัศนคติที่มีต่อคนญี่ปุ่น)	90%	[-0.0088, 0.0038]	[-0.0308, 0.0117]
	95%	[-0.0100, 0.0050]	[-0.0333, 0.0183]
	99%	[-0.0123, 0.0073]	[-0.0425, 0.0267]
Stereotypes (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น)	90%	[0.3258, 0.6742]	[0.0737, 1.3947]
	95%	[0.2924, 0.7076]	[0.0000, 1.5814]
	99%	[0.2272, 0.7728]	[-0.1801, 1.9999]

4.3 เปรียบเทียบแต่ละระดับคอรีไทร์ของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์

เมื่อทราบว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ในแต่ละระดับคอรีไทร์ และพิจารณาว่าที่ระดับคอรีไทร์ใดมีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้มากที่สุด

ตารางที่ 8 ช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์ ในแต่ละระดับคอรีไทร์

ตัวแปร	ระดับความเชื่อมั่น	ช่วงความเชื่อมั่น		
		คอรีไทร์ที่ 1	คอรีไทร์ที่ 2	คอรีไทร์ที่ 3
Intercept (ค่าคงที่)	90%	[1.8470, 3.5816]	[3.0869, 3.9631]	[1.9270, 3.8350]
	95%	[1.6808, 3.7477]	[3.0029, 4.0471]	[1.7442, 4.0178]
	99%	[1.3561, 4.0725]	[2.8389, 4.2111]	[1.3869, 4.3750]
Country (ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น)	90%	[-0.0028, 0.0256]	[-0.0072, 0.0072]	[-0.0075, 0.0237]
	95%	[-0.0055, 0.0284]	[-0.0086, 0.0086]	[-0.0105, 0.0267]
	99%	[-0.0108, 0.0337]	[-0.0112, 0.0112]	[-0.0164, 0.0326]
People (ทัศนคติที่มีต่อคนไทยญี่ปุ่น)	90%	[-0.0239, 0.0010]	[-0.0088, 0.0038]	[-0.0146, 0.0127]
	95%	[-0.0262, 0.0034]	[-0.0100, 0.0050]	[-0.0172, 0.0153]
	99%	[-0.0309, 0.0080]	[-0.0123, 0.0073]	[-0.0224, 0.0205]
Stereotypes (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น)	90%	[0.3695, 1.0591]	[0.3258, 0.6742]	[0.3231, 1.0817]
	95%	[0.3034, 1.1252]	[0.2924, 0.7076]	[0.2504, 1.1543]
	99%	[0.1743, 1.2543]	[0.2272, 0.7728]	[0.1084, 1.2964]

ตารางที่ 8 แสดงช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบควอนไทล์ในแต่ละระดับคอรีไทร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%, 95% และ 99% พบว่า ที่ระดับคอรีไทร์ที่ 2 ให้ค่าความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นแคบที่สุดของทุกตัวแปรอิสระ ที่ทุกระดับความเชื่อมั่น

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ ที่ระดับคอรีไทร์ที่ 2

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์การถดถอย	ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	สถิติ t	$P(t > t)$
Intercept (ค่าคงที่)	3.5250	0.2664	13.2333	0.0000
Country (ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น)	0.0000	0.0044	0.0000	1.0000
People (ทัศนคติที่มีต่อคนไทยญี่ปุ่น)	-0.0025	0.0038	-0.6551	0.5169
Stereotypes (ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น)	0.5000	0.1059	4.7213	0.0000*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ นัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ ที่ระดับควอไทล์ที่ 2 พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น คือ ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ ที่ระดับควอไทล์ที่ 2 ได้ตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้

$$\text{Motivation} = 3.5250 - 0.0025 \text{ people} + 0.5000 \text{ stereotypes} \quad (8)$$

โดยที่ Motivation คือแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น people แทนทัศนคติที่มีต่อคนญี่ปุ่น และ stereotypes แทนภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ ทัศนคติที่มีต่อประเทศญี่ปุ่น, ทัศนคติที่มีต่อคนญี่ปุ่น และภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น โดยทำการเปรียบเทียบตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์ กับการถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรป พบว่าตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์ เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากมีความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นที่แคบที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Furuoka et al.(2019) ที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรปในตัวอย่างขนาดเล็กทางด้านภาษาศาสตร์ประยุกต์ ที่สรุปว่า วิธีการวิเคราะห์การถดถอยควอนไทล์แบบบูตสเตรปเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนั้น ซึ่งเป็นการศึกษาในกลุ่มนักศึกษาชาวมาเลเซีย ซึ่งข้อมูลนั้นมีปัญหาความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าไม่เป็นอิสระกัน และมีปัญหาค่าผิดปกติ

เมื่อพิจารณาตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ในที่ระดับควอไทล์ที่ 1 2 และ 3 พบว่าตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์ ที่ระดับควอไทล์ที่ 2 เป็นตัวแบบที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ O.John (2015) ที่ศึกษาความแกร่งของตัวแบบการถดถอยแบบควอนไทล์กับค่าผิดปกติ ที่แนะนำให้ใช้ตัวแบบการถดถอยที่ค่ามัธยฐาน (ระดับควอไทล์ที่ 2)

ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบควอนไทล์ ที่ระดับควอไทล์ที่ 2 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น คือ ภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันกับแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่น กล่าวคือ ถ้าภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีแรงจูงใจในการเรียนภาษาญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุพกา พุกขิม่า และคณะ (2556) ที่ศึกษาความนิยมในการเรียนภาษาญี่ปุ่นและภาษาจีนของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สรุปว่า แรงจูงใจของนิสิตที่เรียนภาษาญี่ปุ่น 2 อันดับแรก คือ “เนื่องจากภาษาญี่ปุ่นใช้ในการหางานได้ง่ายและเงินเดือนสูง” และ “เนื่องจากชอบและสนใจในวัฒนธรรมญี่ปุ่น” ซึ่งวัฒนธรรมถือเป็นหนึ่งในสิ่งที่สะท้อนภาพลักษณ์ของประเทศญี่ปุ่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงแค่ปัจจัยเบื้องต้น ในการศึกษาครั้งต่อไปสามารถเพิ่มตัวแปรอิสระในปัจจัยด้านอื่นๆ เพิ่มเติมเป็น 2 กลุ่ม คือ

- ปัจจัยภายใน เช่น ความสนใจในภาษาและวัฒนธรรม
- ปัจจัยภายนอก เช่น สถานศึกษา สภาพแวดล้อม และครอบครัว

5.2.2 ในการศึกษาครั้งนี้หากต้องการทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ต้องแก้ปัญหากลุ่มละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น เช่น ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และการมีค่าผิดปกติ เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

กนก รุ่งกิริติกุล, ชฎาภรณ์ จันทร์ประเสริฐ, รุ่งฤดี เลี้ยวกิตติกุล, วันชัย สีสพัทธ์กุล, และ หทัยวรรณ เจียมกิริติกานนท์. (2561).

ปัจจัยที่มีผลต่อความอยากเรียนของผู้เรียนวิชาภาษาญี่ปุ่น คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*, 38(2), 64-87.

ยุพกา พุกชีมา, กนกพร นุ่มทอง, และ สร้อยสุตา ณ ระนอง. (2556). ความนิยมในการเรียนภาษาญี่ปุ่นและภาษาจีนของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: แรงจูงใจแตกต่างกันอย่างไร. *วารสารญี่ปุ่นศึกษา*, 30(1), 27-40.

สายัณห์ กอเสถียรวงศ์. (2564). ความเชื่อและความคาดหวังของผู้เรียนภาษาญี่ปุ่นชาวไทยต่อการเรียนวิชาการเขียนภาษาญี่ปุ่น. *วารสารศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต*, 17(1), 35-58.

ศูนย์ภาษาและวัฒนธรรมเอเชีย (มปป). ประวัติความเป็นมา. <https://sites.google.com/a/asia.tu.ac.th/languagesieas/>

Furuoka, F., Nikitina, L., & Paidi R. (2019). Using bootstrapped quantile regression analysis for small sample research in applied linguistics: Some methodological considerations. *PLoS ONE*, 14(1), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210668>

Koenker, R. and Bassett, G. (1978) Regression Quantiles. *Econometrica*, 46, 33-50. <http://dx.doi.org/10.2307/1913643>

O.John, O. (2015). Robustness of Quantile Regression to Outliers. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 3(2), 86-88.

ช่วงความเชื่อมั่นบูตสแตรป์สำหรับพารามิเตอร์ของการแจกแจงปัวซอง-การริมา:

กรณีศึกษาจำนวนพายุฝนฟ้าคะนองในประเทศสหรัฐอเมริกา

Bootstrap Confidence Intervals for the Parameter of the Poisson-Garima Distribution:

A Case Study of the Number of Thunderstorms in the USA

วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล

Wararit Panichkitkosolkul

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

บทคัดย่อ

เมื่อไม่นานมานี้มีการนำเสนอการแจกแจงปัวซอง-การริมาสำหรับข้อมูลจำนวนนับ ซึ่งมีความสำคัญในหลายๆ สาขาวิชา เช่น วิทยาศาสตร์ ชีวภาพ วิทยาศาสตร์การแพทย์ ประชากรศาสตร์ นิเวศวิทยา เทคโนโลยี เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นสำหรับพารามิเตอร์ของการแจกแจงดังกล่าวยังไม่มีการนำเสนอ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอช่วงความเชื่อมั่นโดยใช้วิธีบูตสแตรป์เปอร์เซ็นต์ไทล์ วิธีบูตสแตรป์พื้นฐาน และวิธีบูตสแตรป์ปรับค่าเอนเอียงและค่าเร่ง และพิจารณาค่าความน่าจะเป็นคัมรวมและความกว้างเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ช่วงความเชื่อมั่นทุกวิธียังให้ค่าความน่าจะเป็นคัมรวมไม่เข้าใกล้ระดับนัยสำคัญที่กำหนด เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กในทุก ๆ สถานการณ์ นอกจากนั้นเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่มากพอ ช่วงความเชื่อมั่นทุกวิธีจะผลการจำลองไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าช่วงความเชื่อมั่นบูตสแตรป์ปรับค่าเอนเอียงและค่าเร่งมีประสิทธิภาพมากกว่าช่วงความเชื่อมั่นวิธีอื่น ๆ ในทุกสถานการณ์ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของช่วงความเชื่อมั่นบูตสแตรป์ยังได้นำไปประยุกต์ใช้กับจำนวนพายุฝนฟ้าคะนองในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับผลการจำลอง

คำสำคัญ: การประมาณค่าแบบช่วง, การแจกแจงปัวซอง, พารามิเตอร์, วิธีบูตสแตรป์, การจำลอง

Abstract

Recently, the Poisson-Garima distribution has been proposed for studying count data, which is of primary interest in several fields, such as biological science, medical science, demography, ecology and technology. However, estimating the confidence interval for its parameter has not yet been examined. In this study, confidence interval estimation based on the percentile, basic, and biased-corrected and accelerated bootstrap methods was examined in terms of their coverage probabilities and average lengths via Monte Carlo simulation. The results indicate that attaining the nominal confidence level using the bootstrap methods was not possible for small sample sizes regardless of the other settings. Moreover, when the sample size was large, the performances of the methods were not substantially different. Overall, the bias-corrected and accelerated bootstrap methods outperformed the others for all of the cases studied. Lastly, the efficacies of the bootstrap methods were illustrated by applying them to the number of thunderstorms in the USA, the results of which match those from the simulation study.

Keywords: interval estimation, Poisson distribution, parameter, bootstrap method, simulation

* Corresponding author : wararit@mathstat.sci.tu.ac.th

Received: 15 มีนาคม 2566

Revised: 19 มิถุนายน 2566

Accepted: 20 มิถุนายน 2566

1. Introduction

A thunderstorm, also known as a lightning storm, is a storm characterized by the presence of lightning and its acoustic effect on the earth's atmosphere. Thunderstorms are usually accompanied by strong winds and can produce heavy rain, snow, sleet, or hail, and sometimes little or no precipitation (Wikipedia, 2023). It is estimated that there are as many as 40,000 thunderstorm occurrences each day world-wide, which translates into 14.6 million occurrences annually (National Weather Service, 2023). The USA certainly experiences its share of thunderstorms, and of the estimated 100,000 occurrences each year around 10% are classified as severe (Florida Division of Emergency Management, 2023). Figure 1 shows the average number of thunderstorm days each year throughout the USA from 1993-2018. It can be seen that the most frequent occurrence is in the southeastern states, with Florida having the highest number (80 to more than 105 days per year).

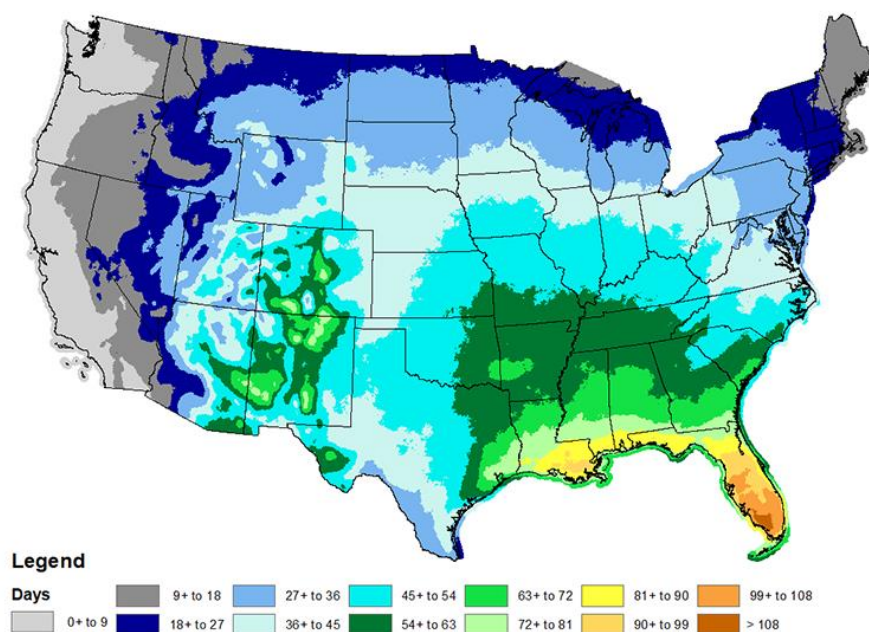


Figure 1. Average number of thunderstorm days each year throughout the USA in 1993-2018

Source: https://www.weather.gov/jetstream/tstorms_intro

It is well-known that the number of events happening in a specific region of time and/or space has a Poisson distribution (Andrew and Michael, 2022, pp. 190–192). Data such as the number of thunderstorms or other meteorological events occurring in a particular locality over a given amount of time, the number of orders a firm will receive tomorrow, the number of calls attended per hour at a call center, the number of defects in a finished product etc., (Siegel, 2016, pp. 176–177) follow a Poisson distribution. Although the Poisson distribution is a basic model for the analysis of count data, its use is restricted due to the equality of its mean and variance (equi-dispersion). A popular alternative when the count frequency data exhibit over-dispersion (the variance being greater than the mean) (Ong et al., 2021) is to use a mixed Poisson distribution in which it is assumed that the Poisson parameter is a random variable that has a single parameterized distribution (Tharshan and Wijekoon, 2022, pp. 33–51).

Recently, Shanker (2017, pp. 48–53) combined the Poisson and Garima distributions to produce the Poisson-Garima (PG) distribution and investigated its mathematical and statistical properties. The PG distribution arises from the Poisson distribution when Poisson parameter λ (the mean number of events) follows a Garima distribution. The method of moments and maximum likelihood estimation were both used to estimate the parameter of the PG distribution and when it was applied to two real data sets, it was more suitable than either the Poisson or Poisson-Lindley (Sankaran, 1970, pp. 145–149) distribution.

The Garima distribution is a lifetime continuous distribution introduced by Shanker (2016, pp. 275–281) with a probability density function (pdf) defined as

$$f(x; \theta) = \frac{\theta}{\theta + 2} (\theta x + \theta + 1) e^{-\theta x}, \quad x > 0, \theta > 0. \quad (1)$$

This distribution has been applied to model behavioral science data. Furthermore, Shanker (2016, pp. 275–281) also showed that the Garima distribution is a better model than either the exponential or Lindley (1958, pp. 102–107) distribution. The mathematical and statistical properties of the Garima distribution were established by Shanker (2016, pp. 275–281). Plots of the pdf of the Garima distribution with some specified values of parameter θ are shown in Figure 1.

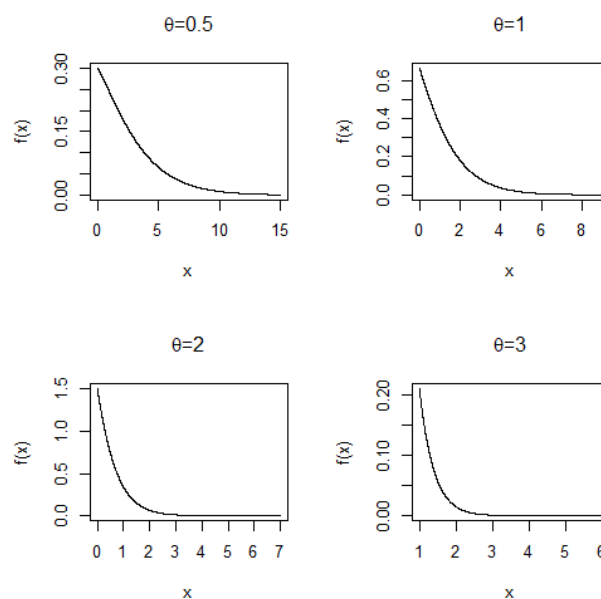


Figure 1. Plots of the pdf of the Garima distribution for $\theta = 0.5, 1, 2$ or 3

In statistics, the confidence interval is a range of values that is likely to contain the true value of the population parameter of interest, which is a key output for many statistical analyses and has a critical role to play in the interpretation of parameter estimations (Tan and Tan, 2010, pp. 276–278). To the best of our knowledge, no research has been conducted on estimating the confidence interval for the parameter of the PG distribution. Bootstrap methods for estimating the confidence intervals of a parameter provide a way of quantifying the uncertainty in statistical inference based on a sample of data. The concept is to run a simulation study based on the actual data for estimating the likely extent of sampling error (Wood, 2004, pp. 180–182). The objective of the

present study is to assess the efficiencies of three bootstrap methods, namely, the percentile bootstrap (PB), the basic bootstrap (BB), and the bias-corrected and accelerated bootstrap (BCa) to estimate the confidence interval for the parameter of the PG distribution. Because a theoretical comparison is not possible, we conducted a simulation study to compare their performances and used the result to determine the best-performing method based on their coverage probabilities and the average lengths.

2. Theoretical Background

The Poisson distribution is a discrete probability distribution that has the probability mass function (pmf) of a Poisson distribution as

$$p(y; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!}, \quad y=0,1,2,\dots, \lambda > 0, \quad (2)$$

where e is a constant approximately equal to 2.718282 and λ is a Poisson parameter. Let X be a random variable which follow the Poisson-Garima (PG) distribution with parameter θ , it is denoted as $X \sim \text{PG}(\theta)$. Shanker (2017, pp. 48–53) defined the pmf of the PG distribution as

$$p(x; \theta) = \frac{\theta}{\theta+2} \frac{\theta x + (\theta^2 + 3\theta + 1)}{(\theta+1)^{x+2}}, \quad x=0,1,2,\dots, \theta > 0. \quad (3)$$

Plots of the pmf of the PG distribution with some specified parameter values θ are shown in Figure 2.

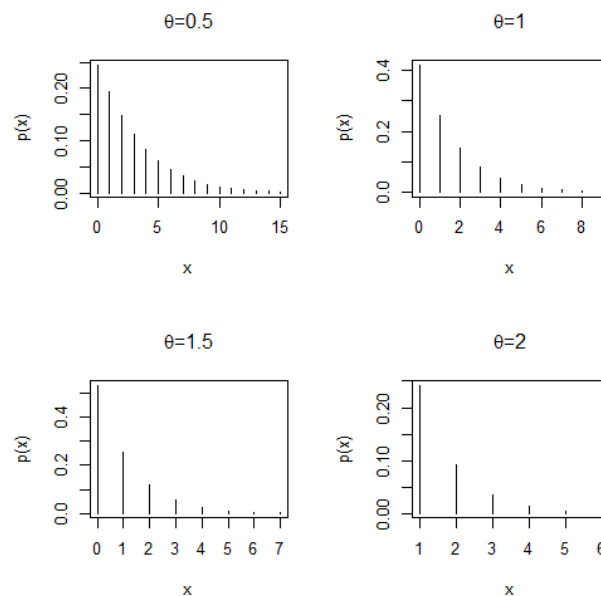


Figure 2. Plots of the pmf of the PG distribution for $\theta=0.5, 1, 1.5$ or 2

The expected value and variance of X are as follows:

$$E(X) = \mu = \frac{\theta+3}{\theta(\theta+2)} \quad \text{and} \quad \text{var}(X) = \sigma^2 = \frac{(\theta^3 + 6\theta^2 + 12\theta + 7)}{\theta^2(\theta+2)^2}.$$

The point estimator of θ is obtained by maximizing the log-likelihood function $\log L(x; \theta)$ or the logarithm of joint pmf of $X_1, \dots, X_n$. Therefore, the maximum likelihood (ML) estimator for θ of the PG distribution is derived by the following processes:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial \theta} \log L(x_i; \theta) &= \frac{\partial}{\partial \theta} \left[n \log \left(\frac{\theta}{\theta+2} \right) - \sum_{i=1}^n (x_i+2) \log(\theta+1) + \sum_{i=1}^n \log [\theta x_i + (\theta^2 + 3\theta + 1)] \right] \\ &= \frac{2n}{\theta(\theta+2)} - \frac{n(\bar{x}+2)}{\theta+1} + \sum_{i=1}^n \frac{x_i + 2\theta + 3}{\theta x_i + (\theta^2 + 3\theta + 1)}.\end{aligned}$$

Solving the equation $\frac{\partial}{\partial \theta} \log L(x_i; \theta) = 0$ for θ , we have the non-linear equation

$$\frac{2n}{\theta(\theta+2)} - \frac{n(\bar{x}+2)}{\theta+1} + \sum_{i=1}^n \frac{x_i + 2\theta + 3}{\theta x_i + (\theta^2 + 3\theta + 1)} = 0,$$

where $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ denotes the sample mean. Since the ML estimator for θ does not provide the closed-

form solution, the non-linear equation can be solved by the numerical iteration methods such as Newton-Raphson, bisection, and Ragula-Falsi methods. In this paper, maxLik package (Henningsen and Toomet, 2011, pp. 443-458) with Newton-Raphson method was used for ML estimation in the statistical software R.

3. Bootstrap Confidence Interval Methods

In this paper, we focus on the three bootstrap confidence interval methods for the parameter of the PG distribution. The bootstrap methods, that are most popular in practice, are the percentile bootstrap, basic bootstrap, and bias-corrected and accelerated bootstrap methods (Chernick and LaBudde, 2011, pp. 76-98). In this study, boot package (Canty and Ripley, 2022) was used for estimating the bootstrap confidence intervals in the statistical software R.

3.1 Percentile bootstrap (PB) method

The percentile bootstrap confidence interval is the interval between the $(\alpha/2) \times 100$ and $(1 - (\alpha/2)) \times 100$ percentiles of the distribution of θ estimates obtained from resampling or the distribution of $\hat{\theta}^*$, where θ represents a parameter of interest and α is the level of significance (e.g., $\alpha = 0.05$ for 95% confidence intervals) (Efron, 1982, pp. 78-79). A percentile bootstrap confidence interval for θ can be obtained as follows:

- 1) B random bootstrap samples are generated,
- 2) a parameter estimate $\hat{\theta}^*$ is calculated from each bootstrap sample,
- 3) all B bootstrap parameter estimates are ordered from the lowest to highest, and
- 4) the $(1-\alpha)100\%$ percentile bootstrap confidence interval is constructed as follows:

$$CI_{PB} = [\hat{\theta}_{(r)}^*, \hat{\theta}_{(s)}^*], \quad (4)$$

where $\hat{\theta}_{(\alpha)}^*$ denotes the α^{th} percentile of the distribution of $\hat{\theta}^*$ and $0 \leq r < s \leq 100$. For example, a 95% percentile bootstrap confidence interval with 1000 bootstrap samples is the interval between the 2.5 percentile value and the 97.5 percentile value of the 1000 bootstrap parameter estimates.

3.2 Basic bootstrap (BB) method

The basic bootstrap method is sometimes called the simple bootstrap method and is a method as easy to apply as the percentile bootstrap method. Suppose that the quantity of interest is θ and that the estimator of θ is $\hat{\theta}$. The simple bootstrap method assumes that the distributions of $\hat{\theta} - \theta$ and $\hat{\theta}^* - \hat{\theta}$ are approximately the same (Meeker et al., 2017). The $(1-\alpha)100\%$ basic bootstrap confidence interval for θ is

$$CI_{BB} = [2\hat{\theta} - \hat{\theta}_{(s)}^*, 2\hat{\theta} - \hat{\theta}_{(r)}^*], \quad (5)$$

where the quantiles $\hat{\theta}_{(r)}^*$ and $\hat{\theta}_{(s)}^*$ are the same percentile of empirical distribution of bootstrap estimates $\hat{\theta}^*$ used in (4) for the percentile bootstrap method.

3.3 Bias-corrected and accelerated bootstrap (BCa) method

To overcome the over coverage issues in percentile bootstrap confidence intervals (Efron and Tibshirani, 1993, pp. 325-328), the BCa bootstrap method corrects for both bias and skewness of the bootstrap parameter estimates by incorporating a bias-correction factor and an acceleration factor (Efron and Tibshirani, 1993, pp. 325-328; Efron, 1987, pp. 171-185). The mathematical details of the BCa adjustment were provided in Chernick and LaBudde (2011, pp. 85-87) and Davison and Hinkley (1997, pp. 203-208). The bias-correction factor $\hat{z}_0$ is estimated as the proportion of the bootstrap estimates less than the original parameter estimate $\hat{\theta}$,

$$\hat{z}_0 = \Phi^{-1} \left(\frac{\#\{\hat{\theta}^* \leq \hat{\theta}\}}{B} \right),$$

where Φ^{-1} is the inverse function of a standard normal cumulative distribution function (e.g., $\Phi^{-1}(0.975) \approx 1.96$). The acceleration factor $\hat{a}$ is estimated through jackknife resampling (i.e., “leave one out” resampling), which involves generating n replicates of the original sample, where n is the number of observations in the sample. The first jackknife replicate is obtained by leaving out the first case ($i=1$) of the original sample, the second by leaving out the second case ($i=2$), and so on, until n samples of size $n-1$ are obtained. For each of the jackknife resamples, $\hat{\theta}_{(-i)}$ is obtained. The average of these estimates is $\hat{\theta}_{(.)} = \sum_{i=1}^n \hat{\theta}_{(-i)} / n$. Then, the acceleration factor $\hat{a}$ is calculated as follow,

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(.)} - \hat{\theta}_{(-i)})^3}{6 \left\{ \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(.)} - \hat{\theta}_{(-i)})^2 \right\}^{3/2}}.$$

With the values of $\hat{z}_0$ and $\hat{a}$, the values α_1 and α_2 are calculated,

$$\alpha_1 = \Phi \left\{ \hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z_{\alpha/2}}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z_{\alpha/2})} \right\} \quad \text{and} \quad \alpha_2 = \Phi \left\{ \hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z_{1-\alpha/2}}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z_{1-\alpha/2})} \right\},$$

where $z_{\alpha/2}$ is the α quantile of the standard normal distribution (e.g. $z_{0.05/2} \approx -1.96$). Then, the $(1-\alpha)100\%$ BCa bootstrap confidence interval for θ is as follows

$$CI_{BCa} = [\hat{\theta}_{(\alpha_1)}^*, \hat{\theta}_{(\alpha_2)}^*], \quad (7)$$

where $\hat{\theta}_{(\alpha)}^*$ denotes the α^{th} percentile of the distribution of $\hat{\theta}^*$.

4. Simulation Study

The confidence intervals for the parameter of a PG distribution estimated via various bootstrap methods was considered in this study. Because a theoretical comparison is not possible, a Monte Carlo simulation study was designed using R version 4.2.2 (Ihaka and Gentleman, 1996, pp. 299-314) to cover cases with various sample sizes ($n = 10, 30, 50, 100$ and 500). To observe the effect of small and large variances, the true value of parameter (θ) was set as 0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, or 2.5. The number of bootstrap replications (B) was set as 2000 because Ukoumunne et al. (2003, pp. 3805-3821) claimed that 2,000 bootstrap samples are sufficient to estimate the coverage probability for the 95% confidence intervals with a standard error of just under 0.5%. Bootstrap samples

of size n were generated from the original sample and each simulation was repeated 1,000 times. Without loss of generality, the confidence level $(1-\alpha)$ was set at 0.95. The performances of the bootstrap methods were compared in terms of their coverage probabilities and average lengths; the one with a coverage probability greater than or close to the nominal confidence level (meaning that it contains the true value) and the shortest average length can be used to most accurately estimate the confidence interval for the parameter of interest for a particular scenario.

Table 1. Coverage probability and average length of the 95% confidence intervals for θ of the PG distribution.

n	θ	Coverage probability			Average length		
		PB	BB	BCa	PB	BB	BCa
10	0.1	0.857	0.846	0.865	0.1391	0.1395	0.1232
	0.5	0.868	0.862	0.882	0.9790	0.9827	0.8421
	1	0.896	0.839	0.889	2.7551	2.7413	2.5326
	1.5	0.938	0.822	0.916	4.4281	4.3673	3.9742
	2	0.974	0.752	0.969	5.5189	5.2922	5.4295
	2.5	0.964	0.668	0.972	5.6139	5.5344	5.4501
30	0.1	0.921	0.919	0.931	0.0684	0.0685	0.0650
	0.5	0.908	0.899	0.915	0.4083	0.4078	0.3822
	1	0.931	0.912	0.937	1.0184	1.0201	0.9358
	1.5	0.924	0.900	0.944	1.8834	1.8708	1.6632
	2	0.925	0.886	0.921	3.0302	3.0398	3.0255
	2.5	0.921	0.866	0.918	4.4960	4.5218	4.5366
50	0.1	0.930	0.916	0.928	0.0514	0.0515	0.0498
	0.5	0.932	0.920	0.933	0.3038	0.3032	0.2916
	1	0.942	0.920	0.948	0.6969	0.6970	0.6639
	1.5	0.933	0.917	0.933	1.2763	1.2764	1.1950
	2	0.928	0.922	0.925	1.9560	1.9593	1.9139
	2.5	0.909	0.899	0.908	2.8694	2.8717	2.8378
100	0.1	0.937	0.924	0.934	0.0359	0.0359	0.0353
	0.5	0.938	0.928	0.941	0.2061	0.2060	0.2021
	1	0.927	0.931	0.931	0.4905	0.4895	0.4776
	1.5	0.945	0.931	0.949	0.8232	0.8245	0.7980
	2	0.926	0.926	0.929	1.2497	1.2492	1.2339
	2.5	0.938	0.909	0.940	1.6926	1.6977	1.6718
500	0.1	0.961	0.959	0.958	0.0160	0.0160	0.0160
	0.5	0.947	0.937	0.944	0.0902	0.0904	0.0899
	1	0.948	0.947	0.945	0.2097	0.2094	0.2087
	1.5	0.949	0.945	0.949	0.3516	0.3516	0.3493
	2	0.950	0.924	0.949	0.5047	0.5044	0.5031
	2.5	0.938	0.932	0.940	0.6973	0.6966	0.6954

The results of the study are reported in Table 1. For $n=10$, the coverage probabilities of all three bootstrap methods tended to be less than 0.90 and so had not reach the nominal confidence level. Nevertheless, the BCa method outperformed the others in these scenarios. For $n=30$ and 50, all of the methods once again provided coverage probabilities that were less than the nominal confidence level of 0.95. For $n \geq 100$, all of the bootstrap

methods attained coverage probabilities close to the nominal confidence level and provided similarly average lengths. Therefore, as the sample size was increased, the coverage probabilities of the methods tended to increase and approach the nominal confidence level of 0.95. Moreover, the average lengths of the methods increased when the value of θ was increased because of the relationship between the variance and θ . Unsurprisingly, as the sample size was increased, the average lengths of all three bootstrap methods decreased, with the BCa method providing the shortest average length for all of the situations studied. Moreover, the average length of the BCa method was significantly different from the others when the sample size was small ($n=10$). In summary, the BCa method performs best in terms of coverage probability and average length for a large sample size ($n \geq 100$).

5. Empirical Application of the Confidence Interval Estimation Methods to Thunderstorm Data from USA

We used real-world count data to demonstrate the applicability of the bootstrap methods for estimating the confidence interval for the parameter of the PG distribution. Falls et al. (1971) reported the number of thunderstorm days per month at Cape Kennedy, Florida, USA for June, July, and August over 11 years from 1957 to 1967 (Table 2). The total number of thunderstorm days for June, July, and August, are 330, 341, 341, respectively. For the Chi-squared goodness-of-fit test (Turhan, 2020), the Chi-squared statistics and the p-values were calculated (Table 2). The results can be interpreted as PG distributions with $\hat{\theta}=1.6906$, 1.4726, and 1.5801 are suitable for the data-sets for June, July, and August, respectively. The 95% confidence interval estimation results for the parameter of the PG distribution are reported in Table 3. The results correspond with the simulation results in that the average lengths using the BCa methods were the shortest.

Table 2. The number of thunderstorms events per month for the month of June, July and August within 11-year period

Number of thunderstorms	June		July		August	
	Observed frequency	Expected frequency	Observed frequency	Expected frequency	Observed frequency	Expected frequency
0	187	183.011	177	179.438	185	186.226
1	77	82.91	80	86.656	89	86.024
2	40	36.597	47	40.743	30	38.708
3	17	15.846	26	18.782	24	17.082
≥ 4	9	11.636	11	15.381	13	12.96
Chi-squared statistic	1.5060		5.5272		4.8714	
p-value	0.5624		0.1370		0.1815	

6. Conclusions

Three bootstrap methods, namely PB, BB, and BCa, were proposed for estimating the confidence interval for the parameter of the PG distribution. When the sample sizes were small ($n=10$, 30 or 50), the coverage probabilities for all three were substantially lower than 0.95. When the sample size was sufficiently large ($n \geq 100$),

the coverage probabilities and average lengths using all three bootstrap methods were not markedly different. According to our findings, the BCa method performed the best for almost all of the situations in both the simulation study and using real data-sets.

Table 3. The 95% confidence intervals and corresponding widths using all intervals for the parameter in the thunderstorms event examples for the month of June, July and August within 11-year period

Methods	June		July		August	
	Confidence intervals	Widths	Confidence intervals	Widths	Confidence intervals	Widths
PB	(1.4755, 1.9837)	0.5082	(1.3055, 1.6865)	0.3810	(1.3765, 1.8233)	0.4468
BB	(1.4135, 1.8975)	0.4840	(1.2592, 1.6334)	0.3742	(1.3362, 1.7678)	0.4316
BCa	(1.4639, 1.9415)	0.4776	(1.3051, 1.6744)	0.3693	(1.3800, 1.7947)	0.4147

7. References

- Andrew, F.S., and Michael, R.W. (2022). *Practical business statistics*. 8th Ed. San Diego: Academic Press.
- Canty, A., and Ripley, B. (2022). *boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions*. R package version 1.3-28.1.
- Chernick, M.R., and LaBudde, R.A. (2011). *An introduction to bootstrap methods to R*. Singapore: John Wiley & Sons.
- David, F., and Johnson, N. (1952). The Truncated Poisson. *Biometrics*, 8(4), 275–285.
- Davison, A.C., and Hinkley, D.V. (1997). *Bootstrap methods and their application*. 1st Ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Efron, B. (1982). The Jackknife, the Bootstrap, and Other Resampling Plans, in *CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics*, Philadelphia: SIAM.
- Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association*, 82(297), 171–185.
- Efron, B., and Tibshirani, R.J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. 1st Ed. New York: Chapman and Hall.
- Falls, L.W., Williford, W.O., and Carter, M.C. (1971). Probability distributions for thunderstorm activity at Cape Kennedy, Florida. *Journal of Applied Meteorology*, 10(1), 97–104.
- Florida Division of Emergency Management. (1 March 2023). *Thunderstorms*. <https://www.floridadisaster.org/hazards/thunderstorms/>.
- Ghitany, M.E., Al-Mutairi, D.K., and Nadarajah, S. (2008). Zero-truncated Poisson-Lindley distribution and its application. *Mathematics and Computers in Simulation*, 79(3), 279–287.
- Henningesen, A., and Toomet, O. (2011). maxLik: A package for maximum likelihood estimation in R. *Computational Statistics*, 26(3), 443–458.
- Hussain, T. (2020). A zero truncated discrete distribution: Theory and applications to count data. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 16(1), 167–190.
- Ihaka, R., and Gentleman, R. (1996). R: A Language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299–314.

- Lindley, D.V. (1958). Fiducial distributions and Bayes' theorem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 20(1), 102–107.
- Meeker, W.Q., Hahn, G.J., and Escobar, L.A. (2017). *Statistical intervals: A guide for practitioners and researchers*. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley and Sons.
- National Weather Service. (1 March 2023). *Introduction to Thunderstorms*. https://www.weather.gov/jetstream/tstorms_intro
- Ong, S.-H., Low, Y.-C., and Toh, K.-K. (2021). Recent developments in mixed Poisson distributions. *ASM Science Journal*, <https://doi.org/10.32802/asmscj.2020.464>.
- Sankaran, M. (1970). The discrete Poisson-Lindley distribution. *Biometrics*, 26(1), 145–149.
- Shanker, R. (2016). Garima distribution and its application to model behavioral science data. *Biometrics and Biostatistics International Journal*, 4(7), 275–281.
- Shanker, R. (2017). The discrete Poisson-Garima distribution. *Biometrics and Biostatistics International Journal*, 5(2), 48–53.
- Siegel, A.F. (2017). *Practical business statistics*. 7th Ed. London: Academic Press.
- Tan, S.H., and Tan, S.B. (2010). The correct interpretation of confidence intervals. *Proceedings of Singapore Healthcare*, 19(3), 276–278.
- Tharshan, R., and Wijekoon, P. (2022). A new mixed Poisson distribution for over-dispersed count data: Theory and applications. *Reliability: Theory & Applications*, 17(1), 33–51.
- Turhan, N.S. (2020). Karl Pearson's chi-square tests. *Educational Research Review*, 15(9), 575–580.
- Ukoununne, O.C., Davison, A.C., Gulliford, M.C., Chinn, S. (2003). Non-parametric bootstrap confidence intervals for the intraclass correlation coefficient. *Statistics in Medicine*, 22(24), 3805–3821.
- Wikipedia. (1 March 2023). *Thunderstorm*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm>.
- Wood, M. (2004). Statistical inference using bootstrap confidence intervals. *Significance*, 1(4), 180–182.

การเตรียมพอลิออลชีวภาพจากยางธรรมชาติและของเสียผลิตภัณฑ์ยาง Bio Polyol Preparation from Natural Rubber and Waster Rubber Product

เดี๋ยว สายจันทร์¹, จุฑาทิพย์ อาจขมภู² และ สุวัฒน์ รัตนพันธ์^{3*}
Diew Saijun¹, Jutatip Artchomphoo² and Suwat Rattanapan^{3*}

^{1, 2, 3} สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

^{1, 2, 3} Program in Rubber and Polymer Technology, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Srivijaya.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการเตรียมสารตั้งต้นพอลิออลชีวภาพจากยางธรรมชาติ ขยะถุงมือแพทย์และขยะยางรถยนต์ พอลิออลชีวภาพที่เตรียมจากงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นโอลิโกเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมคาร์บอนิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติ เศษถุงมือแพทย์ และเศษยางรถยนต์ ขั้นตอนที่ 2 เตรียมไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากคาร์บอนิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพ การเกิดหมู่ปลายคาร์บอนิลถูกตรวจสอบและวิเคราะห์ผลด้วย FT-IR และ ¹H-NMR พบว่ายางธรรมชาติจะถูกออกซิไดซ์เกิดหมู่คาร์บอนิลได้ง่ายกว่าขยะจากถุงมือแพทย์และขยะจากยางรถยนต์ตามลำดับ การเกิดหมู่คาร์บอนิลสามารถยืนยันได้จากสัญญาณโปรตอนที่ตำแหน่ง 2.1, 2.25 – 2.49 และ 9.8 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณของโปรตอนที่ติดกับหมู่คาร์บอนิลทั้งสองด้านของสายโซ่โมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอนิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 1,500 – 2,500 g/mol พบว่าประสบความสำเร็จในการเตรียมไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพเนื่องจากสัญญาณในช่วง 2.1 – 2.5 ppm ที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลนั้นไม่ปรากฏให้เห็นแต่จะปรากฏสัญญาณโปรตอนที่ตำแหน่ง 3.65 และ 3.8 ppm แทน เป็นตำแหน่งของของ -CH₂OH และ -CHOH ตามลำดับ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ยืนยันการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่ น้ำหนักโมเลกุลของไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิดที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 1,500 – 3,500 g/mol ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR แสดงให้เห็นการเกิดของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งการดูดกลืนแสงเลขคลื่น 1,720 cm⁻¹ และพบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงให้เห็นการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งแถบดูดกลืนแสงในช่วง 3,325 – 3,500 cm⁻¹

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ ขยะผลิตภัณฑ์ยาง โอลิโกเมอร์ พอลิออลชีวภาพ

Abstract

This research investigates the feasibility of producing bio-polyol precursors derived from natural rubber, waste glove rubber, and waste tire rubber. Bio-polyols are low molecular weight oligomers with hydroxyl groups at the end of the chain. The experiment was divided into 2 steps. Step 1: Prepare bio-carbonyl telechelic oligomers from natural rubber, waste glove rubber, and waste tire rubber. Step 2 was the preparation of bio-hydroxyl telechelic oligomers from bio-carbonyl telechelic oligomers. Carbonyl end group formation was examined and analyzed by FT-IR and ¹H-NMR. It was found that natural rubber is more easily oxidized to the carbonyl end group than waste glove rubber and waste tire rubber, respectively. Proton signals can confirm carbonyl group formation at positions 2.1, 2.25–2.49, and 9.8 ppm, which are protons attached to carbonyl groups on both sides of the molecular chain.

* Corresponding author: suwat.r@rmutsv.ac.th

Molecular weights of all 3 types of bio-carbonyl telechelic oligomers ranged from 1,500–2,500 g/mol—successful preparation of bio-hydroxyl telechelic oligomers. Since no signal was found in the 2.1–2.5 ppm range, proton signals were found at 3.65 and 3.8 ppm instead, which are the positions of $-CH_2OH$ and $-CHOH$, respectively. The proton signal at 3.65 and 3.8 ppm confirms the formation of hydroxyl groups at the end of the chain. The molecular weight of bio-hydroxyl telechelic oligomers was 1,500–3,500 g/mol. The FT-IR functional group analysis showed the formation of carbonyl groups at the absorbance wave number $1,720\text{ cm}^{-1}$, and a change was observed. That shows the formation of hydroxyl groups at the absorbance band in the range of $3,325\text{--}3,500\text{ cm}^{-1}$.

Keywords: natural rubber, waste rubber product, oligomer, bio-polyol

1. บทนำ

ขยะจากผลิตภัณฑ์ยางพารานี้ว่าเป็นขยะอีกประเภทหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากธรรมชาติของผลิตภัณฑ์จากยางพารา (ยางวัลคาไนซ์) ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ถูกทิ้งในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนี้นำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆ รวมถึงมลพิษทั้งทางบกและทางน้ำ ดังนั้นการรีไซเคิลจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ ผลิตภัณฑ์ยางโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มาจากยางพารามีหลายประเภทแต่ละประเภทที่มีการผลิตใช้งานเป็นจำนวนมากได้แก่ยางรถยนต์และถุงมือทางการแพทย์ เป็นต้น เป็นที่รู้กันดีว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้หลังจากใช้งานและถูกกำจัดส่วนหนึ่งก็จะถูกนำไปรีไซเคิลกลับมาใช้ในลักษณะของสารตัวเติมที่เรียกว่ายางครัมป์หรือยางเม็ด ตัวอย่างการนำยางครัมป์ไปใช้ประโยชน์เช่นนำยางครัมป์ผสมร่วมกับพอลิเอทิลีนเพื่อปรับปรุงแอสฟัลต์ให้มีความต้านทานการเสื่อมสภาพและเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น (Ma et al., 2022) หรือการใช้อยางครัมป์เพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงของยางพองน้ำ (Rattanapan et al., 2022) หรือการนำถุงมือแพทย์มาดัดเป็นผืนใช้เป็นสารตัวเติมในยางสังเคราะห์ (Dahham et al., 2015) เป็นต้น และมีอีกจำนวนมากที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้กลายเป็นขยะถูกกำจัดโดยวิธีเผาหรือฝังกลบ เป็นการสร้างมลพิษสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายสู่ชั้นบรรยากาศและยังทำให้มลพิษทางอากาศทวีความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบัน

เพื่อจัดการกับข้อกังวลเหล่านี้วิธีการรีไซเคิลอย่างยั่งยืนได้รับความสนใจอย่างมาก จึงเป็นที่มาของการศึกษากันอย่างกว้างขวาง แนวทางหนึ่งที่มีความหวังคือการสังเคราะห์ Hydroxyl Telechelic Oligomers ซึ่ง Hydroxyl Telechelic Oligomers เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โขโมเลกุลสั้น มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นเอกลักษณ์และคุณสมบัติที่หลากหลาย ทำให้เป็นที่ต้องการสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย การมีอยู่ของกลุ่มปลายที่ชัดเจนช่วยให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาและการทำงานได้อย่างแม่นยำความสามารถในการปรับแต่งนี้ทำให้สามารถเป็นส่วนประกอบพื้นฐานสำหรับการสังเคราะห์วัสดุขั้นสูง เช่น พอลิยูรีเทน กาว สารเคลือบ อิลาสโตเมอร์ และคอมโพสิต เป็นต้น (Dworakowska et al., 2013)

Hydroxyl Telechelic Oligomers หรือพอลิออล ปัจจุบันผลิตได้จากกระบวนการปิโตรเคมีเป็นส่วนใหญ่ ในอนาคตอาจจะขาดแคลนส่งผลให้มีราคาที่สูงขึ้น Hydroxyl Telechelic Oligomers ที่สังเคราะห์ได้จากพืชเรียกว่า Bio-based hydroxyl telechelic oligomer (HTO) สารประเภท HTO เป็นสารที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) หรือเรียกอีกอย่างว่าพอลิออล (polyol) และเป็นที่ทราบกันดีว่าสารตั้งต้นหลักในการผลิตพอลิยูรีเทนก็คือพอลิออลซึ่งได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นสารจำพวกพอลิเอสเตอร์ หรือพอลิอีเทอร์ ปัจจุบันมีผู้สนใจและได้ทำการทดลองนำยางธรรมชาติมาดัดแปรโครงสร้างเป็นยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและให้มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Kébir et al., 2005; Panwiriyarat et al., 2013; Rattanapan et al., 2016b) ซึ่งจัดว่าเป็นพอลิออลชนิดหนึ่งที่ได้จากพืช (ยางธรรมชาติ) เรียกว่า bio-polyol สามารถนำมาเตรียมเป็นพอลิยูรีเทนหรือพอลิยูรีเทนโฟมทั้งชนิดแข็งและยืดหยุ่นได้ เรียกว่า bio-polyurethane (bio-PU) (Rattanapan et al., 2016b; Ruamcharoen et al., 2022) ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าสารตั้งต้นเพื่อนำมาผลิตพอลิยูรีเทนและนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ การใช้งาน

อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นที่น่าสนใจและกำลังเป็นที่นิยมกันมากคือการใช้งานเป็นลักษณะกาวประสาน เช่นผลิตเป็นพื้นสนามอเนกประสงค์ โดยนำยางรถยนต์เก่ามาดัดเป็นเม็ดใช้กาวพอลิยูรีเทนประสานทำเป็นพื้น หรือทำเป็นกาวเพื่อใช้ในการพอร์นเจอร์ เป็นต้น

ด้วยเหตุเหล่านี้พบว่า การนำขยะจากถุงมือแพทย์และขยะจากยางรถยนต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางธรรมชาติ มาเตรียมเป็น HTO ยังมีการศึกษาน้อย และโดยเฉพาะการเตรียม HTO จากขยะถุงมือแพทย์ ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องนี้ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเตรียมสารตั้งต้น HTO จากยางธรรมชาติ (bio hydroxyl telechelic natural rubber, HTNR) จากขยะถุงมือแพทย์ (bio hydroxyl telechelic waste glove rubber, HTWG) และจากขยะยางรถยนต์ (bio hydroxyl telechelic waste tires rubber, HTWT) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการเตรียมสารตั้งต้นพอลิออลจากขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการเตรียมสารตั้งต้นพอลิออลชีวภาพจากยางธรรมชาติ ขยะถุงมือแพทย์และขยะยางรถยนต์

2.2 เพื่อศึกษาผลของชนิดของเสียจากผลิตภัณฑ์ยางต่อการเตรียมพอลิออลชีวภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

วัสดุ ประกอบด้วย ยางธรรมชาติ ชนิด STR 5L (natural rubber, NR) ผลิตโดยบริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด ขยะจากถุงมือแพทย์ (waste glove rubber, WGR) นำถุงมือแพทย์ที่ผ่านการตัดทิ้งมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง และขยะจากยางรถยนต์ (waste tires rubber, WTR) ที่ผ่านการบดและแยกขนาดแล้วหรืออาจเรียกว่ายางครัมป์หรือยางผง (crumb rubber, CRM) มีขนาด 40 เมช

อุปกรณ์ ประกอบด้วย ขวดก้นกลมห้าคอ ขวดก้นกลมคอเดียว กรวยหยดสาร บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ กรวยแยก กรวยกรอง กระดาษกรอง และอุปกรณ์กรองแบบลดความดัน

เครื่องมือ ประกอบด้วย ปืนสุญญากาศ เครื่องชั่ง เครื่องกวนสาร รุ่น RW20 digital ผลิตโดยบริษัท IKA ตู้อบความร้อน (oven) รุ่น UM-SERIES ผลิตโดยบริษัท MEMMERT ตู้อบสุญญากาศ เครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน (evaporator) ผลิตโดยบริษัท BUCHI Rotavapor เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (nuclear magnetic resonance spectrometer, NMR) ความถี่ 500 MHz และ เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)

3.2 วิธีการวิจัย

ศึกษาการเตรียมสารตั้งต้นพอลิออลชีวภาพจากวัสดุ 3 ชนิด คือ ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) ขยะจากถุงมือแพทย์ (waste glove rubber, WGR) และขยะจากยางรถยนต์ (waste tires rubber, WTR) เพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อพอลิออลก็คือ โอลิโกเมอร์ (พอลิเมอร์) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้จะเรียกชื่อพอลิออลชีวภาพเป็นอีกชื่อว่า “ไฮดรอกซิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพ” (bio based hydroxyl telechelic oligomer, HTO)

สำหรับขั้นตอนการเตรียม HTO จาก NR, WGR และ WTR จำเป็นต้องเริ่มจากการเตรียมเป็นโอลิโกเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่คาร์บอนิล (-C=O) ก่อนเป็นขั้นตอนแรก เรียกว่า “คาร์บอนิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพ” (bio based carbonyl telechelic oligomer, CTO) จากนั้นนำ CTO ที่เตรียมได้ไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียม HTO

กำหนดให้ CTO ที่เตรียมจาก NR เรียกว่า bio-based carbonyl telechelic natural rubber ย่อเป็น CTNR

CTO ที่เตรียมจาก WGR เรียกว่า bio-based carbonyl telechelic waste glove rubber ย่อเป็น CTGR

CTO ที่เตรียมจาก WTR เรียกว่า bio-based carbonyl telechelic waste tires rubber ย่อเป็น CTTT

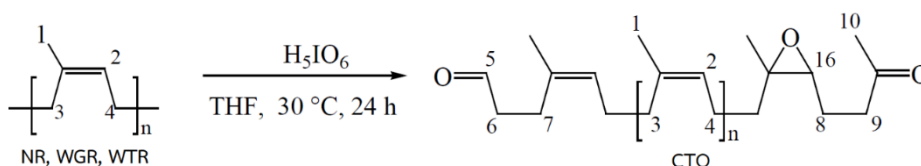
HTO ที่เตรียมจาก CTNR เรียกว่า bio-based hydroxyl telechelic natural rubber ย่อเป็น HTNR

HTO ที่เตรียมจาก CTGR เรียกว่า bio-based hydroxyl telechelic waste glove rubber ย่อเป็น HTGR

HTO ที่เตรียมจาก CTTR เรียกว่า bio-based hydroxyl telechelic waste tires rubber ย่อเป็น HTTR

3.2.1 เตรียมคาร์บอนิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยาง

การเตรียมคาร์บอนิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยาง เริ่มจากนำ NR ที่เตรียมได้จากข้างต้นทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ไอโอดิก (periodic acid, H_5IO_6) โดยหยดสารละลายกรดเปอร์ไอโอดิกในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran, THF) ลงในสารละลายของ NR ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย THF ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดหยุดปฏิกิริยาและกรองตะกอนทิ้ง กำจัดตัวทำละลาย THF ออกโดยวิธีการระเหยตัวทำละลายออก (evaporation) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาละลายใน CH_2Cl_2 และสกัดด้วยสารละลายเกลือโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate, $NaHCO_3$) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate, $Na_2S_2O_3$) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, $NaCl$) ตามลำดับ แยกเอาส่วนที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ กำจัดตัวทำละลายออก จะได้ CTNR นำ CTNR ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR และ 1H -NMR และสำหรับ CTGR และ CTTR ทำการเตรียมและวิเคราะห์ด้วยวิธีเช่นเดียวกับ CTNR ข้างต้น แต่เปลี่ยนวัสดุจาก NR เป็น WGR และ WTR แทน กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งปลายของสายโซ่ ของ CTNR, CTGR และ CTTR ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาการเตรียม CTNR, CTGR และ CTTR

สมการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลจากการวิเคราะห์ด้วย 1H -NMR ดังสมการที่ 1

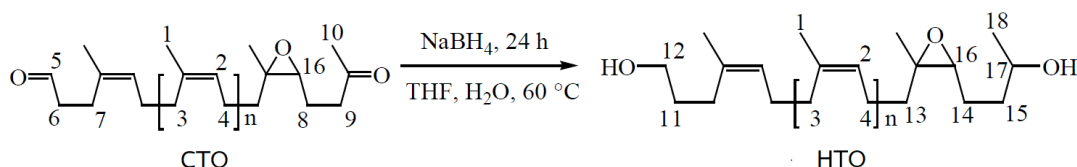
$$M_n = \left\{ \frac{4I_2 \times 68}{I_{9,6}} \right\} + 100 \quad (1)$$

กำหนดให้ I_2 เป็นค่าอินทิเกรตสัญญาณที่ตำแหน่ง 5.12 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณโปรตอนของหมู่เอทิลีน

$I_{9,6}$ เป็นสัญญาณที่ตำแหน่ง 2.2 – 2.6 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณโปรตอนของหมู่เมทิล

3.2.2 เตรียมไฮดรอกซิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา

เริ่มจากการเตรียมพอลิออลชีวภาพหรือไฮดรอกซิลเทเลเชลิกโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยาง NR (bio based hydroxyl telechelic natural rubber, HTNR) นำยาง CTNR ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้างต้นละลายในตัวทำละลาย THF แล้วค่อยๆ หยดลงในขวดปฏิกิริยาที่มีสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อหยดสารละลาย CTNR หหมด จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาต่อจนครบ 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด หยุดปฏิกิริยาทิ้งไว้ให้เย็น เติม THF ผสมน้ำแข็งในขวดปฏิกิริยา นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาล้างด้วยสารละลาย $NaCl$ และเติม $MgSO_4$ เพื่อกำจัดความชื้น กรอง ระเหยตัวทำละลายออก แล้วนำไปอบในตู้อบสุญญากาศ จะได้ HTNR นำ HTNR ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR และ 1H -NMR และสำหรับ HTGR และ HTTR ทำการเตรียมและวิเคราะห์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับ HTNR ข้างต้น แต่เปลี่ยนสารตั้งต้นจาก CTNR เป็น CTGR และ CTTR แทน กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายของสายโซ่ ของ HTNR, HTGR และ HTTR ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเตรียม HTNR, HTGR และ HTTR

สมการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลจากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ดังสมการที่ 2

$$M_n = \left\{ \frac{2I_2 \times 68}{I_{12}} \right\} + 104 \quad (2)$$

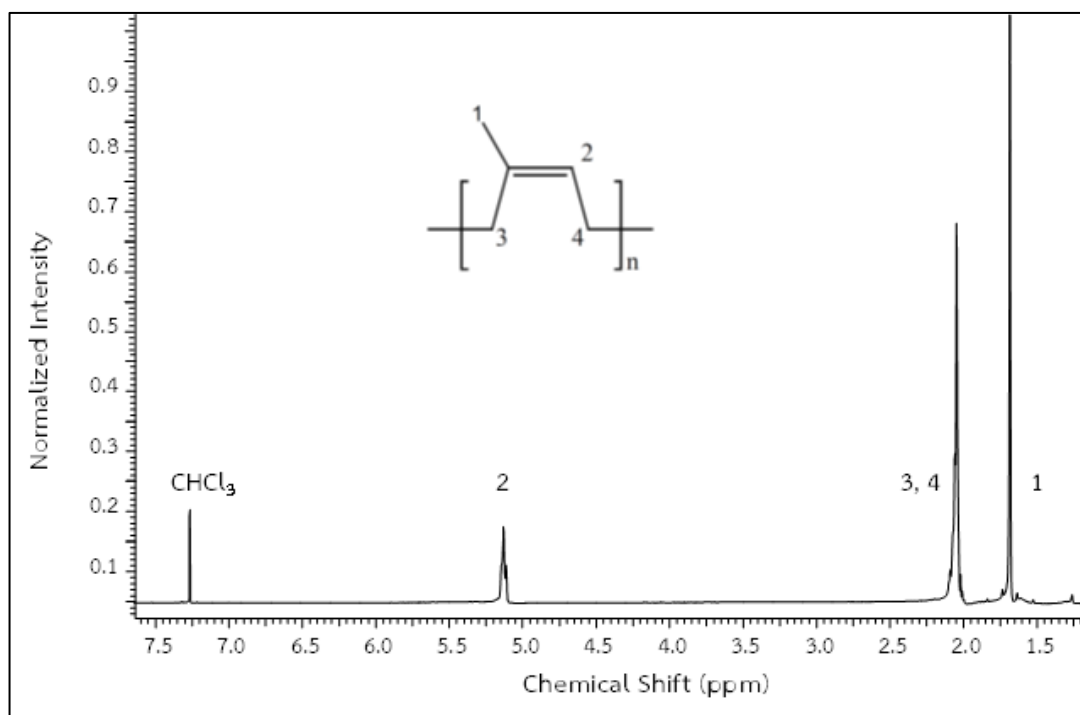
กำหนดให้ I_2 เป็นค่าอินทิเกรตสัญญาณที่ตำแหน่ง 5.12 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณโปรตอนของหมู่เอทิลีน

I_{12} เป็นค่าอินทิเกรตสัญญาณที่ตำแหน่ง 3.63 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณโปรตอนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH)

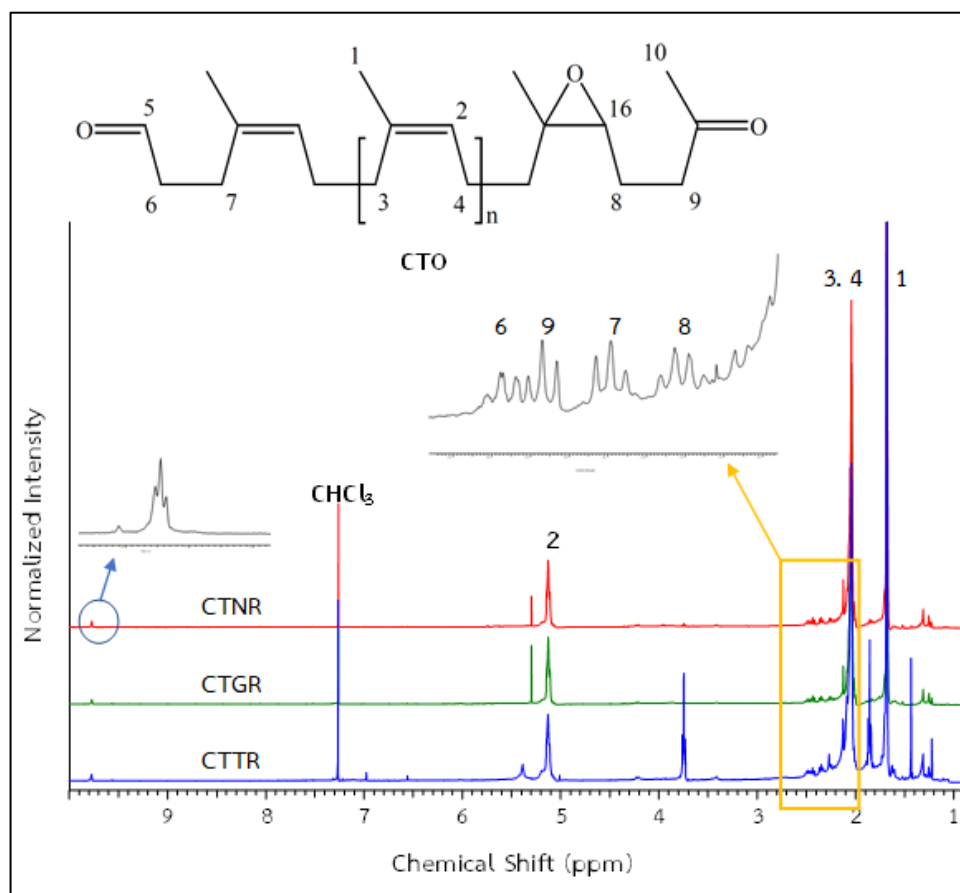
4. ผลการวิจัย

4.1 การสังเคราะห์คาร์บอนิลเทเลเชลิคโพลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา (CTO)

CTO ทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา ด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาตัดสายโซ่ด้วยกรดเปอร์ออกติกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หลังจากทำปฏิกิริยาดังขั้นตอนในวิธีการทดลองข้างต้นแล้ว นำไปวิเคราะห์อัตรลักษณ์ด้วย FT-IR และ $^1\text{H-NMR}$ เนื่องจากการตัดแปรรูปโครงสร้างของยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยกรดเปอร์ออกติกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพาราถูกตัดให้มีขนาดที่สั้นลง ส่งผลให้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยเฉพาะยางธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติตัดแปรรูปที่มีหมู่ปลายเป็นคาร์บอนิลลดลงด้วย ดังผลการทดลองในตารางที่ 1 และการเกิดหมู่ปลายคาร์บอนิลสามารถยืนยันและคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR และ $^1\text{H-NMR}$ ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (NR)



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ CTO จากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ของ NR แสดงดังภาพที่ 3 ปรากฏสัญญาณของโปรตอนที่เกิดกับพันธะคู่ในหน่วยของไอโซพรีนในโครงสร้างของยางธรรมชาติ ($-\text{C}=\text{CH}-$) ตำแหน่งที่ 5.12 ppm และพบสัญญาณโปรตอนของหมู่เมทิลีน ($-\text{CH}_2-$) และ เมทิล ($-\text{CH}_3$) ที่ตำแหน่ง 2.0 และ 1.67 ppm ตามลำดับ หลังจากนำยาง NR, GR และ TR มาทำการสังเคราะห์ตัดแปรรูปโครงสร้างเพื่อให้เกิดหมู่ปลายสายโซ่ที่เป็นหมู่คาร์บอนิล นำ CTNR, CTGR และ CTTR ไปวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลการเกิดหมู่คาร์บอนิลด้วย $^1\text{H-NMR}$ ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าประสบความสำเร็จในการเตรียม CTNR, CTGR และ CTTR เนื่องจากตรวจพบสัญญาณเพิ่มขึ้นซึ่งไม่พบในโครงสร้างของยาง NR นั่นคือสัญญาณที่ตำแหน่ง 2.1, 2.25 – 2.49 และ 9.8 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณของโปรตอนที่ติดกับหมู่คาร์บอนิลทั้งสองด้านของสายโซ่โมเลกุลรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัญญาณของโปรตอนหมู่ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ของ CTO ด้วย $^1\text{H-NMR}$

Functional group	Chemical shift (ppm)	Functional group	Chemical shift (ppm)
$-\text{C}(\text{O})\text{H}$	9.77 (H_5)	$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_2-$	2.25 (H_8)
$-\text{C}=\text{CH}-$	5.12 (H_2)	$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2-$	2.13 (H_{10})
$-\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{H}$	2.49 (H_6)	$-\text{CH}_2-$	2.00 (H_3)
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2-$	2.43 (H_9)	$-\text{CH}_3$	1.67 (H_1)
$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{H}$	2.34 (H_7)		

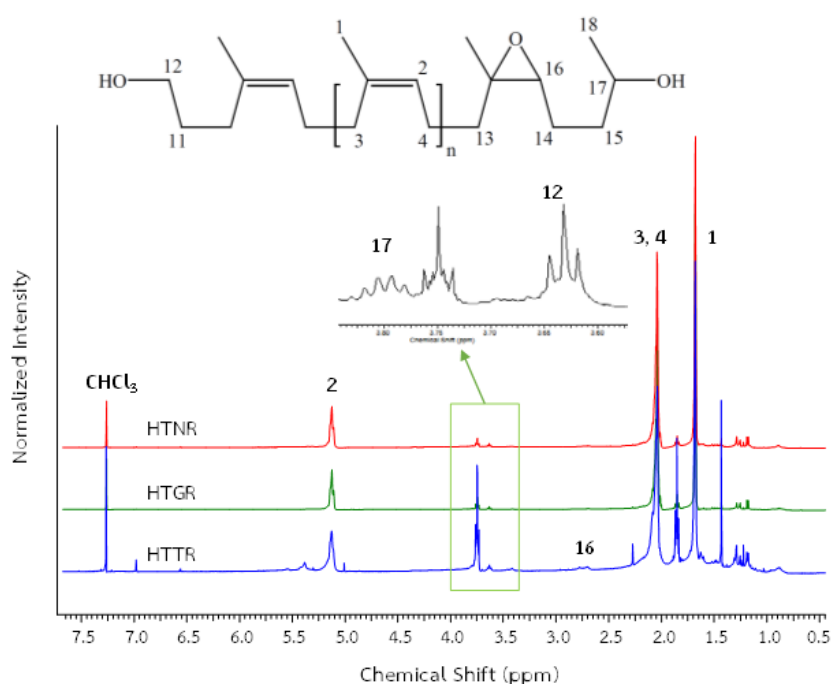
ตารางที่ 2 ผลจากการสังเคราะห์คาร์บอนิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา (CTO)

Synthesis of Carbonyl Telechelic Oligomer (CTO)						
CTO Code	Condition: Temp. = 30 °C ; stirring = 300 rpm					
	Reaction Time = 24 hr ; solvent = THF					
	Type and mass of materials	Mass of H ₂ O ₆	Mass of CTO	Yield	Mn (NMR)	
	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/mol)	
CTNR	NR 40	10	33.92	84.83	1913 (~2,000)	
CTGR	WGR 40	10	30.59	76.47	2690 (~2,500)	
CTTR	WTR 40	10	8.82	22.05	1497 (~1,500)	

ผลจากการวิเคราะห์ CTO ทั้ง 3 ชนิด ด้วย ¹H-NMR สามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของ CTO แต่ละชนิดได้จากสมการที่ 1 และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 จากการทดลองพบว่าการเตรียม CTNR จะให้ค่า %Yield ที่สูงกว่า CTGR และ CTTR ตามลำดับ เนื่องจาก CTNR เตรียมจากยางธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการวัลคาไนซ์ ไม่มีการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลส่งผลให้การดอปเปอร์ไอติกเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับเศษยางมือยางทางการแพทย์กับเศษยางรถยนต์ สำหรับน้ำหนักโมเลกุลของ CTO ทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วง 1,500 – 2,500 g/mol จากผลของค่าน้ำหนักโมเลกุลที่คำนวณได้นำไปใช้เพื่อคำนวณในการเตรียมไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพในหัวข้อถัดไป

4.2 การสังเคราะห์ไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา (HTO)

ผลจากการเตรียม CTO ในตารางที่ 1 นำมาใช้เตรียม HTO และ นำ HTO ไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์อัตลักษณ์ด้วย FT-IR และ ¹H-NMR การเกิดหมู่ปลายไฮดรอกซิลสามารถยืนยันได้ด้วยการวิเคราะห์ ¹H-NMR ดังภาพที่ 5 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และสามารถคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลได้จากสมการที่ 2 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ ¹H-NMR สเปกตรัมของ HTO จากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ของ HTO เพื่อยืนยันผลการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งปลายสายโซ่ของโมเลกุล ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าประสบความสำเร็จในการเตรียม HTNR, HTGR และ HTTR เนื่องจากสัญญาณในช่วง 2.1 – 2.5 ที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งปลายของสายโซ่ไม่ปรากฏให้เห็นในตำแหน่งดังกล่าว เนื่องจากหมู่คาร์บอนิลทำปฏิกิริยากับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) กลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายของสายโซ่โมเลกุลแทน สัญญาณโปรตอน $-\text{CH}_2\text{OH}$ และ $-\text{CHOH}$ จะปรากฏที่ตำแหน่ง 3.65 และ 3.8 ppm ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสำหรับ HTTR ที่เตรียมได้จากเศษยางรถยนต์เก่าพบสัญญาณโปรตอนที่ตำแหน่ง 5.38 ppm แต่ไม่พบใน HTNR และ HTGR เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของโปรตอนที่อยู่ในสายโซ่โมเลกุลของยางบิวทาไดอีนซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่เป็นส่วนผสมหรือเป็นยางที่ใช้เบลนด์ร่วมกับยางธรรมชาติที่พบได้ในยางรถยนต์ (Rattanapan et al., 2016a)

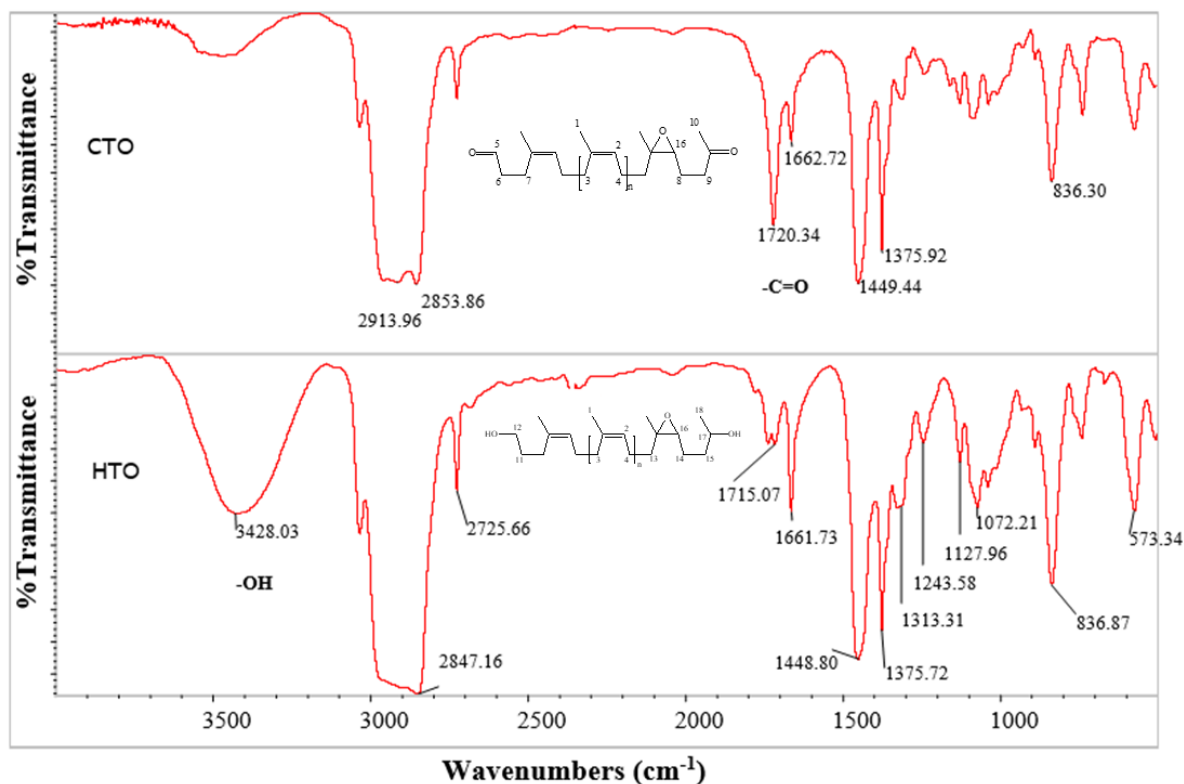
ตารางที่ 3 ค่าสัญญาณของโปรตอนหมู่ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ของ HTO ด้วย $^1\text{H-NMR}$

Functional group	Chemical shift (ppm)	Functional group	Chemical shift (ppm)
$-\text{C}=\text{CH}-$	5.12 (H_2)	$-\text{CH}_3$	1.67 (H_1)
$-\text{CHOH}$	3.80 (H_{17})	$-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$	1.20 (H_{18})
$-\text{CH}_2\text{OH}$	3.65 (H_{12})	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{C}-\text{CH}- \end{array}$	2.7 (H_{16})
$-\text{CH}_2-$	2.00 ($\text{H}_{3,4}$)		

ตารางที่ 4 ผลจากการสังเคราะห์ไฮดรอกซิลเทเลเชลิคโอลิโกเมอร์ชีวภาพจากยางธรรมชาติและขยะผลิตภัณฑ์ยางพารา (HTO)

Synthesis of Hydroxyl Telechelic Oligomer (HTO)					
HTO Code	Condition: Temp. = 60 °C ; stirring = 300 rpm				
	Reaction Time = 24 hr ; solvent = THF				
	Type / Mass of CTO (g)	Mass of NaBH_4 (g)	Mass of HTO (g)	Yield (%)	Mn (NMR) (g/mol)
HTNR	CTNR (33.10)	4.73	29.52	89.18	2820 (~3,000)
HTGR	CTGR (29.00)	4.14	27.90	96.21	3504 (~3,500)
HTTR	CTTR (8.30)	1.18	3.59	43.25	1550 (~1,500)

ผลจากการสังเคราะห์และวิเคราะห์ HTO ทั้ง 3 ชนิด ด้วย $^1\text{H-NMR}$ สามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของ HTO แต่ละชนิดได้จากสมการที่ 2 และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 จากการทดลองพบว่า การเตรียม HTGR จะให้ค่า %Yield ที่สูงกว่า HTNR และ HTTR ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม %Yield ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4 เป็นค่า %Yield ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2 จาก CTO เป็น HTO หากคิดค่า %Yield จากขั้นตอนแรกคือจาก NR, WGR และ WTR จนกลายเป็น HTNR, HTGR และ HTTR พบว่า %Yield ของ HTNR จะสูงกว่า HTGR และ HTTR ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักโมเลกุลของ HTO ทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วง 1,500 – 3,500 g/mol จากผลของค่าน้ำหนักโมเลกุลที่คำนวณได้ทำให้ทราบและสามารถเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องตามการใช้งาน เช่น หากต้องการนำ HTO ไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมพอลิยูรีเทนฟิล์ม หรือ โฟม หากเลือก HTO ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะได้พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะที่แข็งกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ HTO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง



ภาพที่ 6 FT-IR สเปกตรัมของ CTO และ HTO

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ CTO และ HTO ด้วย FT-IR ดังแสดงในภาพที่ 6 และรายละเอียดในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมของ CTO พบการปรากฏของสัญญาณการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 1720 cm^{-1} แสดงถึงการเกิดขึ้นแบบสันยัดของหมู่คาร์บอนิล (ν ($\text{C}=\text{O}$)) และจะพบการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณแถบดูดกลืนมีความเข้มมากขึ้นในสเปกตรัมของ HTO ช่วงแถบดูดกลืนที่ $3325 - 3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณของการสันยัดของหมู่ไฮดรอกซิล (ν ($\text{O}-\text{H}$))

ตารางที่ 5 ช่วงความยาวคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของ CTO และ HTO จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR

Wavenumber (cm^{-1})	Functional group	Wavenumber (cm^{-1})	Functional group
3473 (CTNR)	ν ($\text{O}-\text{H}$) side reaction	1662	ν ($\text{C}=\text{C}$)
3385 (HTNR)	ν ($\text{O}-\text{H}$)	1451, 1375	δ (CH_2 , CH_3)
2730-2900	ν (CH_2 , CH_3)	836	δ ($\text{C}=\text{C}-\text{H}$)
1721 (CTNR)	ν ($\text{C}=\text{O}$)	1240	Symmetric ν ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) in epoxide groups,
1737 (HTNR)	ν ($\text{C}=\text{O}$)	870	Asymmetric ν ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) in epoxide groups,

ν = Stretching (การสันยัด), δ = bending (การสันแบบงอ)

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

พอลิออลชีวภาพสามารถเตรียมได้จากยางธรรมชาติ ขยะจากถุงมือแพทย์และขยะจากยางรถยนต์ เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ของพันธะคู่ในโครงสร้างของยางทั้ง 3 ชนิด กับกรดเปอร์ไอโอดิก

การเตรียม CTO จาก NR จะสามารถเกิดหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่ได้ง่ายกว่า WGR และ WTR ยืนยันจากการพบสัญญาณโปรตอนที่ตำแหน่ง 2.1, 2.25 – 2.49 และ 9.8 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณของโปรตอนที่อยู่ติดกับหมู่คาร์บอนิลทั้งสองด้านของสายโซ่โมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลของ CTO ทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วง 1,500 – 2,500 g/mol การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FI-IR แสดงให้เห็นการเกิดของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งการดูดกลืนแสงเลขคลื่น $1,720\text{ cm}^{-1}$ ผลของค่าน้ำหนักโมเลกุลที่เตรียมและคำนวณได้สามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณในการเตรียมไฮดรอกซิลเทเลเชลิกโพลิเอทเธอร์ชีวภาพในหัวข้อถัดไปได้ การเตรียม CTNR จะให้ค่า %Yield ที่สูงกว่า CTGR และ CTTR ค่า %Yield เท่ากับ 84.83, 76.47 และ 22.05 % ตามลำดับ

การเตรียม HTO ประสบความสำเร็จในการเตรียม HTO (HTNR, HTGR และ HTTR) ยืนยันจากการหายไปของสัญญาณโปรตอนในช่วง 2.1 – 2.5 ppm ที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลใน CTO แต่ปรากฏสัญญาณโปรตอนตำแหน่ง 3.65 และ 3.8 ppm แทน ซึ่งเป็นตำแหน่งของ $-\text{CH}_2\text{OH}$ และ $-\text{CHOH}$ ตามลำดับ เป็นสัญญาณที่ยืนยันการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุลของ HTO น้ำหนักโมเลกุลของ HTO แต่ละชนิดที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 1,500 – 3,500 g/mol สอดคล้องกับการทดลองของ Jaratrotkamjorn และ Tanrattanakul ในปี 2020 ที่เตรียม HTO จากยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1,420 g/mol (Jaratrotkamjorn & Tanrattanakul, 2020) การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FI-IR แสดงให้เห็นการเกิดของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งแถบดูดกลืนแสงในช่วง $3,325 - 3,500\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ HTTR ที่เตรียมได้จากเศษยางรถยนต์เก่าพบสัญญาณโปรตอนตำแหน่ง 5.38 ppm เป็นตำแหน่งของโปรตอนที่อยู่ในสายโซ่โมเลกุลของยางบิวทาไดเอนซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่เป็นส่วนผสมที่พบได้ในยางรถยนต์

ดังนั้นจากการทดลองพบว่าประสบความสำเร็จมีความเป็นไปได้ในการเตรียมพอลิออลชีวภาพจากยางธรรมชาติ ขยะจากถุงมือแพทย์ และขยะจากยางรถยนต์ สำหรับนำไปพัฒนาปรับใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อการผลิตพอลิยูรีเทนในรูปแบบต่างๆ เช่น ฟิล์ม โฟม วัสดุเคลือบ หรือ กาว เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่า %Yield ของ CTO และ HTO ที่เตรียมได้จากขยะผลิตภัณฑ์ยางมีค่าต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างขยะจากถุงมือแพทย์และขยะจากยางรถยนต์พบว่าเตรียม CTO และ HTO จากขยะถุงมือแพทย์ให้ %Yield สูงกว่าจึงควรนำขยะจากถุงมือแพทย์ไปศึกษาพัฒนาต่อให้ละเอียดมากขึ้น

ทดลองนำพอลิออลชีวภาพที่เตรียมได้ใช้เป็นสารตั้งต้นเตรียมพอลิยูรีเทนทดแทนพอลิออลในทางการค้าจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ ประจำปี 2563 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช สำหรับการสนับสนุนการใช้ครุภัณฑ์และอาคารสถานที่

7. เอกสารอ้างอิง

Dahham, O. S., Noriman, N. Z., Ting, S. S., Omar, M. F., & Alakrach, A. M. (2015). Cure Characteristics, Tensile and Physical Properties of Recycled Natural Rubber Latex Glove (NRL-G) Filled Acrylonitrile Butadiene Rubber. *Applied Mechanics and Materials*, 754-755, 693-697. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.693

- Dworakowska, S., Bogdal, D., & Ravasio, N. (2013). The role of catalysis in the synthesis of polyurethane foams based on renewable raw materials. *Catalysis Today*, 223. doi:10.1016/j.cattod.2013.11.054
- Jaratrotkamjorn, R., & Tanrattanakul, V. (2020). Bio-based flexible polyurethane foam synthesized from palm oil and natural rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(43), 49310. doi:https://doi.org/10.1002/app.49310
- Kébir, N., Morandi, G., Campistrone, I., Laguerre, A., & Pilard, J.-F. (2005). Synthesis of well defined amino telechelic cis-1,4-oligoisoprenes from carbonyl telechelic oligomers; first studies of their potentialities as polyurethane or polyurea materials precursors. *Polymer*, 46(18), 6844-6854. doi:https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.05.122
- Ma, Y., Wang, S., Zhou, H., Hu, W., Polaczyk, P., & Huang, B. (2022). Recycled polyethylene and crumb rubber composites modified asphalt with improved aging resistance and thermal stability. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130102. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130102
- Panwiriyaat, W., Tanrattanakul, V., Pilard, J.-F., Pasetto, P., & Khaokong, C. (2013). Preparation and Properties of Bio-based Polyurethane Containing Polycaprolactone and Natural Rubber. *Journal of Polymers and the Environment*, 21. doi:10.1007/s10924-012-0567-6
- Rattanapan, S., Artchomphoo, J., Saijun, D., & Sungsee, P. (2022). Combination Effects of Calcium Carbonate and Crumb Rubber Fillers on the Properties of Natural Rubber Latex Foams. *CURRENT APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 10.55003/cast. 52022.55001. 55022.55012 (55012 pages)-55010.55003/cast. 52022.55001. 55022.55012 (55012 pages).
- Rattanapan, S., Pasetto, P., Pilard, J.-F., & Tanrattanakul, V. (2016a). Polyurethane foams from oligomers derived from waste tire crumbs and polycaprolactone diols. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(47). doi:https://doi.org/10.1002/app.44251
- Rattanapan, S., Pasetto, P., Pilard, J.-F., & Tanrattanakul, V. (2016b). Preparation and properties of bio-based polyurethane foams from natural rubber and polycaprolactone diol. *Journal of Polymer Research*, 23(9), 182. doi:10.1007/s10965-016-1081-7
- Ruamcharoen, J., Phetphaisit, C. W., & Ruamcharoen, P. (2022). Green rigid polyurethane foam from hydroxyl liquid natural rubbers as macro-hydroxyl polyols. *Journal of Cellular Plastics*, 58(3), 555-568. doi:10.1177/0021955X221074405