



วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ปีที่ 35 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2568)
VOL.35 NO.1 JANUARY- JUNE 2025

SCIENCE JOURNAL CRU

ISSN: 1685 - 0491

ISSN: 2697 - 4584

(ONLINE)

กองบรรณาธิการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ สวัสดิ์น๊ะที มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริทิพ วัชรินทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ	พิริยะสุรวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย	ศุภดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด	แพนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส	จงสถิตย์วัฒนา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย์	สินาวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์	จิ๋วประดิษฐ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์	เมืองประทับ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต สุราษฎร์ธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา	สีละมาด	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์	ด้วงทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.อุไรวรรณ	เจริญกิตติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชดาภรณ์	อมรชีวิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤวรรณ	ภัทรพงศ์ดิลก	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ดร.ณัฐลิณค	เศรษฐพรวิโมทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

กองบรรณาธิการภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	ปราการเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
รองศาสตราจารย์ ดร.จรัส	รัตนโชตินันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร	ภาสาศิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพล	กสิการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติยา	ศรีบุญเพ็ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา	เทียมปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์	สมุทรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ดร.ณัฐธิดา	บังเมฆ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ดร.นภาพันธุ์	โชคอำนวยพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

กองจัดการวารสาร

ว่าที่ร้อยตรีอทิพันธ์	ศรีโพธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
นางสาวอัมชนก	รัตนะคุณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
นางสาววาสนา	บุญหมื่น	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (Science Journal Chandrakasem Faculty of Science Chandrakasem Rajabhat University) ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 35 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568 โดยวารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งสิ้น 8 เรื่อง และทุกบทความได้รับการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน

โดยวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมออนไลน์ใช้ระบบ 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 8 บทความ (บทความภายใน 1 บทความ และ บทความภายนอก 7 บทความ) เพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ปีที่ 35 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568 กองบรรณาธิการฯ ขอพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาใช้เวลาในการตรวจสอบคุณภาพของบทความและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง สุดท้าย ขอขอบคุณ ทีมงานที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ทำให้รูปเล่มของวารสารให้มีความสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ สวัสดิ์นะที่

บรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์

สารบัญ / Index

บทความวิจัย / Research Article

ผลกระทบการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงในพื้นที่คอนกรีตอัดแรง ที่ใช้รูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกัน: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ Effects of Friction Loss Due to Elongation of Prestressing Strands in Prestressed Concrete Slabs with Different Strand Arrangements: A Case Study of a Large Building Construction Project	1
การพัฒนาคอนกรีตกึ่งสำเร็จรูป แบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง Development of Bag-type Semi-precast Concrete for Construction	19
การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยการติดตั้ง PVC Filling ที่ส่วนระบายความร้อน Energy Conservation of a Split Air-Conditioner by Installing PVC Filling at Condensing Unit	27
ผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มในเขตอำเภอเมืองลพบุรี The Effective of an Integrated Exercise Program on the Physical fitness of patient risk of falling in Amphoe Mueang Lopburi	37
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้ แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม The Development of Mathematics Learning Achievement on Polynomials for Grade 8 Students Using Cooperative Learning with STAD Technique Combined with Multimedia	49
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา SME อุตสาหกรรมแฟชั่น Organization Carbon Footprint Assessment: A Case Study of SME in Fashion Industry	62
การเปรียบเทียบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบ 50 เมตรระหว่างโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก และโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำของนักกีฬาว่ายน้ำหญิง Comparison of 50-Meter Breaststroke Speed Between Land-Based and Aquatic Leg Plyometric Training Program in Female Swimmers	77

บทความวิชาการ / Academic Article

การนำวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส Applying Sports Science to Bodybuilding and Fitness Sports	86
--	----

ผลกระทบการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงในพื้นที่คอนกรีตอัดแรงที่ใช้
รูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกัน: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่
Effects of Friction Loss Due to Elongation of Prestressing Strands in Prestressed Concrete
Slabs with Different Strand Arrangements:
A Case Study of a Large Building Construction Project

สุภิชาติ เจนจิระปัญญา^{1*}, ภาคภูมิ วานิชกมลนันท์², กฤษณะ แสงทอง³, สุนิสา รอดสังวาลย์⁴, ประเทือง พละศักดิ์⁵
มีฤกษ์ พัสระ⁶ และ สุธิชัย ศรีรัตนวงศ์⁷

Supichart Jenjirapanya^{1*}, Parkpoom Vanitkamonnunt², Krissana Sangthong³, Sunisa Rodsungwal⁴,
Pratueng Palasak⁵, Meeterk Passara⁶ and Suttichai Srirattanawong⁷

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Department of Civil Engineering and Construction Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

² บริษัท เอสเอ็นพี โฟส เท็นชั่น จำกัด

² SNP Post Tension Company Limited

³ บริษัท ไทยโตตะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

³ Thai Toda Company Limited

⁴ บริษัท สเปน จำกัด

⁴ SPAN Company Limited

⁵ บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน)

⁵ TPI Polene Public Company Limited

⁶ บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด (มหาชน)

⁶ TEAM Consulting Engineering and Management Public Company Limited

⁷ บริษัท อนันดา ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)

⁷ Ananda Development Public Company Limited

บทคัดย่อ

การสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงเป็นปัญหาสำคัญในระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูงที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงดึงที่หลัง การสูญเสียแรงเสียดทานอาจเกิดจากรูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของโครงสร้างอาคารในระยะยาว การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงที่มีการจัดวางลวดในรูปแบบที่แตกต่างกัน ทำการเปรียบเทียบค่าผลต่างทางทฤษฎีที่คำนวณได้กับค่าที่อ่านได้จริงจากหน้างานและเปรียบเทียบกับค่าที่มาตรฐาน ACI 318-19 กำหนดไว้สำหรับงานอาคาร โดยเลือกโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงดึงที่หลัง ที่มีการวางแนวลวดอัดแรงในรูปแบบต่างกันจำนวน 17 รูปแบบ แต่ละรูปแบบของการวางแนวลวดอัดแรงจะคำนวณสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงตามมาตรฐาน ACI 423.10R-16 ทำการเปรียบเทียบการสูญเสียแรงเสียดทานและการยืดตัวของลวดอัดแรงจากค่าที่คำนวณทางทฤษฎีกับค่าที่อ่านได้จริงหน้างาน ผลการวิจัยพบว่าการวางแนวลวดอัดแรงที่มีการเบี่ยงเบนในแนวราบส่งผลให้เกิดการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงสูงกว่ารูปแบบที่ไม่มีการเบี่ยงเบน การวางแนวลวดอัดแรงที่มีความยาวมากกว่าจะมีค่าการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรงสูงกว่าแนวลวดอัดแรงที่มีความยาวสั้นกว่า และ

* Corresponding author: supichart.j@gmail.com

ค่าการยืดตัวของลวดอัดแรงที่มีรูปแบบการวางแนวต่างกันพบว่าผลต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จริงและค่าทางทฤษฎีมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ACI 318-19 ดังนั้นรูปแบบการวางลวดอัดแรงที่เหมาะสมช่วยลดการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยืดตัวของลวดอัดแรง เพื่อให้โครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรงมีประสิทธิภาพการใช้งานในระยะยาวได้

สำคัญ: พื้นคอนกรีตอัดแรงดึงที่หลัง การสูญเสียแรงเสียดทาน ลวดอัดแรง การยืดตัว

Abstract

Friction losses due to prestressing strand elongation are a significant concern in prestressed concrete flooring systems, especially in large-scale or high-rise buildings that utilize post-tensioned concrete systems. The losses of friction may result from different arrangements of prestressing strands, therefore affecting the long-term performance and safety of building structures. This research study aims to examine the impact of friction losses caused by elongations of prestressing strands arranged in different arrangements. Compare the different values between calculated theoretical values with actual reading values at the project site, and compare these different values with the values noted in the ACI 318–19 requirements for building work by selecting a large building construction project that utilizes post-tensioned concrete flooring systems, with 17 different alignments of prestressing strands. Each alignment of prestressing tendons will calculate friction losses due to the elongation of prestressing strands, following the guidelines of the ACI 423.10R-16 standard. Compare friction losses and prestressing strand elongations from values calculated theoretically and actual reading values measured on-site. The research findings demonstrate that arrangements of prestressing strands with horizontal deviations result in losses of friction due to the elongation of the prestressing strands, which are greater than in strand arrangements without deviations. The arrangements of long prestressing strands will have higher friction losses due to the elongations of the prestressing strands compared to arrangements with shorter prestressing strands. The elongation values of prestressing strands in different strand layouts indicate that differences between actual readings and theoretical values are lower than values specified in ACI 318-19 standard. Consequently, the proper configuration of prestressing strands will reduce friction losses resulting from the elongation of prestressing strands for prestressed concrete floor structures to be effective for long-term performance.

Keywords: post-tensioned concrete slabs, friction losses, prestressing strands, elongation

1. บทนำ

ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงเป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างที่ได้รับความนิยมมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Charalambous, A., et al., 2002) ในการก่อสร้างอาคารจะเป็นระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงดิ่งที่หลัง (post-tensioned building structures) โดยเฉพาะงานอาคารขนาดใหญ่พิเศษหรืออาคารสูงทั่วไป เนื่องจากการก่อสร้างระบบนี้มีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบดั้งเดิม ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงมีการถ่ายแรงดิ่งของลวดอัดแรงหลังจากพื้นคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ซึ่งส่วนมากจะเกิดการสูญเสียแรงเสียดทานตามแนวโค้งโปรไฟล์ในแนวตั้งและแนวราบของลวดอัดแรง การประเมินการสูญเสียแรงเสียดทานในลวดเหล็กอัดแรงสามารถทำได้โดยการวัดการยืดตัวของลวดอัดแรง การสูญเสียแรงเสียดทานตามแนวลวดอัดแรงสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรอย่างง่ายในทางปฏิบัติที่แนะนำโดยมาตรฐาน ACI 318-19 (2019) โดยใช้ค่าการยืดตัวของลวดอัดแรงที่ถูกต้องเพื่อคำนวณแรงที่เกิดในลวดอัดแรง เพื่อให้มั่นใจว่าแรงที่คำนวณและออกแบบได้ถูกต้อง การยืดตัวของลวดอัดแรงที่วัดได้ที่จริงในงานก่อสร้างต้องใกล้เคียงกับการยืดตัวที่คำนวณได้จากการการคำนวณและออกแบบตามทฤษฎี โดยตามมาตรฐาน ACI 318-19 (2019) ระบุให้มีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 7 สำหรับระบบคอนกรีตอัดแรงดิ่งที่หลัง (post-tensioned construction)

การศึกษาและวิจัยที่ผ่านมา พบว่ารูปแบบของการวางลวดอัดแรงที่แตกต่างกันมีผลต่อการสูญเสียแรงเสียดทานในลวดอัดแรง (Eurviriyankul & Askes, 2011) การจัดวางลวดอัดแรงก็มีผลต่อการกระจายแรงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรงที่หลังและการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรง (Schokker, et al., 2002 ละ Török, et al., 2018) Hayek และ Kang (2017) ศึกษาค่าการคลาดเคลื่อนของการยืดตัวของเส้นลวดอัดแรงแบบ single stand และลวดอัดแรงแบบ tendons ในอาคารระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงดิ่งที่หลัง ผลที่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนการยืดตัวของ single stand ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว มีค่าแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวัดการยืดของลวดอัดแรงจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ Yuan, et al. (2020) ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการทดสอบภาคสนาม เพื่อประเมินค่าการสูญเสียแรงเสียดทานและการยืดตัวของลวดอัดแรง สรุปได้ว่าปัจจัยดังกล่าวสำคัญและมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง และมีการศึกษาประเมินการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงและการยืดตัวของลวดอัดแรงสูงในระบบพื้นไร้คาน (Panyakapo. 2023) ผลของการการยืดตัวของลวดอัดแรงที่คำนวณและวัดได้จริงในหน้างานก่อสร้างมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนแนววางลวดอัดแรงที่ต่างจากแบบก่อสร้างจริง การวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการศึกษาผลกระทบการสูญเสียแรงเสียดทาน เนื่องจากการวิจัยศึกษาเรื่องนี้ในประเทศไทยยังไม่ปรากฏว่ามีข้อมูลการวิจัยด้านนี้หรือยังมีการวิจัยด้านนี้ไม่เพียงพอหรือครอบคลุมมากพอ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเลือกการศึกษผลกระทบการสูญเสียแรงเสียดทานกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้รูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกัน เช่น รูปแบบการวางเส้นลวดอัดแรง ความยาวลวดอัดแรง ตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์ของลวดอัดแรง และการตรวจสอบการยืดตัวของลวดอัดแรงจากค่าดิ่งจริงเปรียบเทียบกับค่าการยืดตัวที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ACI 318-19 (2019) จะช่วยให้เข้าใจผลที่เกิดขึ้นและสามารถนำไปเป็นแนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งที่หลังให้มีประสิทธิภาพหรือเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงในระยะยาวได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยืดตัวของลวดอัดแรงที่มีรูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกัน โดยเปรียบเทียบค่าที่คำนวณทางทฤษฎีกับค่าที่อ่านได้จริงหน้างาน

2.2 เพื่อศึกษาค่าการยืดตัวของลวดอัดแรงที่มีรูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกันต่อค่าผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและค่าที่ได้จากการอ่านจริงจากหน้างาน โดยเปรียบเทียบกับค่าที่มาตรฐาน ACI 318-19 (2019) กำหนดไว้สำหรับงานอาคาร

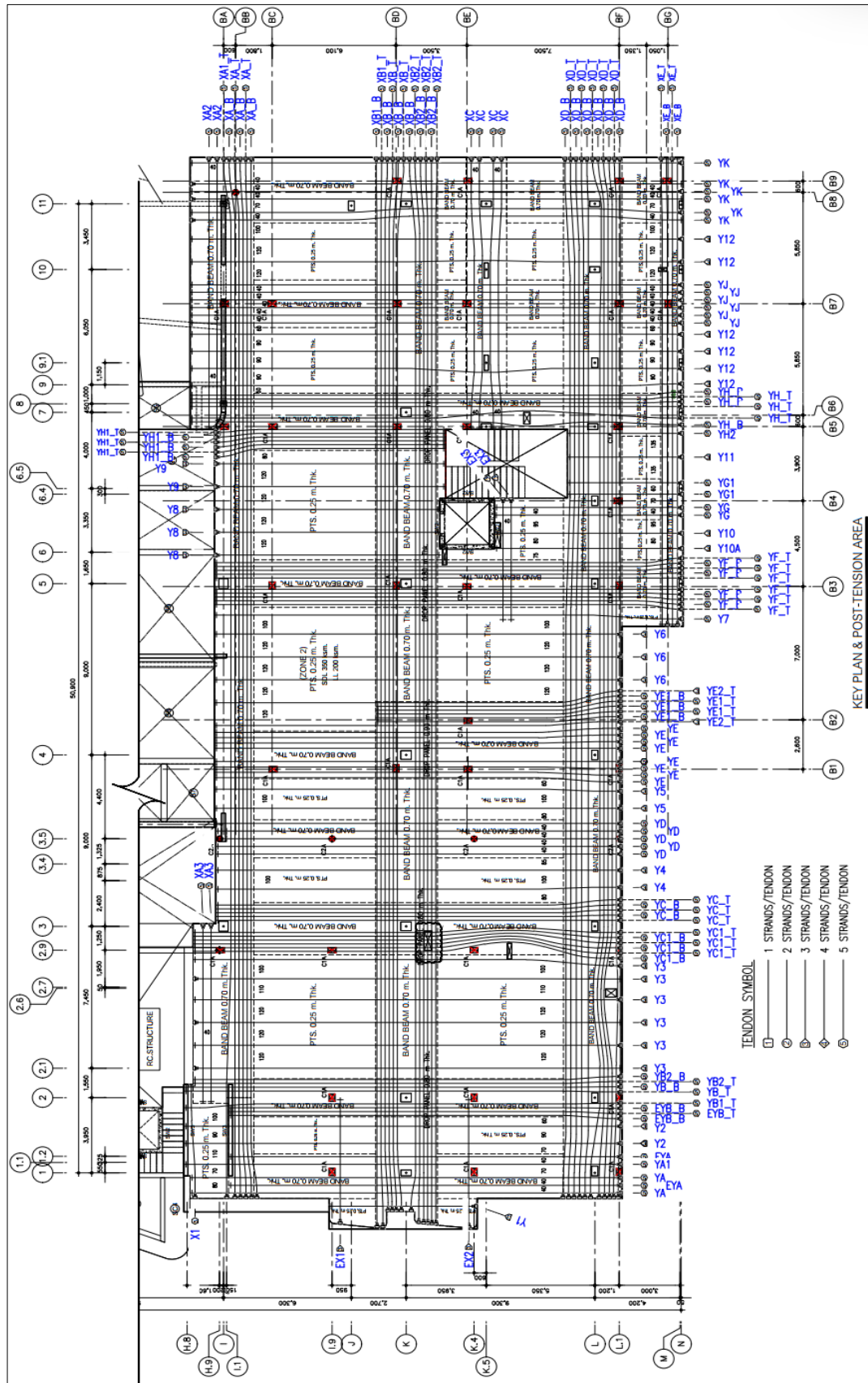
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเลือกรูปแบบการวางเส้นลวดอัดแรงและคุณสมบัติของลวดอัดแรงที่ใช้ในการศึกษา

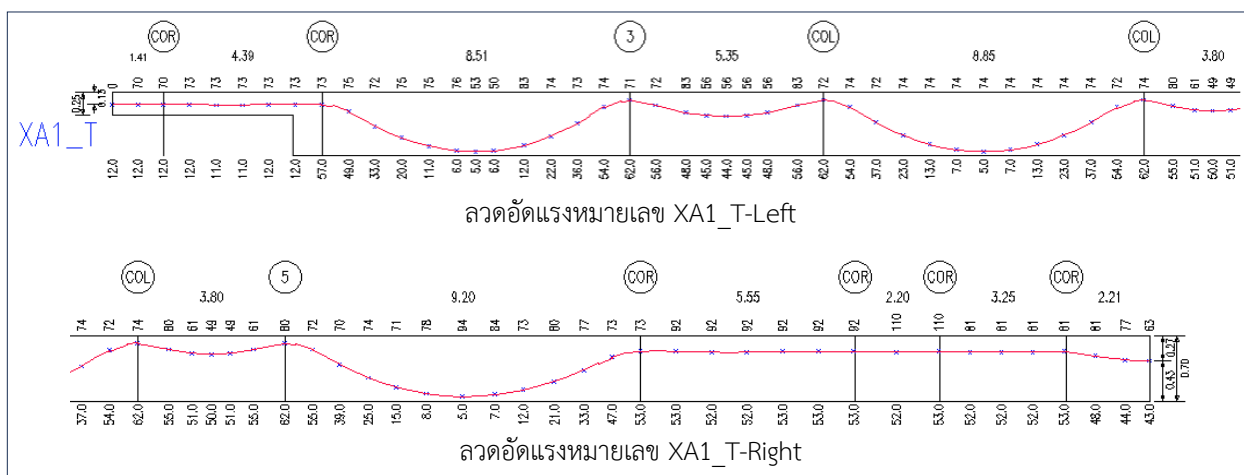
งานวิจัยนี้จะศึกษาโดยใช้กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่แห่งหนึ่งที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงที่หลัง (post-tension concrete slabs) โดยมีแบบแปลนการจัดวางรูปแบบลวดอัดแรงต่างๆ ซึ่งแนว band beam ในโครงการนี้จะมีทั้งในแนวแกน X และแกน Y ดังภาพที่ 1 จากแบบแปลนนี้เลือกรูปแบบการวางเส้นลวดอัดแรงภาคตัด ตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรง จำนวนต่างกัน 17 รูปแบบ มีรายละเอียดแต่ละรูปแบบดังภาพที่ 2-18 เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบและคำนวณการสูญเสียแรงเสียดทานที่เกิดจากการยืดตัวของลวดอัดแรงในพื้นที่คอนกรีตอัดแรง ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของลวดอัดแรงที่ใช้ในการศึกษา โดยลวดเหล็กอัดแรงใช้ชนิด ASTM416 Grade 270 ลวดเกลียวคลายแรงดึงต่ำ 7 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มม. มีกำลังรับแรงดึงประลัยเท่ากับ 1,860 เมกกะปาสกาล โมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 195,000 เมกกะปาสกาล ท่อร้อยเป็นท่อโลหะเคลือบสังกะสี มีสัมประสิทธิ์แรงเสียด, μ เท่ากับ 0.20/เรเดียน สัมประสิทธิ์ความคดโค้ง, k เท่ากับ 0.0035/ม. ส่วนกำลังอัดคอนกรีตประลัยที่ใช้เป็นรูปทรงกระบอกเท่ากับ 31.45 เมกกะปาสกาล หรือ 320 กก./ซม.² สำหรับรายละเอียดของแต่ละรูปแบบการวางลวดอัดแรง 17 รูปแบบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งระบุการกำหนดสัญลักษณ์กำกับแนวลวดอัดแรง ความยาวของลวดอัดแรง และตำแหน่งสมออยู่เหนือหรือต่ำกว่าจุดศูนย์กลางหน้าตัดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของลวดอัดแรงที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ตามมาตรฐาน ASTM416 Grade 270

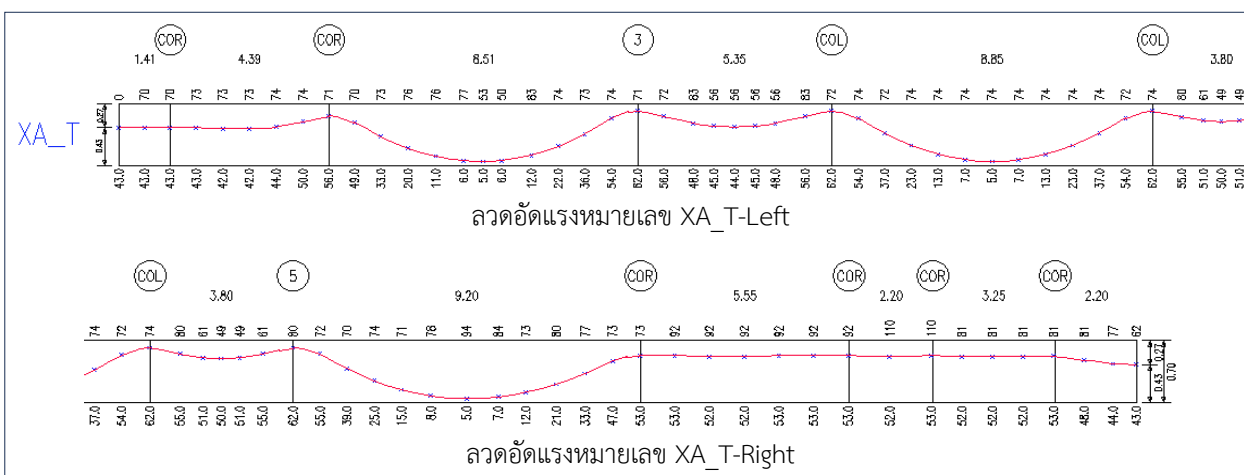
รายการ	คุณสมบัติ
ระบบอัดแรงในพื้นที่คอนกรีตอัดแรง	Bonded
ชนิดของ PC strand	Low relaxation 7- wire strand
โมดูลัสยืดหยุ่น, เมกกะปาสกาล	195,000
เส้นผ่านศูนย์กลางลวดอัดแรง, มม. ²	12.70
กำลังแรงดึงที่จุดคาน, เมกกะปาสกาล	1,675
กำลังรับแรงดึงประลัย, เมกกะปาสกาล	1,860
สัมประสิทธิ์ความคดโค้ง, k (/ม.)	0.0035
สัมประสิทธิ์แรงเสียดของท่อร้อยเป็นท่อโลหะเคลือบสังกะสี, μ (/เรเดียน)	0.20



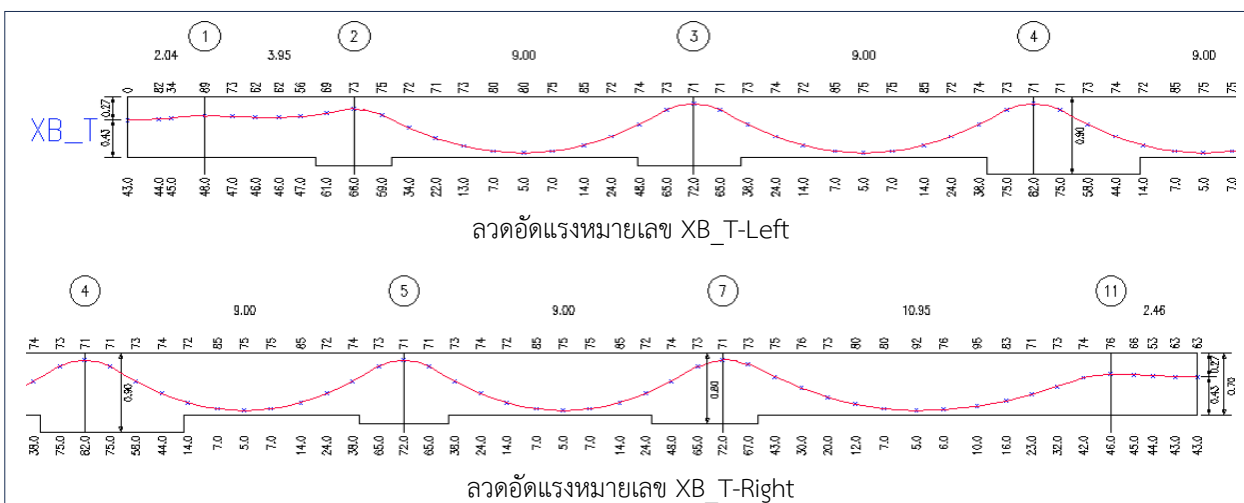
ภาพที่ 1 แผนการจัดวางรูปแบบลวดอัดแรงของโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่



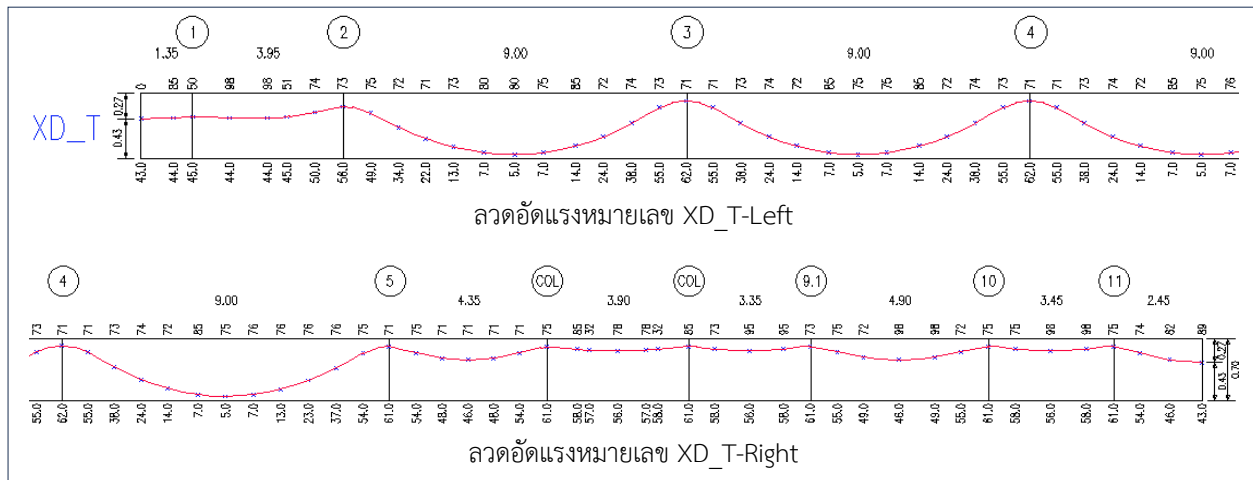
ภาพที่ 2 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XA1_T



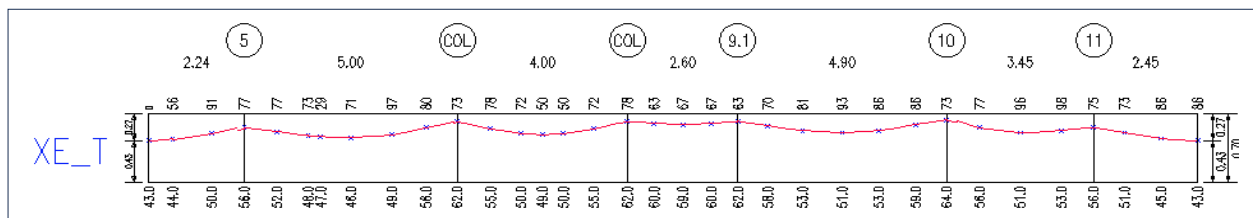
ภาพที่ 3 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XA_T



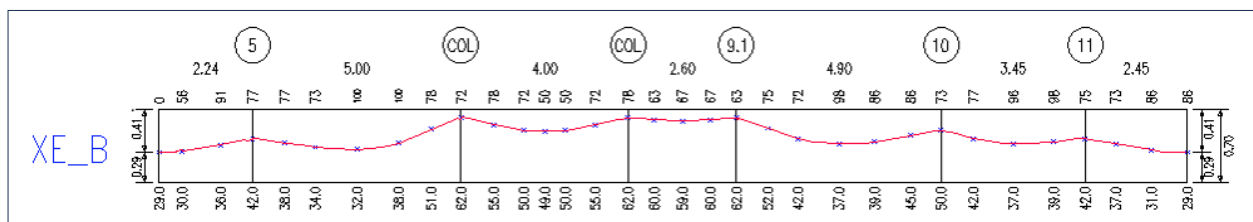
ภาพที่ 4 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XB_T



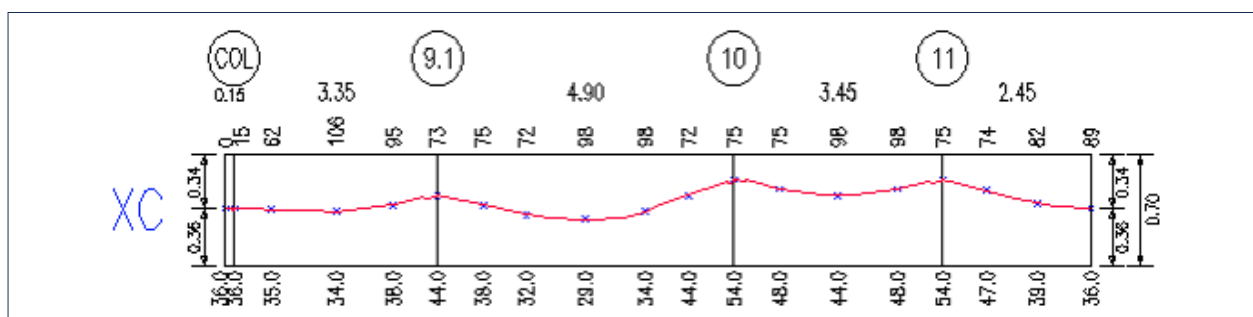
ภาพที่ 5 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XD_T



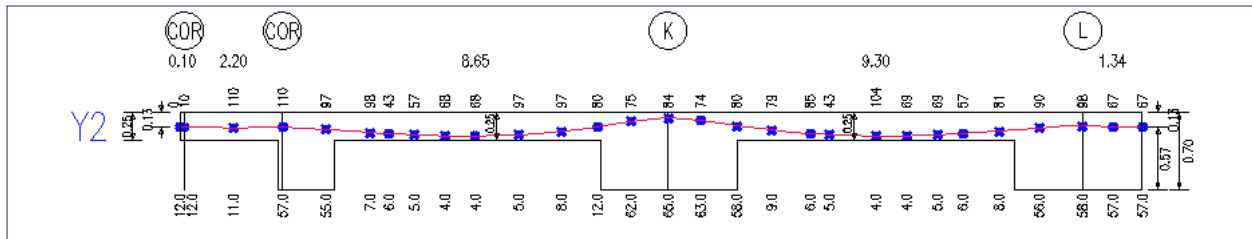
ภาพที่ 6 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XE_T



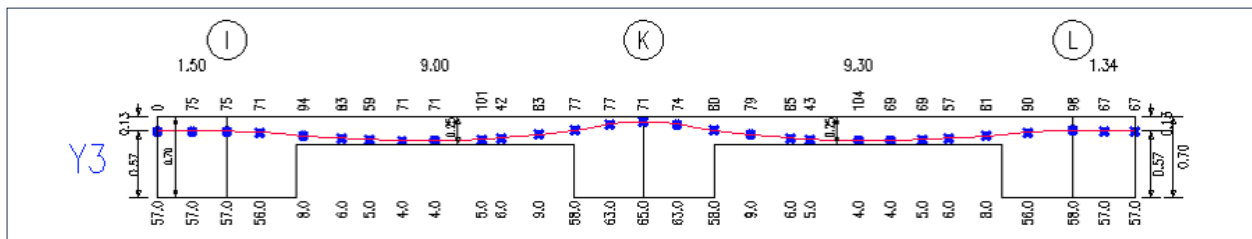
ภาพที่ 7 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XE_B



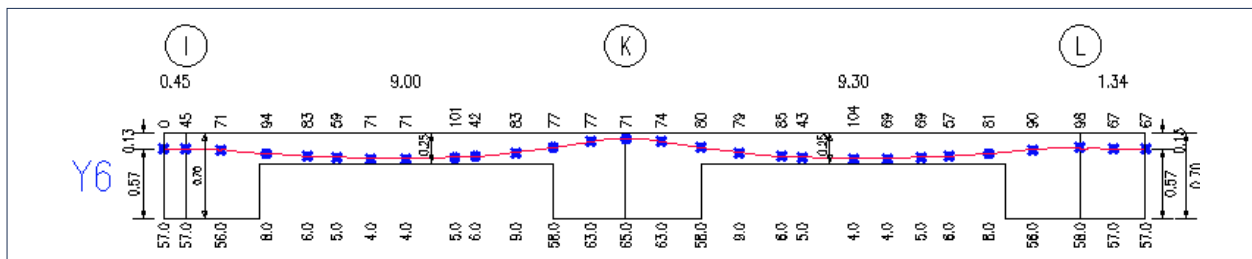
ภาพที่ 8 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XC



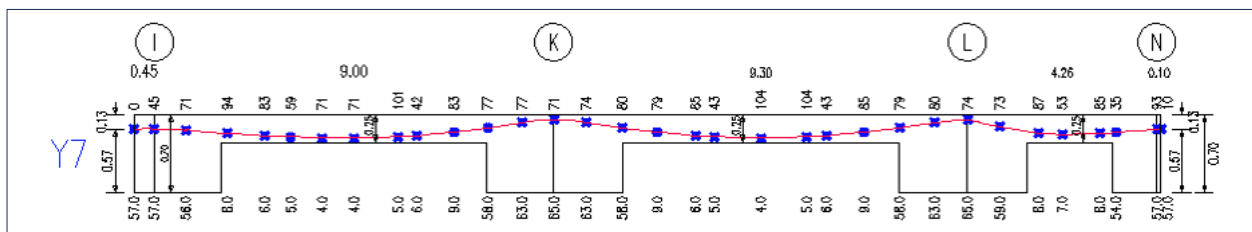
ภาพที่ 9 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข Y2



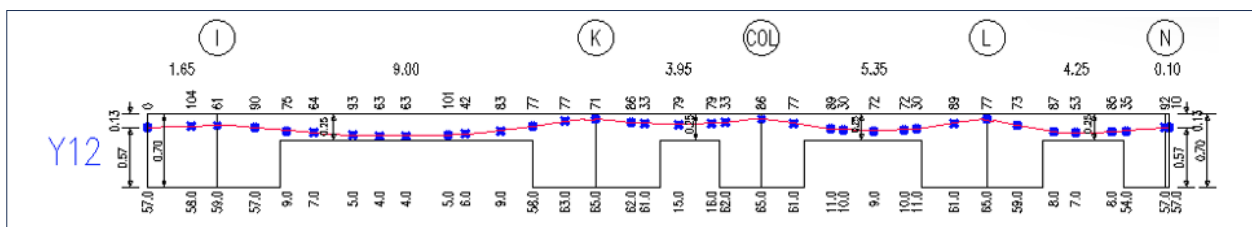
ภาพที่ 10 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข Y3



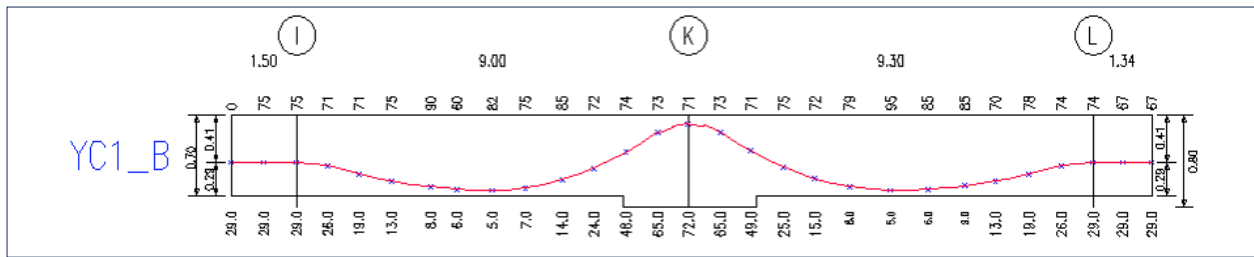
ภาพที่ 11 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข Y6



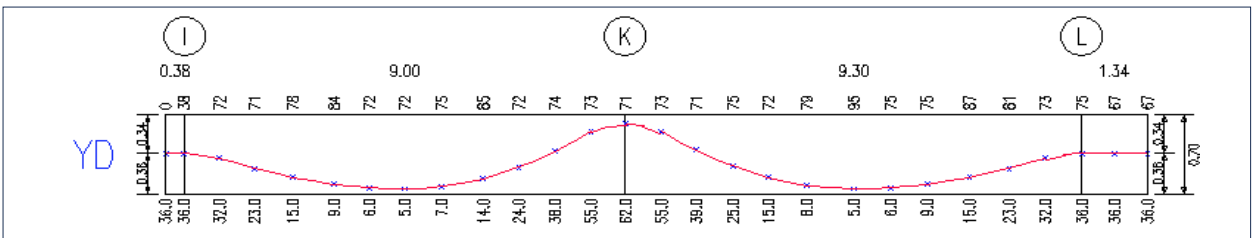
ภาพที่ 12 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข Y7



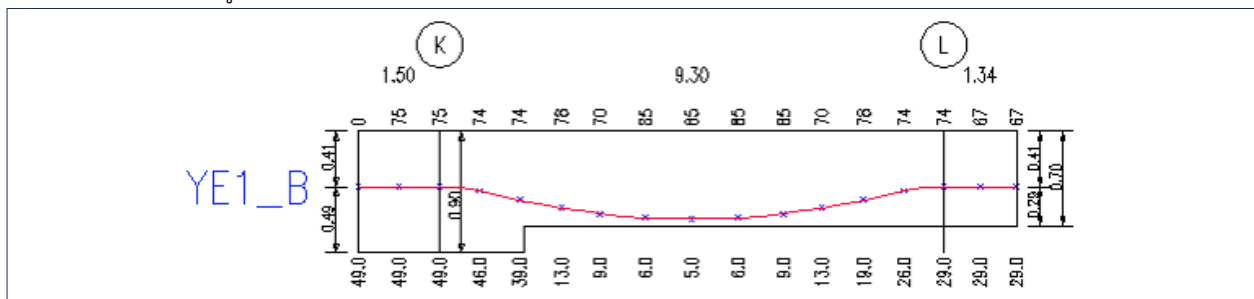
ภาพที่ 13 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข Y12



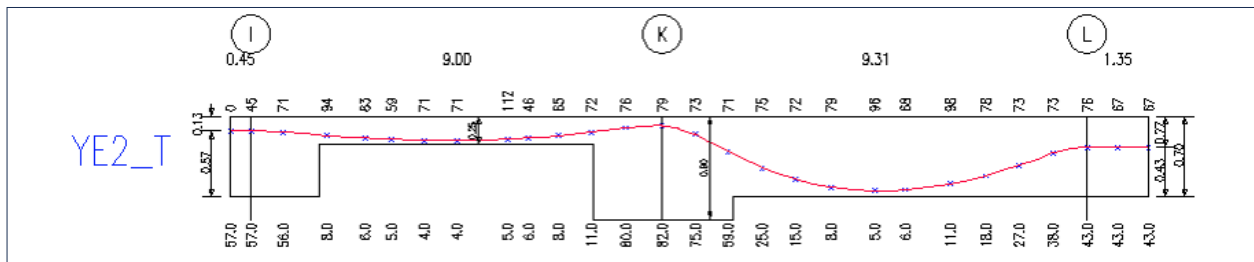
ภาพที่ 14 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YC1_B



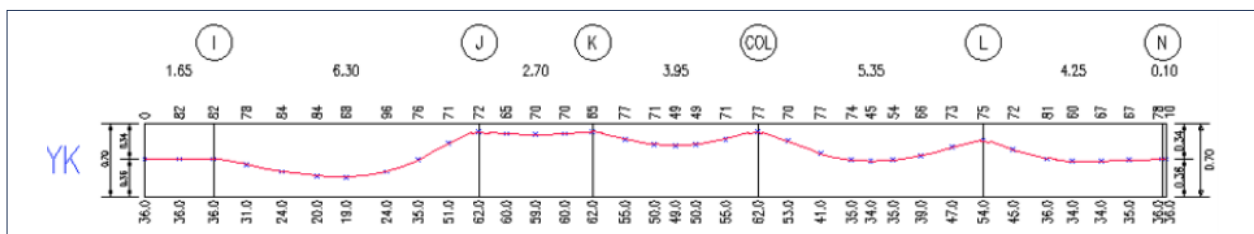
ภาพที่ 15 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YD



ภาพที่ 16 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YE1_B



ภาพที่ 17 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YE2_T



ภาพที่ 18 รูปแบบภาคตัดของการวางตำแหน่งระดับแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YK

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์กำกับแนวหลอดอัดแรง ความยาวของหลอดอัดแรง และตำแหน่งสมออยู่เหนือหรือต่ำกว่าจุดศูนย์กลางหน้าตัด

รูปแบบการวาง หลอดอัดแรงที่	สัญลักษณ์กำกับ แนวหลอดอัดแรง	ความยาวหลอดอัดแรง (ม.)	ตำแหน่งสมออยู่เหนือหรือต่ำกว่า จุดศูนย์กลางหน้าตัด (มม.)
1	XA1_T	55.95	บน
2	XA_T	55.90	บน
3	XB_T	56.75	บน
4	XD_T	56.05	บน
5	XE_T	25.15	บน
6	XE_B	25.15	ล่าง
7	XC	14.80	-
8	Y2	22.05	-
9	Y3	21.60	-
10	Y6	20.55	-
11	Y7	23.60	-
12	Y12	24.80	-
13	YC1_B	21.75	ล่าง
14	YD	20.60	-
15	YE1_B	12.65	ล่าง
16	YE2_T	20.70	บน
17	YK	24.85	-

3.2 การคำนวณสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยึดตัวของหลอดอัดแรง

การสูญเสียแรงเสียดทานในหลอดอัดแรงเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างหลอดอัดแรงกับท่อร้อยหลอดอัดแรงตาม ACI 423.10R-16 (2016) ดังสมการที่ 1 โดยค่า P_x เป็นแรงดึงที่เกิดขึ้นในหลอดอัดแรงที่ระยะ x จากปลายสมอ (Anchorage) P_j เป็นแรงดึงที่ดึงหลอดอัดแรงด้วย hydraulic Jack, k เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความคดโค้ง หย่อนของเส้นหลอดอัดแรง μ คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างท่อร้อยหลอดอัดแรงกับหลอดอัดแรง และ α คือผลรวมของการเปลี่ยนแปลงของมุมของหลอดอัดแรงจากปลายสมอยึดจนถึงตำแหน่งที่พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งในงานศึกษาวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม ADAPT-PT ในการคำนวณและวิเคราะห์

$$P_x = P_j e^{-(kx + \mu\alpha)} \quad (1)$$

การยึดตัวของหลอดอัดแรงสามารถคำนวณได้ตาม ACI 423.10R-16 (2016) ดังสมการที่ 2 ซึ่งค่า P_x คือแรงดึงหลอดอัดแรงที่ระยะห่าง x จากจุดที่ปลายดึงแรง L คือความยาวหลอดอัดแรง A_{ps} คือพื้นที่หน้าตัดของหลอดอัดแรง E_{ps} คือโมดูลัสความยืดหยุ่นของหลอดอัดแรงมีค่าประมาณ 195,000 MPa และ Δ_A คือค่าการเคลื่อนตัวเข้าที่ของสมอที่ปลายดึงแรงซึ่งสามารถวัดค่าได้จากการวัดโดยตรงที่ปลายดึงแรง ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งผลของการเคลื่อนตัวเข้าที่ของสมอที่ปลายดึงแรงมีผลต่อค่าการสูญเสียแรงเสียดทานในหลอดอัดแรงด้วย Bondy, K.B. (2012)

$$\Delta = \int_0^L \frac{P_x}{A_{ps} E_{ps}} dx - \Delta_A \quad (2)$$

ตารางที่ 3 ค่าการเคลื่อนตัวเข้าที่ของสมอและการยึดตัวของลวดอัดแรงตามรูปแบบการวางลวดอัดแรงที่คำนวณได้จากทฤษฎีด้วย ADAPT-PT ที่ในการศึกษา

รูปแบบการวาง ลวดอัดแรงที่	สัญลักษณ์กำกับ แนวลวดอัดแรง	ความยาวลวดอัดแรง (strands) (ม.)	ค่าการเคลื่อนตัวเข้าที่ของสมอ (มม.)	วิธีการดึง ลวดอัดแรง
1	XA1_T	55.95	4	แบบดึงสองด้าน
2	XA_T	255.9	4	แบบดึงสองด้าน
3	XB_T	56.75	4	แบบดึงสองด้าน
4	XD_T	56.05	4	แบบดึงสองด้าน
5	XE_T	25.15	2	แบบดึงด้านเดียว
6	XE_B	25.15	2	แบบดึงด้านเดียว
7	XC	14.80	2	แบบดึงด้านเดียว
8	Y2	22.05	2	แบบดึงด้านเดียว
9	Y3	21.60	2	แบบดึงด้านเดียว
10	Y6	20.55	2	แบบดึงด้านเดียว
11	Y7	23.60	2	แบบดึงด้านเดียว
12	Y12	24.80	2	แบบดึงด้านเดียว
13	YC1_B	21.75	2	แบบดึงด้านเดียว
14	YD	20.60	2	แบบดึงด้านเดียว
15	YE1_B	12.65	2	แบบดึงด้านเดียว
16	YE2_T	20.70	2	แบบดึงด้านเดียว
17	YK	24.85	2	แบบดึงด้านเดียว

ในทางปฏิบัติการดึงลวดอัดแรงมีสองลักษณะดังนี้ กรณีความยาวลวดอัดแรงมีความยาวไม่เกิน 35 ม. จะใช้วิธีดึงลวดอัดแรงที่ปลายด้านเดียว ส่วนกรณีลวดอัดแรงมีความยาวมากกว่า 35 ม. ใช้วิธีดึงลวดอัดแรงที่ปลายทั้งสองด้าน โดยทั่วไปค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงจะอ่านค่าจากการดึงด้วยแรงที่ร้อยละ 75 ของค่ากำลังรับแรงดึงประลัยของลวดอัดแรง กรณีที่ค่าการยึดไม่เป็นไปตามค่าการยึดที่คำนวณได้จากทฤษฎี จะทำการดึงอีกครั้งที่ร้อยละ 80 ของค่ากำลังรับแรงดึงประลัยของลวดอัดแรงเพื่อให้ได้ค่าตามที่คำนวณตามมาตรฐาน ACI 318-19 (2019) สำหรับการออกแบบอาคารยอมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงตามค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีและค่าที่อ่านได้จริงในการก่อสร้าง ยอมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนได้ตาม ACI 318-19 (2019) ไม่เกินร้อยละ 7

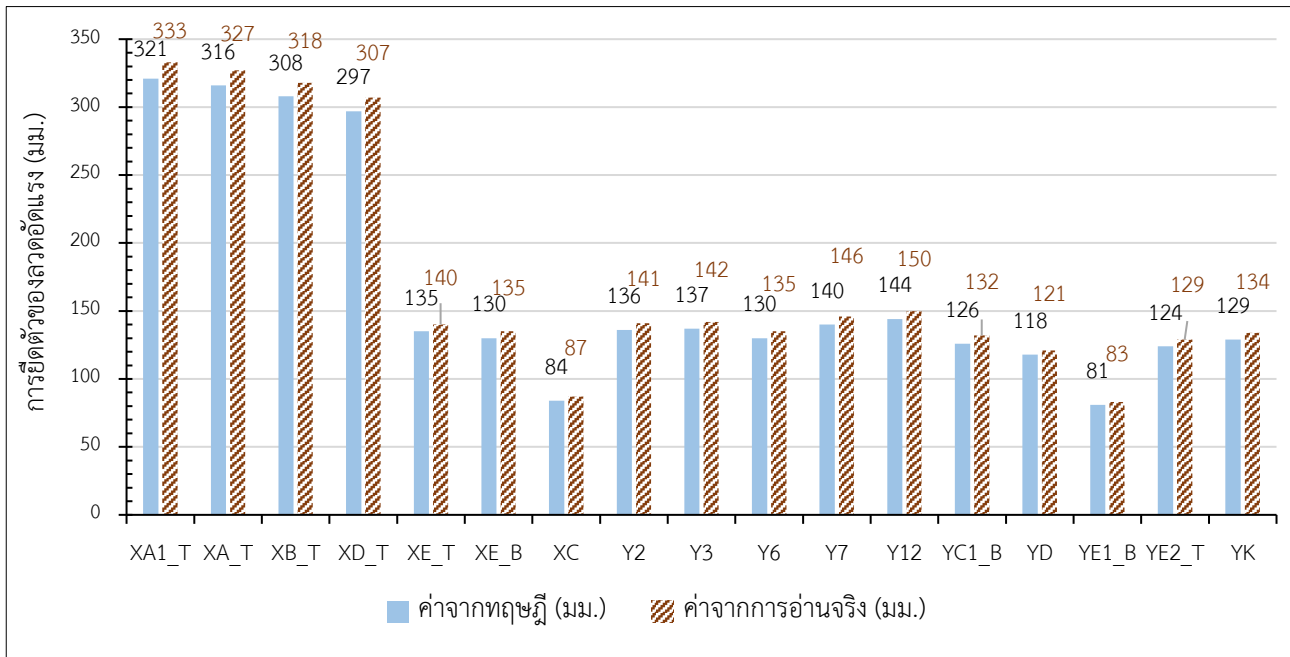
4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยที่แสดงในตารางที่ 4 พบว่าในลวดอัดแรงรูปแบบ XA1_T มีค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีเท่ากับ 321 มม. ค่าการยึดตัวจากการอ่านจริงเท่ากับ 333 มม. ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎีเท่ากับ 111.80 กิโลนิวตัน และค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากการอ่านจริงเท่ากับ 115.93 กิโลนิวตัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าของรูปแบบการวางลวดอัดแรงอื่นๆ เนื่องจาก

ตารางที่ 4 ผลค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎี ค่าการยึดตัวจากการอ่านได้จริง ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎี และค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากการอ่านได้จริง

รูปแบบการวางลวดอัดแรงที่	สัญลักษณ์กำกับแนวลวดอัดแรง	ความยาวลวดอัดแรง (ม.)	ค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงจากทฤษฎี (มม.)	ค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงจากการอ่านจริง (มม.)	ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎี (กิโลนิวตัน)	ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากการอ่านจริง (กิโลนิวตัน)
1	XA1_T	55.95	321	333	111.80	115.93
2	XA_T	55.90	316	327	110.18	113.96
3	XB_T	56.75	308	318	105.81	109.20
4	XD_T	56.05	297	307	103.36	106.79
5	XE_T	25.15	135	140	104.84	108.67
6	XE_B	25.15	130	135	101.02	104.84
7	XC	14.80	84	87	111.84	115.74
8	Y2	22.05	136	141	120.45	124.82
9	Y3	21.60	137	142	123.85	128.31
10	Y6	20.55	130	135	123.63	128.31
11	Y7	23.60	140	146	115.81	120.70
12	Y12	24.80	144	150	113.31	117.96
13	YC1_B	21.75	126	132	113.27	118.58
14	YD	20.60	118	121	112.12	114.92
15	YE1_B	12.65	81	83	126.28	129.32
16	YE2_T	20.70	124	129	117.15	121.80
17	YK	24.85	129	134	101.46	105.33

เส้นแนวลวดอัดแรงรูปแบบมีลักษณะปลายแรงดึงทั้งสองด้านมีการวางแนวลวดอัดแรงเบี่ยงเบนแนวราบมากเพื่อหลบเสา ด้านดึงแรงที่ปลาย grid line 1 เป็น span ช่วงปลายมีระยะ 1.45 ม. และความหนาพื้น 0.25 ม. อีกด้านดึงปลาย grid line 11 มี span ช่วงปลายระยะ 2.20 ม. และความหนาของ band beam หนา 0.70 ม. แรงดึงที่ปลายด้านที่มีความหนาน้อยกว่าจะมี stiffness น้อยกว่า ทำให้ต้องใช้แรงดึงที่มากกว่าเพื่อให้เส้นลวดอัดแรงดึงก่อนเกิดการยึดตัวของลวดอัดแรง ส่วนแนวลวดอัดแรงรูปแบบ XA_T, XB_T และ XD_T มีความยาวลวดอัดแรงต่างกันเพียง 0.05-0.80 ม. แต่ลวดอัดแรงทั้งสามรูปแบบมี span ช่วงปลายทั้งสองด้านเป็น band beam หนา 0.70 ม. ค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีอยู่ในช่วง 297-316 มม. และจากการอ่านจริงมีค่าในช่วง 307-327 มม. ซึ่งมีค่าน้อยกว่าลวดอัดแรงรูปแบบ XA1_T อย่างมีนัยสำคัญ ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎีและจากการอ่านจริงก็น้อยเช่นกัน เนื่องจากความสอดคล้องกันของสมการ 1 และ 2 ที่ใช้ในการคำนวณ

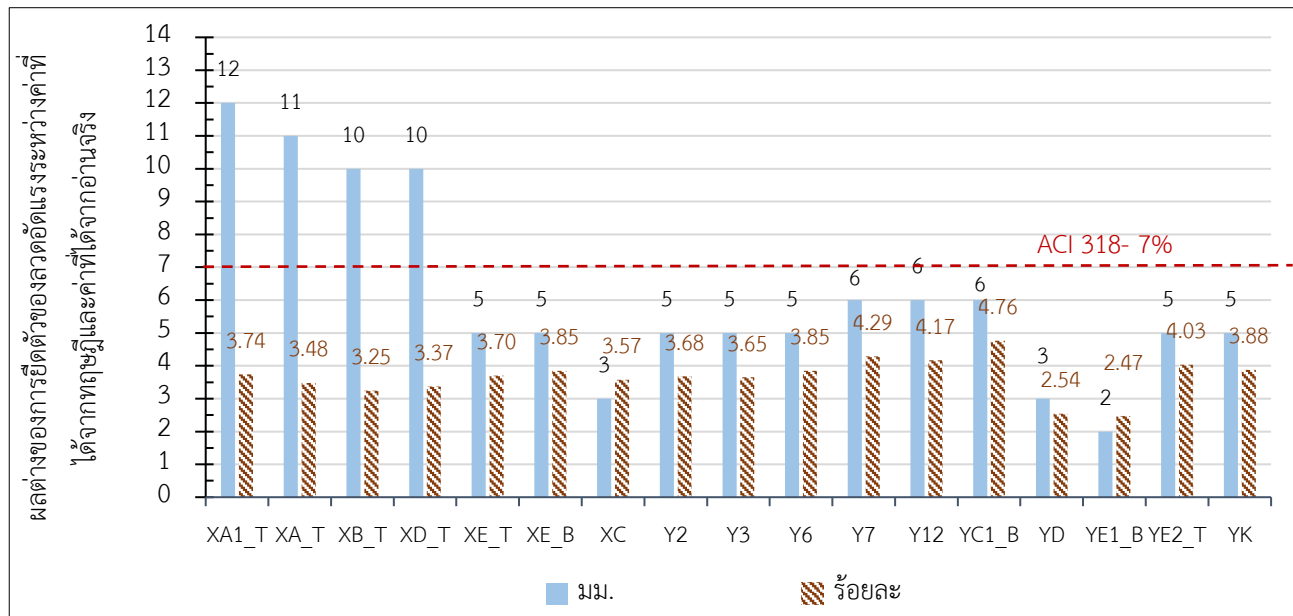


ภาพที่ 19 ผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากการอ่านจริงในหน่วย มม. และร้อยละ

ส่วนลวดอัดแรงรูปแบบ YE1_B เป็นลวดอัดแรงที่สั้นที่สุดในการศึกษามีความยาวเท่ากับ 12.65 ม. ผลการศึกษาพบว่าค่าการยืตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีเท่ากับ 81 มม. และค่าการยืตัวจากการอ่านจริงเท่ากับ 83 มม. ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎีเท่ากับ 126.28 กิโลนิวตัน และค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากการอ่านจริงก็เท่ากับ 129.32 กิโลนิวตัน ซึ่งน้อยกว่ารูปแบบลวดอัดแรงอื่นที่มีความยาวมากกว่า ดังนั้นความยาวลวดอัดแรงมีผลต่อค่าการยืตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีและจากการอ่านจริงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Schokker, et al., (2002) และ Török, et al., (2018) จากภาพที่ 19 พบว่าค่าการยืตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากการอ่านจริงสูงกว่าค่าการยืตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีทุกรูปแบบการวางลวดอัดแรง ซึ่งลวดอัดแรงรูปแบบ XA_T, XB_T และ XD_T ทั้งสามรูปแบบมี span ช่วงปลาย ทั้งสองด้านมีความหนาเป็น band beam หนา 0.70 ม. ค่าการยืตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากทฤษฎีอยู่ในช่วง 297-316 มม. และจากการอ่านค่าจริงมีค่า ในช่วง 307-327 มม. ซึ่งมีค่าน้อยกว่าลวดอัดแรงรูปแบบ XA1_T อย่างมีนัยสำคัญ ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานจากทฤษฎีและจากการอ่านจริงก็น้อยเช่นกัน เนื่องจากความสอดคล้องกันของสมการ 1 และ 2 ที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากลวดอัดแรงมีการหย่อนตัวก่อนการดึง สาเหตุมาจากลวดอัดแรงถูกติดตั้งในสภาพหย่อนตัวก่อนการดึง ดังลวดอัดแรงรูปแบบ XA1_T ซึ่งมีส่วนช่วงปลายด้านหนึ่งที่เป็นความหนาเป็น band beam และอีกปลายด้านหนึ่งเป็นเป็นความหนาพื้น ซึ่งจะมีค่า stiffness น้อยกว่าช่วงปลายที่เป็นความหนา band beam จึงทำให้เมื่อใช้แรงดึงช่วงแรกเพื่อดึงให้เส้นลวดอัดแรงให้ตึงก่อนที่เส้นลวดอัดแรงจะยืตัวจริงมีผลการยืตัวของลวดอัดแรงมากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการดึงลวดอัดแรงแบบช่วงปลายทั้งสองด้านมีความหนาเป็น band beam

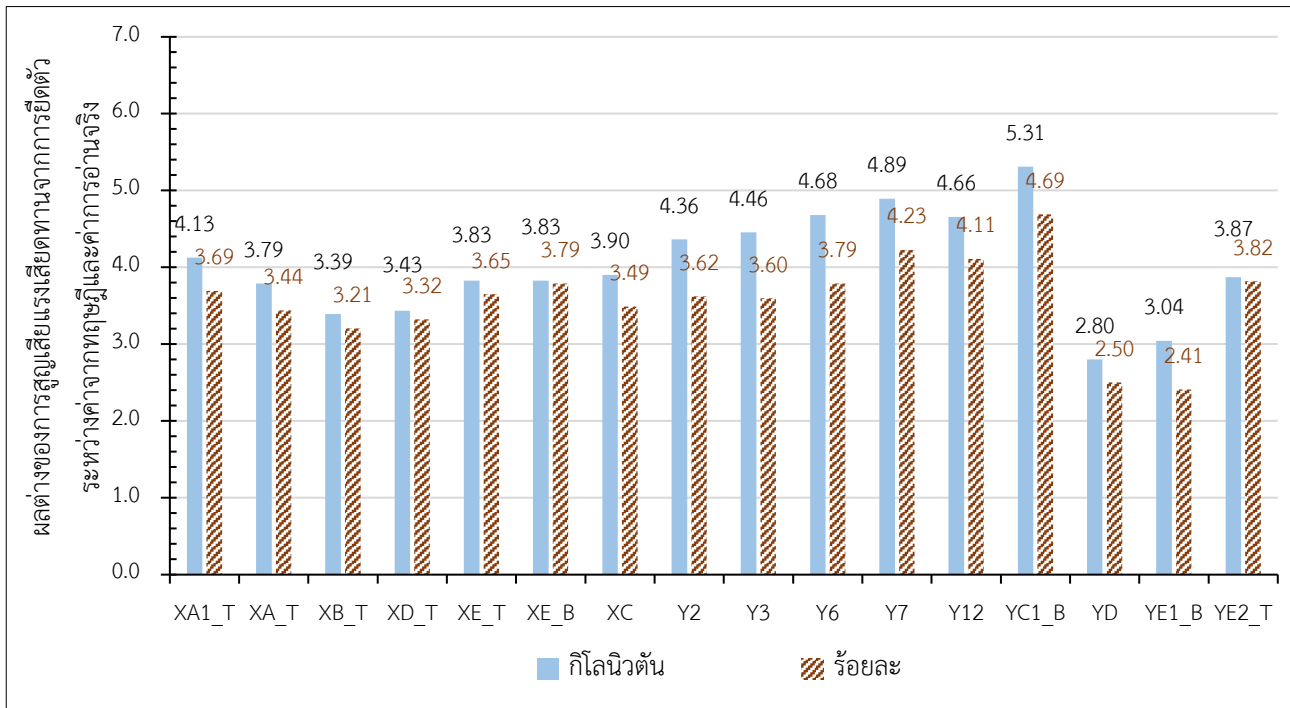
จากภาพที่ 20 แสดงผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงรูปแบบต่างกัน ระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากการอ่านจริงในหน้างาน มีผลที่น่าสนใจดังนี้ ลวดอัดแรงรูปแบบ XC และ YE1_B มีผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากการอ่านจริงในหน่วยร้อยละจะมีค่ามากกว่าหน่วยมิลลิเมตร ส่วนลวดอัดแรงรูปแบบอื่นมีผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากการอ่านจริงในหน่วยมิลลิเมตร มีค่ามากกว่าหน่วยร้อยละ เมื่อพิจารณาจากรูปแบบภาคตัดของการวางแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข XC ดังภาพที่ 8 และรูปแบบภาคตัดของแนวโปรไฟล์และความยาวของลวดอัดแรงหมายเลข YE1_B ดังภาพที่ 16 พบว่าลวดอัดแรงมีความยาวช่วงสั้นระหว่างความยาว 12.65-14.80 ม. ส่วนลวดอัดแรงที่มีรูปแบบการวางลวดอัดแรงยาวกว่านั้น มีค่าผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าจากการอ่านจริงในหน่วยร้อยละมีค่าน้อยกว่าหน่วย มม. และผลต่างของการยืตัวของลวดอัดแรงทุกรูปแบบระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้

จากอ่านจริงในหน่วยร้อยละมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.47-4.76 ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ACI 318-19 (2019) ที่กำหนดในประเภทงานอาคารระบุไว้ไม่เกินร้อยละ 7



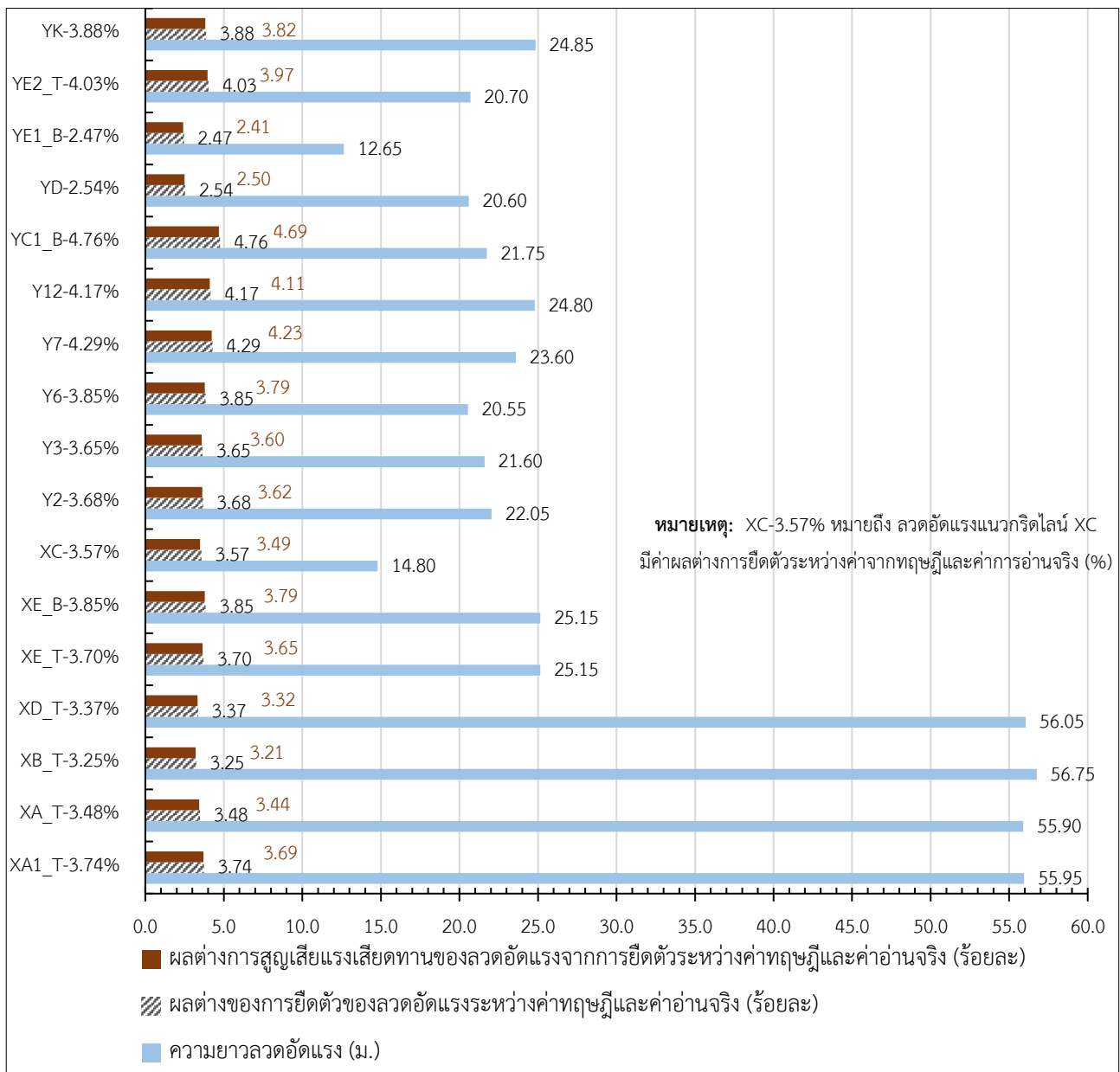
ภาพที่ 20 ผลต่างของการยึดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากอ่านจริงในหน่วยมิลลิเมตรและร้อยละ

ผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและจากการอ่านจริงในหน่วยกิโลนิวตันและมิลลิเมตรของแนวลวดอัดแรงรูปแบบ YC1_B ความยาว 21.75 ม. มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.31 กิโลนิวตัน และ 4.69 มม. ตามลำดับ ดังภาพที่ 21 เมื่อพิจารณาจากแปลนการจัดวางรูปแบบลวดอัดแรงดังภาพที่ 1 พบว่ารูปแบบการวางแนวลวดอัดช่วง grid line K-L ยาว 9.30 ม. มีการเบี่ยงเบนของลวดอัดแรงในแนวราบมากเพื่อหลบเสา ทำให้แรงดึงลวดอัดแรงจะเกิดการแตกแรงในทั้งแนวลวดอัดแรงและแนวตั้งฉาก ส่งผลให้ต้องใช้แรงดึงที่ปลายมากขึ้นเพื่อให้ลวดอัดแรงดึงตลอดเส้นก่อนการยึดตัว ในทางกลับกันผลของแนวลวดอัดแรงรูปแบบ YD ที่มีความยาวสองช่วงที่ 9.00 ม. และ 9.30 ม. ซึ่งเป็นแนว Band Beam หนา 0.7 เมตร และมีการวางแนวลวดโค้งแบบพาราโบลาสมมาตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Schokker, et al., 2002 ความมหนาของแผ่นพื้นที่สม่ำเสมอแรงที่เกิดในลวดอัดแรงจะสม่ำเสมอด้วย มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ดังภาพที่ 15 พบว่าผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานต่ำสุดที่ 2.80 กิโลนิวตัน และ 2.50 มม. เนื่องจากการดึงลวดอัดแรงที่ปลายทำให้แนวลวดดึงได้เร็ว และผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและจากการอ่านจริงในหน่วยกิโลนิวตันและมิลลิเมตรของวิธีการดึงลวดอัดแรงแบบสองด้าน จะมีค่าในช่วงระหว่างค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของวิธีการดึงลวดอัดแรงแบบด้านเดียว



ภาพที่ 21 ผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและค่าที่ได้จากอ่านจริง
ในหน่วยกิโณวัตน์ และร้อยละ

หากแบ่งกลุ่มลวดอัดแรงตามช่วงความยาวเป็นสามกลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งมีความยาวลวดอัดแรงอยู่ในช่วง 55.90-56.75 ม. กลุ่มที่สองมีความยาวลวดอัดแรงอยู่ในช่วง 20.55-25.15 ม. และกลุ่มที่สามมีความยาวลวดอัดแรงอยู่ในช่วง 12.65-14.80 ม. จากภาพที่ 22 แสดงผลของกลุ่มลวดอัดแรงที่มีความยาวช่วงกลุ่มแรก ที่ใช้วิธีการดึงลวดอัดแรงแบบสองด้าน จะมีผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในช่วงค่าร้อยละ 3.32-3.69 และผลต่างของการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในหน่วยร้อยละในช่วงค่าร้อยละ 3.37-3.74 ลวดอัดแรงที่มีความยาวช่วงกลุ่มที่สอง ใช้วิธีการดึงลวดอัดแรงแบบด้านเดียว มีผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในช่วงค่าร้อยละ 2.50-4.69 และผลต่างของการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในหน่วยร้อยละในช่วงค่าร้อยละ 2.54-4.76 และลวดอัดแรงความยาวกลุ่มที่สาม มีผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในช่วงค่าร้อยละ 2.41-3.49 และผลต่างของการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในหน่วยร้อยละในช่วงค่าร้อยละ 2.47-3.57 ซึ่งผลต่างทั้งการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงและผลต่างของการยืดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าอ่านจริงในหน่วยร้อยละ มีค่าไม่เกินร้อยละ 5 รวมทั้งแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของการสูญเสียแรงเสียดทานจะมีผลสอดคล้องไปในทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าการยืดตัวของลวดอัดแรง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ไพบุลย์ ปัญญาคะโป (2564)



ภาพที่ 22 ผลต่างของการสูญเสียแรงเสียดทานจากการยึดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าการอ่านจริง
 ผลต่างของการยึดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าทฤษฎีและค่าการอ่านจริงในหน่วยร้อยละ และความยาวลวดอัดแรง (ม.)

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 การวางแนวลวดอัดแรงรูปแบบต่างกันมีผลต่อค่าการยึดตัวและการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงอย่างมีนัยสำคัญ โดยรูปแบบที่มีการเปียงเบนแนวราบมากจะทำให้ค่าการยึดตัวและการสูญเสียแรงเสียดทานสูงกว่ารูปแบบที่ไม่เปียงเบนในแนวราบ การวางแนวลวดอัดแรงช่วง span ปลายด้านดิ่งที่มีความหนาแน่นอัดแรง stiffness ต่ำกว่า จะต้องใช้แรงดึงมากขึ้นเพื่อให้เส้นลวดตึงก่อนการยึดตัว ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานและค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงที่ได้จากการอ่านค่าจริงส่วนใหญ่สูงกว่าค่าที่ได้จากคำนวณทางทฤษฎีในทุกรูปแบบของการวางลวดอัดแรง ความยาวของลวดอัดแรงส่งผลโดยตรงต่อค่าการยึดตัวและการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรง โดยลวดอัดแรงที่มีความยาวน้อยกว่าจะมีค่าการยึดตัวและการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงที่ต่ำกว่าลวดอัดแรงที่มีความยาวมากกว่า ยกเว้นบางรูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงที่มีการเปียงเบนมาก จะมีผลค่าการยึดตัวและการสูญเสียแรงเสียดทานที่

สูงกว่ารูปแบบการวางลวดอัดแรงที่ไม่มีการเบี่ยงเบน และวิธีการดึงลวดอัดแรงแบบสองด้านไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยึดและการสูญเสียแรงเสียดทานของลวดอัดแรงในการศึกษาวิจัยนี้

5.2 ค่าการยึดตัวของลวดอัดแรงที่มีรูปแบบการวางแนวลวดอัดแรงต่างกัน เช่น ความยาวของลวดอัดแรง การเบี่ยงเบนแนวลวดอัดแรง วิธีการดึงลวดอัดแรง และความหนาของพื้นของช่วง span ปลายดึงแรง มีผลต่างของการยึดตัวของลวดอัดแรงระหว่างค่าที่ได้จากอ่านจริงและค่าจากทฤษฎี โดยมีค่าความต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 7 ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ACI 318-19 (2019) สำหรับงานอาคาร และมีผลให้ค่าความแตกต่างการสูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการยึดตัวของลวดอัดแรงทุกรูปแบบค่าไม่เกินร้อยละ 5 เช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท เอสเอ็นพี โฟส เท็นชั่น จำกัด และบริษัท อนันดา ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) ในการให้ข้อมูลที่ใช้เป็นกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ไพบุลย์ ปัญญาคะโป. (2564). *ค่าการยึดตัวของเหล็กเสริมอัดแรงแบบดึงเหล็กที่หลังของคานสะพานรูปตัวยู*. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. ออนไลน์ ครั้งที่ 16. <http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/7803>
- ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete and Commentary (ACI 318-19)*. American Concrete Institute. https://www.usb.ac.ir/FileStaff/5526_2020-1-25-11-12-7.pdf
- ACI Committee 423. (2016). *Guide to estimating prestress losses (ACI 423.10R-16)*. American Concrete Institute. https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=4231016&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_Units
- Bondy, K. B.. (2012, February). *Short tendon elongations* (Technical Note No. 16). Post-Tensioning Institute. https://www.usb.ac.ir/FileStaff/5526_2020-1-25-11-12-7.pdf
- Charalambous, A., Ashford, P., and Sandie, R. B.. (2002). Post-tensioned concrete floor systems in Australia. *Advances in Building Technology*, 2, 1051-1057. <https://doi.org/10.1016/B978-008044100-9/50132-7>.
- Eurviriyankul, S., and Askes, H. (2011). Tendon layout optimization through configurational forces equilibration in plane stress analysis of prestressed concrete structures. *Computers & Structures*, 89(17-18), 163-1680. <https://doi:10.1016/j.compstruc.2011.04.011>.
- Hayek, C., and Kang, T. H. K. (2017). Elongation tolerance for short tendons in post-tensioned building structures. *ACI Structural Journal*, 221, <https://DOI:10.14359/51689619>
- Panyakapo, P. (2023). Friction loss and elongation of prestressing steel in post-tensioned flat slab. *2023 SPUC National and International Conference*. Sripatum University at Chonburi. <http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/9246>
- Schokker, A.J., Lee, S.C., and Scanlon, A. (2002). Analytical study of the effects of tendon layout on the performance of post-tensioned two-way slab systems. *CSCE 30th Annual Conference*. Montreal https://www.post-tensioning.org/Portals/13/Files/PDFs/Publications/Reprints/2012%20July/Scanlon%20et%20a_reprint.pdf

- Török, I., Puskás, A., and Virág, J. (2018). Effects of different arrangement of tendons in post-tensioned flat slabs. *IASS Annual Symposia*. Boston. https://scholar.google.co.th/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=bc09Uc8AAAAJ&citation_for_view=bc09Uc8AAAAJ:Tyk-4Ss8FVUC
- Yuan, H., Li, Y., Zhou, B., He, S., and Wang, P. (2020). Friction characteristics of post-tensioned tendons of full-scale structures based on-site tests. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2020/5916738>.

การพัฒนาคอนกรีตกึ่งสำเร็จรูป แบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง

Development of Bag-type Semi-precast Concrete for Construction

ปุณณภา เหล็กแก้ว¹, แดน อุตระพงษ์¹, เสาวรส หะสิทธิ์¹, ไชยพันธ์ รัตนโชตินันท์¹, กฤษ คำคุณธรรม¹, จุฬาวลัย นนตะพันธ์²,
กิตติชัย รัตนโชตินันท์², ศรัทธา พลังทรงสถิต¹ และ จรัส รัตนโชตินันท์^{1*}

Punnapha Lekkaew¹, Dan Auttarapong¹, Saowarot Hasita¹, Chaiyanunt Rattanashotinunt¹,
Krit Kumnoontum¹, Jurawun Nontap², Kittichai Rattanachotinunt², Sraththa Palangsongsatith¹
and Jaran Ratanachotinun^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Department of Civil and Construction Management Engineering, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

² นักวิจัยอิสระ

² Independent researcher

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตกึ่งสำเร็จรูปแบบถุงสำหรับการก่อสร้าง โดยวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมตามค่ารับกำลังอัดที่ต้องการ วัสดุผสมคือ หินเบอร์ 1 ซีเมนต์และทรายหยาบ โดยไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต ทำการทดสอบการรับกำลังอัดและการยุบตัว ตัวอย่างคอนกรีตแบบลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ลูกบาศก์เซนติเมตร และการบ่มน้ำระยะเวลา 7, 14, และ 28 วัน ผลทดสอบพบว่า คอนกรีตแบบถุงมีแรงอัดสูงสุดที่ 28 วัน ที่ 206.9, 241 และ 251 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับผู้มีงบประมาณจำกัด และไม่ต้องหาสัดส่วนส่วนผสมเองใช้งานง่ายสะดวก

คำสำคัญ: คอนกรีตกึ่งสำเร็จรูปแบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง กำลังอัด การยุบตัว

Abstract

This research studies the development of bagged semi-precast concrete for construction by analyzing the appropriate proportions based on the desired compressive strength. The mixture consists of grade 1 stone, cement and coarse sand without the concrete admixtures. The compressive strength and slump test were conducted on concrete samples in cubic form measuring 15x15x15 cubic centimeter, with curing periods of 7, 14, and 28 days. The results showed that the bagged concrete achieved a maximum compressive strength at 28 days of 206.9, 241, and 251 kilogram / square centimeter. The bagged semi-precast concrete for construction is convenient to user that on a budget and not need to find the proportions of ingredient.

Keywords: bagged semi-precast concrete for construction, compressive strength, slump test

* Corresponding author: plamanee28@gmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้สถานที่ก่อสร้างนิยมใช้คอนกรีตผสมเสร็จแทนการผสมคอนกรีตเองตามไซต์งาน เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และสามารถควบคุมคุณภาพของส่วนผสมได้ ทำให้ได้คอนกรีตมีคุณภาพตามกำหนด ทั้งยังไม่ต้องเสียพื้นที่ในการเก็บวัสดุสำหรับผสมคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน) อีกด้วย ทั้งยังไม่จำเป็นต้องมีแหล่งน้ำที่สะอาดเพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตเป็นไปตามที่ต้องการ นอกจากนั้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียคอนกรีตในระหว่างการผสมลำเลียง และเทย้อมลดน้อยลงด้วย อีกทั้งบริเวณที่ก่อสร้างก็จะสะอาดไม่เลอะเทอะ ขณะเดียวกันปัญหาเฉพาะหน้าโดยการเทน้ำไปผสมเพื่อให้คอนกรีตใช้งานได้โดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์อันจะเป็นเหตุให้คอนกรีตไม่มีคุณภาพและมีกำลังต่ำได้ เพื่อทดลองสร้างนวัตกรรมคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง ทำให้เกิดการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงและคอนกรีตผสมเสร็จ จึงทำให้มีข้อแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายและระยะเวลาโดยรวมระหว่างคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงและคอนกรีตผสมเสร็จ คอนกรีตแบบกึ่งผสมมีความสะดวกสบายมากกว่าคอนกรีตแบบธรรมดาทั่วไป และประหยัดพื้นที่ในการทำงานอีกด้วย

วิทยาศาสตร์ดินประยุกต์ (Emiroglu et al., 2015) การศึกษาล่าสุด แสดงให้เห็นว่าการทำงานของวัสดุก่อสร้างดิน และปูนปลาสเตอร์ดินได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากลักษณะสมมูลของความชื้นและความพร้อมใช้งานของวัตถุดิบต้นทุนที่เหมาะสมความยั่งยืนและคุณสมบัติเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วารสารวัสดุอันตราย (Xuan et al., 2016) คอนกรีตถนนลาดยาง (CSW) สร้างขึ้นจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จในระหว่างการผลิตคอนกรีตและจัดเป็นวัสดุอันตรายกีดกร่อน ถ้าถูกกำจัดที่หลุมฝังกลบจะก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศเนื่องจากค่า pH สูง วัสดุก่อสร้างและอาคาร (Pacheco et al., 2019) บทความนี้ประเมินและเปรียบเทียบสถิติของข้อมูลกำลังอัดจากโรงงานคอนกรีตผสม แบบจำลองลำดับชั้นแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของคอนกรีตต่างกันไม่เท่ากันทางสถิติแม้ว่าจะถูกสร้างขึ้นในโรงงานเดียวกันและใช้ส่วนผสมคอนกรีตเดียวกัน การค้นพบนี้เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ สำหรับความแข็งแรงที่ระบุเดียวกันการจำลองประกอบที่ผลิตน้อยมักส่งผลให้เกิดกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและความแปรปรวน การจัดการขยะ (Vieira et al., 2019) ในบราซิลซีพีพลายเออร์คอนกรีตผสมเสร็จ (RMC) กำลังใช้กลยุทธ์การจัดการเพื่อลดการเกิดของเสีย อาจเป็นเพราะการขาดแคลนที่เพิ่มขึ้นของสถานที่ ที่เพียงพอสำหรับการกำจัดของเสียซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ปริมาณการผลิตของเสียที่เกิดขึ้นจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการรีไซเคิลของเสียที่ผลิตในโรงงาน RMC ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของคอนกรีตที่เหลือและยึดติดกับส่วนภายในตัวถังของรถผสม ทรัพยากรการอนุรักษ์และการรีไซเคิล (Xuan et al., 2018) ความสนใจที่เพิ่มขึ้นคือได้รับการจัดการขยะอย่างยั่งยืนจากการก่อสร้างเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการเพิ่มขึ้นของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี 1990 การรีไซเคิลและการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีต จากการก่อสร้างและของเสียจากการรื้อถอนได้รับความสนใจอย่างมากในขณะที่หลักการวิธีการบำบัดและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องนั้นพัฒนาขึ้นโดยทั่วไปแล้วไม่สามารถใช้ได้กับขยะคอนกรีตแข็งวารสารวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Aziz, 2018) การก่อสร้างของอียิปต์ และการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จส่วนใหญ่ในโครงการขนาดใหญ่ เช่น โครงการอสังหาริมทรัพย์โครงการทางหลวงและโครงการโครงสร้างพื้นฐานซึ่งต้องการคอนกรีตผสมเสร็จคุณภาพสูง วัตถุประสงค์หลักของบทความนี้คือการวิเคราะห์ความชัดเจนในการวัดอัตราส่วนประสิทธิภาพของโรงงานคอนกรีตโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากโรงงานคอนกรีตจริงและการกำหนดปัจจัยที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด วัสดุก่อสร้างและอาคาร (Gebremichael et al., 2019) ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีต่างๆในการลดปริมาณ RFC (Request for Comments) ในโรงงานผลิต หนึ่งในขั้นตอนที่พบข้อบกพร่องที่สุดคือการทิ้งคอนกรีตในหลุมฝังกลบรีไซเคิลโดยใช้มวลรวมและใช้เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อก ในการศึกษาที่ผู้เขียนได้ศึกษาพฤติกรรมของสัดส่วนต่าง ๆ ของ RFC ผสมกับคอนกรีตผสมเสร็จและคอนกรีตหน่วง ผู้เขียนยังศึกษาอิทธิพลของการสร้างชิ้นงานหลังจาก 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง คอมโพสิตซีเมนต์และคอนกรีต (Alhozaimy, 2007) การฝึกในสภาพแวดล้อมที่ร้อน – แห้ง มักจะดำเนินการเพื่อเพิ่มกำลังต่ำเกินกว่าที่กำหนดของข้อกำหนดทั่วไป (100 ± 25 มม.) เพื่อรับมือกับความต้องการเร่งดำเนินการหล่อและลดความพยายามในการรวม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความสามารถในการใช้งานและความแข็งแรงของคอนกรีตผสมเสร็จ (RMC) ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีคอนกรีตผสมเสร็จ (Dhir, 1975) การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรวมองค์ประกอบที่มีประสิทธิภาพซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่จะผลิต

ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่สอดคล้องกัน ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ดีดำเนินการโดยบุคลากรที่มีประสบการณ์สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความแปรปรวนต่ำ วัสดุก่อสร้างและอาคาร (Ozer-Erdogan et al., 2016) การศึกษานี้จะอธิบายถึงการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ของวัสดุขุดลอกทางทะเลที่ไม่ผ่านการบำบัดและผ่านกรรมวิธี DM ในคอนกรีตผสมเสร็จ RMC ในรูปแบบรวมที่ละเอียด DM ที่รวบรวมจาก ท่าเรือของตุรกีทั้งสี่แห่งได้รับการประเมินตามกฎหมายแห่งชาติและเปลี่ยนเป็น DM คอมโพสิตหนึ่งรายการ ทรายซิลิกา ถูกแทนที่การรักษาคอมโพสิตรับการรักษา (COMP-U /COMP-T) ที่อัตราส่วน 0%, 25%, 50%, 75%, 100% ตามลำดับ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างนวัตกรรมคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงและคอนกรีตผสมเสร็จ
- 2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและระยะเวลาโดยรวมระหว่างคอนกรีตกึ่งผสมสำเร็จแบบถุงและคอนกรีตผสมเสร็จ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้ คือการทดสอบตามมาตรฐานทางวิศวกรรมกำหนดการผสมตัวอย่างคอนกรีตซึ่งเป็นวิธีดำเนินงานวิจัยและสถานที่ดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลระยะเวลาในการทำวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัยวัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.1 การทดสอบตามมาตรฐานทางวิศวกรรม

ตารางการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 2 วิธีในการดำเนินการแสดงในตารางที่ 1 คือ

ตารางที่ 1 การทดสอบตามมาตรฐานทางวิศวกรรมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

มาตรฐาน	การทดสอบ	พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ
ASTM C 143	การทดสอบค่ายุบตัว	ค่ายุบตัว (cm.)
BS 1881: Part 4	การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	กำลังอัดประลัย (ksc.)

3.2 กำหนดการผสมตัวอย่างคอนกรีต

การทดสอบแบบแผนการวิจัย แบบไม่ใส่ส่วนผสมคอนกรีต มีกำลังคอนกรีต 3 ตัวอย่างคือ 210 ksc. (cube) การออกแบบคอนกรีตที่กำลังอัดที่อายุบ่มคอนกรีตที่ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ กำลังอัดของคอนกรีต 210 ksc., 240 ksc. และ 280 ksc. (cube) มีข้อกำหนด คือ ค่าการยุบตัว 7.5 ± 2.5 cm. ใช้หินขนาด 1" - #4 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำ สรุปลัดส่วนผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. ได้แก่ปูนซีเมนต์ 221 กิโลกรัม, น้ำ 170 ลิตร, หาย 875 กิโลกรัม, หิน 1,161 กิโลกรัม 240 ksc. (cube) ผู้ออกแบบต้องการใช้คอนกรีตที่กำลังอัดที่อายุบ่มคอนกรีตที่ 7 14 และ 28 วันตามลำดับ กำลังอัดของคอนกรีต 210 ksc., 240 ksc. และ 280 ksc. (cube) มีข้อกำหนด คือ ค่าการยุบตัว 7.5 ± 2.5 cm. ใช้หินขนาด 1" - #4 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำ สรุปลัดส่วนผสมคอนกรีต 1ลบ.ม.ดังนี้ ปูนซีเมนต์243kg , น้ำ 170 ลิตร, หาย 856 กิโลกรัม, หิน 1,161 กิโลกรัม. 280ksc. (cube) ผู้ออกแบบต้องการใช้คอนกรีตที่กำลังอัดที่อายุบ่มคอนกรีตที่ 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ กำลังอัดของคอนกรีต 210 ksc., 240 ksc. และ 280 ksc. (cube) มีข้อกำหนด คือ ค่าการยุบตัว 7.5 ± 2.5 cm. ใช้หินขนาด 1" - #4 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำ สรุปลัดส่วนผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. ดังนี้ ปูนซีเมนต์ 243 กิโลกรัม, น้ำ 170 ลิตร, หาย 832 กิโลกรัม, หิน 1,161 กิโลกรัม

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย และสถานที่ดำเนินการทดลอง / เก็บข้อมูล

การดำเนินงานวิจัย แบ่งตัวอย่างทั้งหมดออกเป็น 3 ตัวอย่าง ซึ่งจะแสดงตามตารางที่ 2 โดยดำเนินการทดลองที่อาคาร 12 สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา (เก็บข้อมูล)

ตารางที่ 2 การบ่มและวันที่ทดสอบคอนกรีต

ค่า F_c'	7 วัน	14 วัน	28 วัน
210 ksc.	24 ส.ค.	31 ส.ค.	14 ก.ย.
240 ksc.	28 ส.ค.	4 ก.ย.	18 ก.ย.
280 ksc.	3 ก.ย.	10 ก.ย.	24 ก.ย.

3.4 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วัสดุสำหรับการสร้างตัวอย่างทดสอบ โดยนำหินเบอร์ 1 ทรายหยาบ คอนกรีต เมื่อผสมกับน้ำ และทำการบ่มแบบ 7 วัน 14 วัน 28 วัน เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพ นำบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ที่ทางคณะผู้จัดทำทำการออกแบบไว้ สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง ซึ่งมีวัสดุและเครื่องมือสำคัญสามารถแสดงได้ในภาพ



(ก)



(ข)



(ง)



(ค)



(ด)



(ขม)

ภาพที่ 1 การพัฒนาคอนกรีตสำเร็จรูปมีวัสดุและเครื่องทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัย (ก) Cube

(ข) เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) (ง) หินเบอร์ 1 (ค) ปูนซีเมนต์ (ด) ทรายหยาบ (ขม) เครื่องชั่ง Electronic

3.5 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

นำส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งได้แก่ หิน ปูนซีเมนต์ และส่วนผสมที่ได้จากแบบแผนการวิจัย แบบไม่ใส่น้ำยาผสมคอนกรีต ใส่ลงในอ่างเปลงคอนกรีต (เวลาที่ใช้ผสมประมาณ 2 นาที - 4 นาที) ทำการเทคอนกรีต Slump test แล้วนำคอนกรีตเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้คือ แบบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลัง ด้านทานแรงอัด ขนาด 15x15x15 ซม. จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยทำการเทจำนวน 3 ชั้นและกระทุ้งชั้นละ 30 ครั้ง เพื่อให้การกระจายตัวสม่ำเสมอ เมื่อเทเต็มแบบแล้วควรปรับผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบเสมอกัน คอนกรีตไว้เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงถอดแบบออกแล้วนำคอนกรีตไปแช่น้ำหนัก น้ำคอนกรีตที่ถอดแบบแล้วไปบ่มในน้ำ เพื่อการพัฒนากำลังอย่างต่อเนื่อง แล้วบันทึกเวลาที่เริ่มบ่มและกำหนดวันทดสอบ ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 - 4 ให้ครบ 3 ชุด ชุดละ 9 ลูกตามส่วนผสมที่กำหนดระยะเวลาในการบ่มสำหรับตัวอย่างในชุดต่าง ๆ นั้นแสดงดังตาราง หลังจากบ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำคอนกรีตขึ้นจากน้ำพักไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้คอนกรีตแห้ง แล้วนำไปทดสอบกำลังแรงอัด

4. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย สามารถแบ่งรายละเอียดดังนี้ คือ การทดสอบหาค่ายุบตัว การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ลักษณะการเสียหายของคอนกรีต และกราฟเปรียบเทียบ

4.1 การทดสอบหาค่ายุบตัว

ตารางที่ 3 การทดสอบหาค่ายุบตัว

การทดสอบหาค่ายุบตัว	
210 ksc.	3.5 ksc.
240 ksc	2.5 ksc.
280 ksc	7.5 ksc.

4.2 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ของ 210 ksc. ดังนี้

บ่ม7วัน Sample stress สูงสุดคือ 171.6 ksc.	ลูกที่1 น้ำหนัก 7.96 kg ค่าเฉลี่ย 165.03 ksc.
บ่ม14วัน Sample stress สูงสุดคือ 209.1 ksc.	ลูกที่6 น้ำหนัก 8.07 kg ค่าเฉลี่ย 204.9 ksc.
บ่ม28วัน Sample stress สูงสุดคือ 244.1 ksc.	ลูกที่7 น้ำหนัก 8.43 kg ค่าเฉลี่ย 206.9 ksc.

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ของ 240 ksc ดังนี้

บ่ม7วัน Sample stress สูงสุดคือ 208.7 ksc.	ลูกที่1 น้ำหนัก 8.14 kg ค่าเฉลี่ย 197 ksc.
บ่ม14วัน Sample stress สูงสุดคือ 231.4 ksc.	ลูกที่5 น้ำหนัก 7.98 kg ค่าเฉลี่ย 223.1 ksc.
บ่ม28วัน Sample stress สูงสุดคือ 253.8 ksc.	ลูกที่9 น้ำหนัก 8.00 kg ค่าเฉลี่ย 251 ksc.

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ของ 280 ksc. ดังนี้

บ่ม7วัน Sample stress สูงสุดคือ 202.2 ksc.	ลูกที่2 น้ำหนัก 7.86 kg ค่าเฉลี่ย 191.5 ksc.
บ่ม14วัน Sample stress สูงสุดคือ 206.9 ksc.	ลูกที่6 น้ำหนัก 7.91 kg ค่าเฉลี่ย 201.4 ksc.
บ่ม28วัน Sample stress สูงสุดคือ 245.7 ksc.	ลูกที่9 น้ำหนัก 8.07 kg ค่าเฉลี่ย 241 ksc.

4.3 ลักษณะการเสียหายของคอนกรีต



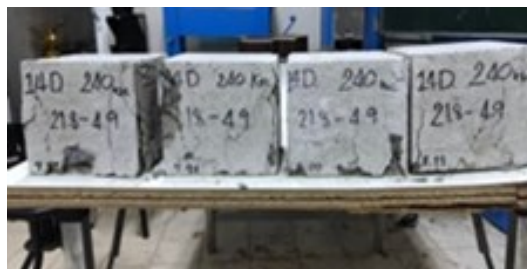
ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ของ 210 ksc.

ลักษณะการแตกของคอนกรีตจะมีรอยแตกบริเวณขอบของคอนกรีตและรอยร้าวรอบๆคอนกรีตคอนกรีตแตกเป็นชิ้นเล็กๆ



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ของ 240 ksc.

มีลักษณะการแตกของคอนกรีต มีรอยแตกยาว คอนกรีตแตกเป็นชิ้นใหญ่

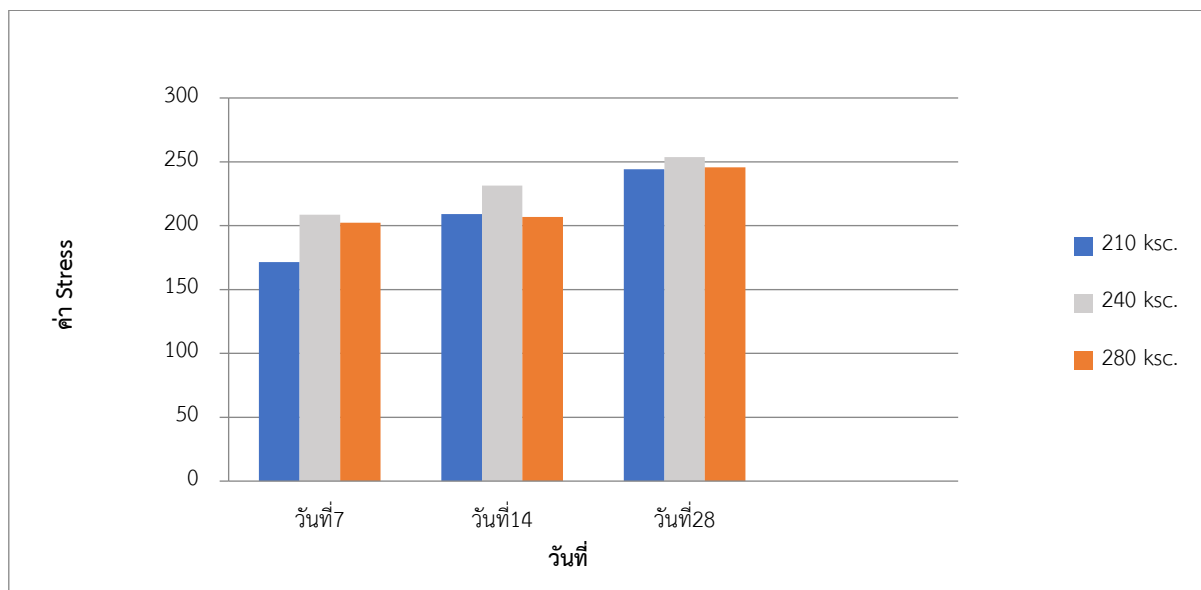


ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ของ 280 ksc.

มีลักษณะการแตกของคอนกรีต มีรอยแตกยาว คอนกรีตแตกเป็นชิ้นใหญ่

5. สถิติวิเคราะห์

สถิติการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ ซึ่งทำการหาค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างการทดลองโดยแบ่งเป็นชุด ชุดละ 3 ส่วน ได้คือการบ่มน้ำ 7 , 14 , และ 28 วัน แต่ละชุดมีตัวอย่างการทดลองทั้งหมด 3 ตัวอย่าง



ภาพที่ 6 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตถึงสำเร็จรูปแบบถาวรสำหรับงานก่อสร้าง

สรุปจากภาพ จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าแผนภูมิแท่ง สีฟ้าและสีเทา แผนภูมิแท่งแสดงระดับตามระยะวันที่บ่ม ค่าเฉลี่ย stress มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่แผนภูมิแท่ง สีส้มนั้นค่าเฉลี่ยค่าความเค้นไม่ถึง 280 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อาจเป็นเพราะมีการเติมน้ำอีก 2 ลิตร เพื่อต้องการค่ายุบตัว 7.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ผลที่ออกมาดังแผนภูมิแท่ง

6. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตสำเร็จแบบถุง มีสัดส่วนผสม ปริมาณปูนซีเมนต์ 5-6 กิโลกรัม, ทรายหยาบ 19 กิโลกรัม หิน 26 กิโลกรัม, น้ำ 8-10 ลิตร ค่าความเค้นของคอนกรีตดีที่สุดคือ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่า stress ที่ได้ 251 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่า stress ของ 210 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่ไม่ถึงเพราะเกิดจากตอนที่หล่อคอนกรีต กระทุ้งไม่ทั่วแบบหล่อทำให้มีอากาศมากเกินไปจึงเกิดตามด ได้ค่าความเค้นสูงสุด 206.9 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าความเค้นของ 280 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่ไม่ถึงเพราะมีการเติมน้ำเพิ่มอีก 2 ลิตร เพื่อต้องการค่ายุบตัวที่ 7.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ผลของการเติมน้ำข้อดีคือได้ค่ายุบตัวตามที่ตั้งไว้ แต่ผลเสียคือ ค่า stress ไม่ถึง 280 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ได้ค่าความเค้น สูงสุด 241 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร



210 ksc.



240 ksc.



280 ksc.



โลโก้

ภาพที่ 7 การออกแบบคอนกรีตถึงสำเร็จรูปแบบถุงสำหรับงานก่อสร้าง ตามโลโก้บนถุง มีส่วนผสมแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบในการผสมคอนกรีตพูน ควรระวังเรื่องน้ำ ปริมาณที่เทลงไปควรใส่ลงทีละน้อยๆ เพื่อช่วยต่อการผสม และแห้ง เพราะปริมาณน้ำที่ใช้อาจจะน้อยกว่าที่ผสมคอนกรีตปกติ ในการทดลองครั้งต่อไปควรให้มีการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่แน่นอนมากยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- Alhozaimy, A. M. (2007). Effect of retempering on the compressive strength of ready-mixed concrete in hot-dry environments, *Cement and Concrete Composites*, 29, 124-127.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.08.007>.
- Aziz, R. F. (2018). Engineering approach to allocate and evaluate performance influencing factors for ready mixed concrete batch plant under different effects, *Alexandria Engineering Journal*, 57, 3237 – 3247.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.12.004>
- Dhir, R.K. (1975). Advances in Ready Mixed Concrete Technology, *Proceedings of the First International Conference on Ready-Mixed Concrete Held at Dundee University*, 1, 1–16. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-02744-2>.

- Emiroğlu, M., Yalama, A., and Erdoğan, Y. (2015). Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios, *Applied Clay Science*, 115, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.005>
- Gebremichael, N. N., Karein, S. M. M., Karakouzian, M., and Jadidi, K. (2019). Investigation of setting time and compressive strength of ready-mixed concrete blended with returned fresh concrete, *Construction and Building Materials*, 197, 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11>.
- Ozer-Erdogan, P., Basar, H.M., Erden, I., and Tolum, L. (2016). Beneficial use of marine dredged materials as a fine aggregate in ready-mixed concrete: Turkey example, *Construction and Building Materials*, 124, 690-704. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.144>.
- Pacheco, J. N., Brito, J.de., Chastre, C., and Evangelista, L. (2019). Statistical analysis of Portuguese ready-mixed concrete production, *Construction and Building Materials*, 209, 283 – 294. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.089>.
- Vieira, L. de B. P., Figueiredo, A. D. de, Moriggi, T., and John, V.M. (2019). Domingues de Figueiredo, Waste generation from the production of ready-mixed concrete, *Waste Management*, 94, 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.043>.
- Xuan, D., Poon, C. S., and Zheng, W. (2018). Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: A review, *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 238 – 247. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.007>.
- Xuan, D., Zhan, B., and Poon, C.S. (2016). Innovative reuse of concrete slurry waste from ready-mixed concrete plants in construction products, *Journal of Hazardous Materials*, 312, 65 – 75. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.036>.

การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยการติดตั้ง PVC Filling ที่ส่วนระบายความร้อน Energy Conservation of a Split Air-Conditioner by Installing PVC Filling at Condensing Unit

วันชลี เพ็งพงศา^{1*}, พิศิษฐ์ แซ่ตัน¹, สามารณ นอร์มา², เอนก เทียนบุชา¹, ประสิทธิ์ การนอก² และ วีระ ศรีอริยะกุล³
Wanchalee Pengpongsa^{1*}, Pisit Saetan¹, Samart Norma², Anek Thianboocha¹, Prasit Karnnok²
and Weera Sriariyakul³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Department of Manufacturing Engineering and Energy Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

² บริษัท เจอาร์ ซินเนอร์จี จำกัด

² JR Synergy Company Limited

³ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการติดตั้งแผงระบายความร้อนแบบ PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์ เพื่อเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ โดยเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการทำความเย็น อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และผลประหยัดที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็น 2 กรณี 1) กรณีไม่ติดตั้ง PVC Filling และ 2) กรณีติดตั้ง PVC Filling ที่ความหนา 5, 7.5 และ 10 เซนติเมตร ทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ยี่ห้อ Focus ขนาด 25,000 บีทียูต่อชั่วโมง ปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2,500 ลิตรต่อชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ความหนาของ PVC Filling ขนาด 10 เซนติเมตร เป็นความหนาที่มีประสิทธิภาพพลังงานดีที่สุดในงานวิจัยนี้ โดยมีค่า EER และค่า COP เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 21.33 และ 21.58 ตามลำดับ ลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 5.67 คิดเป็นผลประหยัดได้ 817.61 บาทต่อปี การอนุรักษ์พลังงานด้วยการติดตั้ง PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 96.90 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การประหยัดพลังงาน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แผงระบายความร้อน ประสิทธิภาพพลังงาน

Abstract

This study aims to examine the installation of PVC filling media pads within an air-cooled condenser that exchanged the heat between water and hot air before the air entered the condenser. The study compared the coefficient of performance (COP), energy efficiency ratio (EER) and energy-saving cost in two cases: 1) the non-installation of PVC filling and 2) the installation of PVC filling of thicknesses 5, 7.5, and 10 cm. An air-cooled, split-type air conditioner, brand Focus, with a cooling capacity of 25,000 Btu/h. The air conditioner was set to a temperature of 25°C, with an airflow speed of 1 m/s and a cooling water flow rate of 2,500 L/h. The results showed that the PVC filling with a thickness of 10 cm provided the best energy efficiency. The EER and COP increased by 21.33% and 21.58%, respectively. Additionally, energy consumption was reduced by 5.67%, and the energy-saving cost was 817.61

* Corresponding author: wanchalee.p@chandra.ac.th

baht/year. Moreover, energy conservation through the installation of PVC filling at the condenser could reduce CO₂ emissions by 96.90 kgCO₂/year.

Keywords: CO₂ emission, Energy conservation, Energy efficiency, PVC filling, Split air-conditioning

1. บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยสาเหตุหลักเกิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยก๊าซเรือนกระจกแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ CO₂, N₂O, CH₄, HFCs, SF₆ และ PECs ซึ่งในภาคพลังงาน CO₂ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลกระทบต่อสร้างภาวะโลกร้อนที่มีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในระยะยาว (Winyuchakrit et al., 2011) ในปัจจุบันการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นถึง 1.1 องศาเซลเซียส จากช่วงปีค.ศ. 1800 จนถึงปี ค.ศ. 2020 จากเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลให้เกิดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ภัยแล้งรุนแรง น้ำท่วม น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น อากาศร้อนจัด อากาศเย็นจัด (สหประชาชาติประเทศไทย, ม.ป.ป.) ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากสถานการณ์เหล่านี้โดยจากข้อมูลสถิติภูมิอากาศในประเทศไทยในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคมมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 38-40°C (ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.) ส่งผลให้ภาคอาคารและบ้านที่อยู่อาศัยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศมากขึ้น คิดเป็น 60% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (นพรัตน์ อมัตริรัตน์ และ สาธิต ทูลไธสง, 2562)

ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์ (2551) กล่าวถึงคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน AHRI 210/240-2008 ประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศเป็นตัวบ่งชี้ระดับของประสิทธิภาพระบบปรับอากาศซึ่งมีความสำคัญต่อมนุษย์ เมื่อเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลง ระดับของประสิทธิภาพพลังงานที่เพิ่มขึ้นจึงวัดขีดความสามารถในการทำ ความเย็นของเครื่องปรับอากาศสำหรับเทคโนโลยีนั้น ๆ โดยประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศมักพิจารณาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance หรือ COP) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio หรือ EER) ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องปรับอากาศด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่จึงมีการกำหนดประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น คืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Seasonal Energy Efficiency Ratio หรือ SEER) อีกด้วย

เครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในอาคารและบ้านที่อยู่อาศัยมักเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งเมื่ออยู่ในช่วงฤดูร้อนที่มีอากาศแวดล้อมร้อนจัดทำให้ส่วนระบายความร้อน (Condensing Unit หรือ CDU) เกิดการระบายความร้อนได้ไม่ดี ผู้อยู่อาศัยจึงลดอุณหภูมิภายในอาคารหรือในส่วนจ่ายลมเย็น (Fan Coil Unit หรือ FCU) ส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานสูงขึ้น เครื่องปรับอากาศจึงมีสมรรถนะการทำความเย็นลดลง ดังนั้นการลดอุณหภูมิแวดล้อมก่อนเข้าระบายความร้อนในส่วน CDU จึงเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่สามารถช่วยลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงคิดค้นและหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ ซึ่งการปรับอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกอาคารให้ลดลงถือเป็นการลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศได้ดี โดย Harby and Al-Amri (2019) ได้ทำการวิจัยติดตั้งแผงระบายความร้อนหรือแผงรังผึ้ง (Cooling Pad) ที่คอนเดนเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศและทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศโดยรวมดีขึ้น การลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นลดลง โดยอากาศร้อนไหลผ่านแผงรังผึ้งสัมผัสกับน้ำที่ไหลผ่านแผง ทำให้น้ำระเหยส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลงในขณะที่การระเหยนั้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น (Harby et al., 2016 และ Martinez et al., 2016) จากงานวิจัยของ นพรัตน์ อมัตริรัตน์ และสาธิต ทูลไธสง (2562) พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะส่งผลให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงมากยิ่งขึ้น ค่าสมรรถนะการทำความเย็นจึงมีค่าเพิ่มขึ้น และลดการใช้พลังงานลง จากงานวิจัยของ อีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ (2556) มีการศึกษาถึงการติดตั้งแผงรังผึ้งเพื่อลดอุณหภูมิอากาศร้อนก่อนเข้า

คอนเดนเซอร์ พบว่า แผงรังผึ้งทำจากวัสดุกระดาษเซลูโลส เมื่อเปียกชื้นมักเปื่อยยุ่ยง่ายจึงส่งผลให้มีอายุการใช้งานสั้น และไม่สามารถทำความสะอาดได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ใช้แผงระบายความร้อนแบบ PVC Filling ที่ทำจากวัสดุทนต่อความชื้นได้ดี ทำความสะอาดง่าย โดยติดตั้งแผงระบายความร้อน PVC Filling กับคอนเดนเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์และเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศโดยเกิดผลประหยัดสูงสุด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

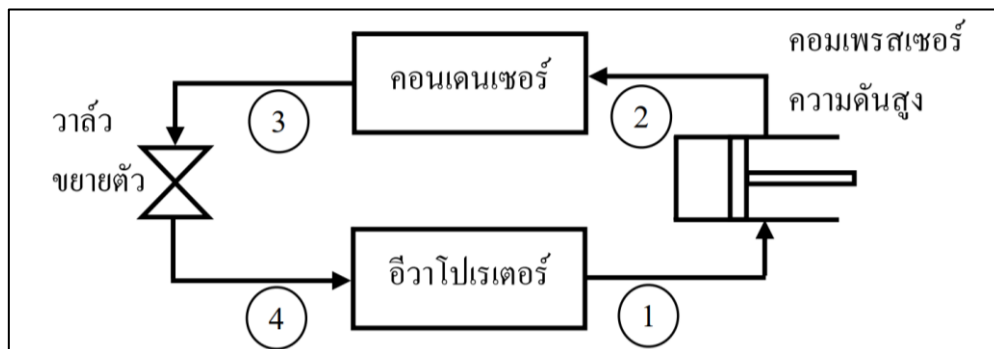
2.1 เพื่อติดตั้งและทดสอบแผงระบายความร้อน PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์

2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยระบบทำความเย็นแบบอัดไจะมีส่วนประกอบดังนี้ 1. เครื่องระเหยหรืออีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) 2. เครื่องอัดไอหรือคอมเพรสเซอร์ (Compressor) 3. เครื่องควบแน่นหรือคอนเดนเซอร์ (Condenser) 4. วาล์วขยายตัว (Expansion Valve) หลักการทำงานของสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นที่เป็นของไหลผสมเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ค่อย ๆ เปลี่ยนสถานะจากของไหลผสมกลายเป็นไอ สารทำความเย็นไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ โดยคอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันให้สูงขึ้น จนมีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่งหรือไอโดง (Superheated vapor) หลังจากนั้นสารทำความเย็นไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อนสู่สภาวะแวดล้อมและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว จากนั้นสารทำความเย็นไหลสู่วาล์วขยายตัวเพื่อลดความดันและกลายเป็นของไหลผสม ไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์เป็น 1 รอบการทำงาน (ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2556) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) (2553)

3.2 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

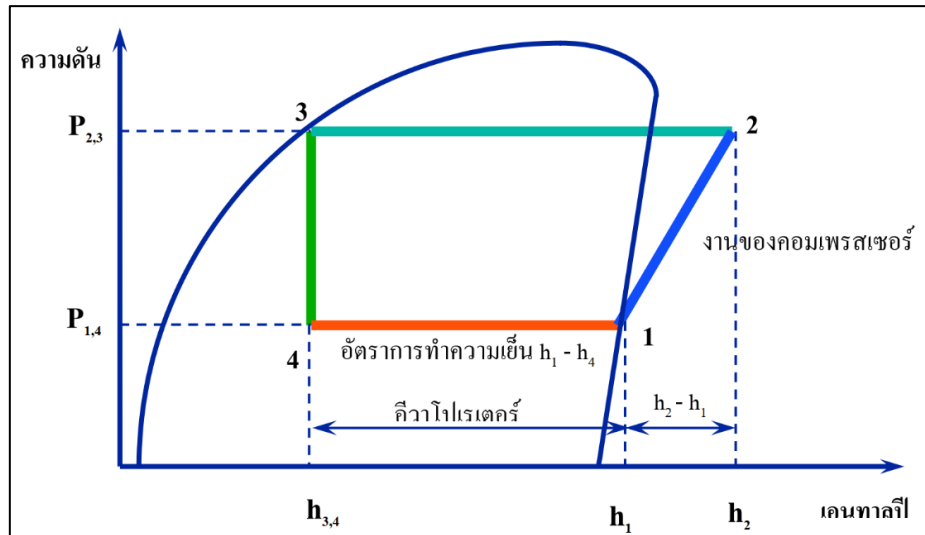
จากภาพที่ 2 สามารถอธิบายถึงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการ ดังต่อไปนี้

กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิก โดยคอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นในสภาวะไออิ่มตัว ให้มีความดันเท่ากับความดันที่คอนเดนเซอร์ ดังนั้นอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นจนสารทำความเย็นกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ($h_2 - h_1$)

กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่ โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอร้อนยวดยิ่งถูกทำให้เย็นลงจนโดยการระบายความร้อน ส่งผลให้เกิดการควบแน่นของสารทำความเย็น กลายเป็นของเหลว ($h_3 - h_2$)

กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัว หรือกระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่สถานะของเหลวถูกลดความดันลง ส่งผลให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของผสมไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($h_{3,4}$)

กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของผสมเป็นไออิ่มตัว ($h_1 - h_4$)



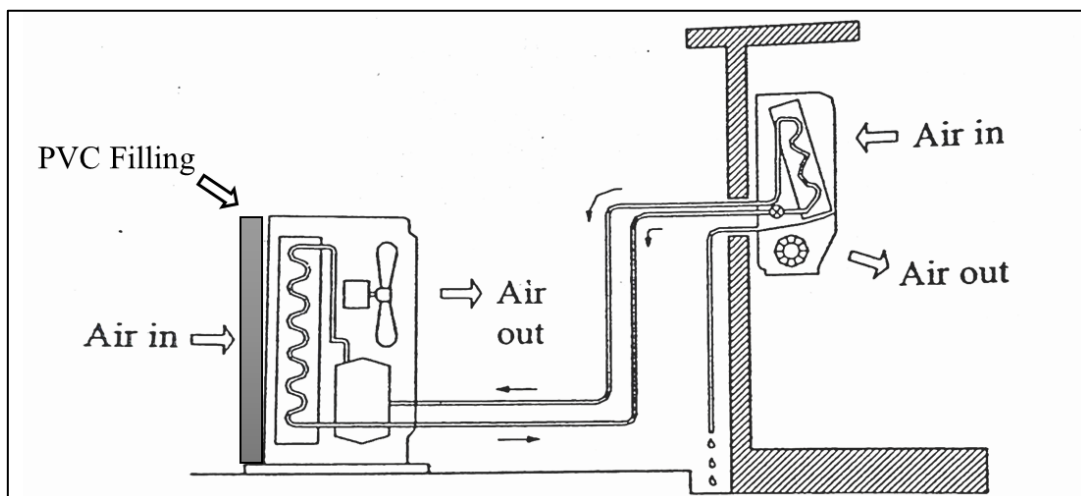
ภาพที่ 2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) (2553)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การติดตั้ง PVC Filling

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมักนิยมใช้ในอาคารที่อยู่อาศัยหรืออาคารที่มีการแบ่งห้องเป็นห้องขนาดเล็ก ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนควรมีค่า COP ไม่น้อยกว่า 3.5 หรือ มีค่า EER ไม่น้อยกว่า 12 (Chirarattananon, 2005) ผู้วิจัยทำการติดตั้ง PVC Filling บริเวณด้านหน้าคอนเดนเซอร์ หรือก่อนอากาศเข้าคอนเดนเซอร์ ดังภาพที่ 3

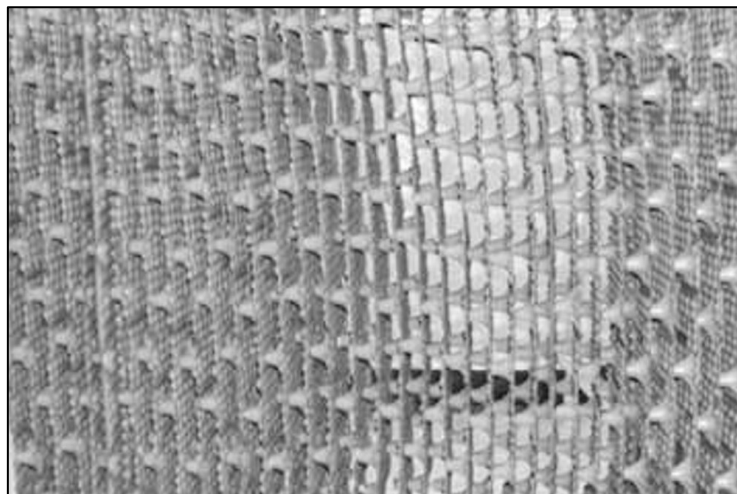


ภาพที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งแผงระบายความร้อน PVC Filling

ที่มา ดัดแปลงจาก Surapong Chirarattananon (2005)

การใช้แผงระบายความร้อนสำหรับการระบายอากาศร้อนขนาดเล็กมักใช้แผงรังผึ้ง ซึ่งวัสดุเป็นกระดาษเซลลูโลสมีลอนด้านในแผงเป็นลูกฟูก เมื่อเปียกชื้นสภาพการใช้งานจึงมีการเปื่อยยุ่ยทำให้ระยะเวลาในการใช้งานสั้นเพียง 2 ปี และไม่สามารถทำความสะอาดได้ ในขณะที่ PVC Filling เป็นวัสดุที่มีความทนทาน มีอายุการใช้งานนาน 5 ปี สามารถทนความเปียกชื้นได้ดี ทำความสะอาดง่าย (ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2556) PVC Filling ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นแผงกระจายละอองน้ำแบบ Cross Flow ซึ่งน้ำที่ไหลผ่านแผงสามารถสัมผัสกับอากาศได้ดี และจากงานวิจัยของ Martinez et al. (2016) มีการศึกษาการติดตั้งแผงรังผึ้งที่มีความหนา 5, 10 และ 15 cm พบว่าการติดตั้งแผงรังผึ้งที่มีความหนา 15 cm ค่า COP ไม่เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงกำหนดความหนาของ PVC Filling เป็น 5, 7.5 และ 10 cm

ชุดระบายความร้อนมี 2 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างกะสสำหรับใส่แผง PVC Filling (ภาพที่ 4) และถังพักน้ำ การสร้างโครงสร้างสำหรับใส่ PVC Filling วัสดุเป็นสังกะสีพับขึ้นรูปมีขนาด $70 \times 80 \times 10 \text{ cm}^3$ ส่วนถังพักมีน้ำจาก 2 แหล่ง เข้าทางขาเข้าถังพักน้ำ ได้แก่ น้ำทิ้งจากคอนเดนเซอร์ (Condensate Drain) และน้ำภายในระบบ ระบบน้ำจะเป็นระบบหมุนเวียนน้ำมีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 1.42 เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศ โดยมีวิธีการตรวจวัดใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้า และท่อ PVC ที่ประกอบติดตั้งมีขนาด 3/8 inch หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm ในการทดลองจะติดตั้ง PVC Filling ความหนา 5, 7.5 และ 10 cm อัตราการไหลของน้ำ 2500 L/h โดยให้น้ำในระบบไหลผ่านแผงแบบกระจายน้ำทั่วทั้งแผง เมื่อน้ำไหลตกลงมาจะมีภาตเก็บน้ำด้านล่าง จากนั้นปั๊มจะสูบน้ำขึ้นกลับไปด้านบนเพื่อปล่อยน้ำไหลผ่านแผงอีกครั้ง



ภาพที่ 4 แผงระบายความร้อน PVC Filling
ที่มา ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ (2556)

3.3.2 วิธีการทดลอง

ห้องทดลองเป็นห้องเรียนที่มีขนาด 28 m^2 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด Fixed speed ยี่ห้อ Focus รุ่น AFT25M ขนาด 25,000 Btu/h ใช้สารทำความเย็น R32 และติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 มีค่า EER เท่ากับ 11.95 โดยเครื่องปรับอากาศดังกล่าวได้ติดตั้งที่ห้องทดลองมาแล้วเป็นระยะเวลา 8 ปี ดำเนินการทดลองการระบายความร้อนด้วยแผงระบายความร้อน PVC Filling ในทุกการทดลองจะทำการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ 25°C ความเร็วลม 1 m/s และระยะเวลาในการทดลอง 9 h/day ตั้งแต่ 08.00 – 17.00 น. เป็นเวลา 20 วัน (ทดลองวันจันทร์ – วันศุกร์) โดยคิดค่าไฟฟ้า 4.18 Baht/kWh ตามค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ประกาศจากการไฟฟ้านครหลวง ประกาศวันที่ 28 มีนาคม 2567 (การไฟฟ้านครหลวง, 2567) เงื่อนไขการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การไม่ติดตั้ง PVC Filling (Referenced) และการติดตั้ง PVC Filling ที่มีความหนาขนาด 5 (T5), 7.5 (T7.5) และ 10 (T10) cm ตามลำดับ

3.4 ประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ประสิทธิภาพพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน โดยประสิทธิภาพพลังงานสามารถหาในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance) หรือค่า COP และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio) หรือ ค่า EER โดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) สามารถคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{EER}{3.412} \quad (1)$$

โดยที่ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/h/W)

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) สามารถคำนวณได้จาก

$$EER = \frac{Q_L}{W_{comp}} \quad (2)$$

โดยที่ Q_L คือ ภาระการทำความเย็น (Btu/h)

W_{comp} คือ กำลังไฟฟ้า (W)

ภาระการทำความเย็นสามารถคำนวณได้จาก

$$Q_L = 4.5 \times CFM \times (h_r - h_s) \quad (3)$$

โดยที่ Q_L คือ ภาระการทำความเย็น (Btu/h)

CFM คือ อัตราการจ่ายลมของเครื่องปรับอากาศ (ft^3/min)

h_r คือ เอนทาลปีที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ (Btu/lbs)

h_s คือ เอนทาลปีที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Btu/lbs)

3.5 การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการประเมินปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภท 1 (Scope 1) กิจกรรมการเผาไหม้โดยตรงและการรั่วไหล ประเภท 2 (Scope 2) กิจกรรมการนำเข้าพลังงานเข้ามาใช้ และประเภท 3 (Scope 3) กิจกรรมการจ้างเหมาหรือนอกขอบเขตองค์กร ดังนั้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในการวิจัยใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอกองค์กร จึงเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม จัดอยู่ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภท 2 (Scope 2) ดังนั้นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าของประเทศไทยสามารถใช้ค่า Emission Factor ของการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยได้ ซึ่งค่า Emission Factor (EF) สำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่า $0.4999 \text{ kgCO}_2/\text{unit}$ สามารถคำนวณหาปริมาณการปล่อย CO_2 ได้ดังสมการต่อไปนี้

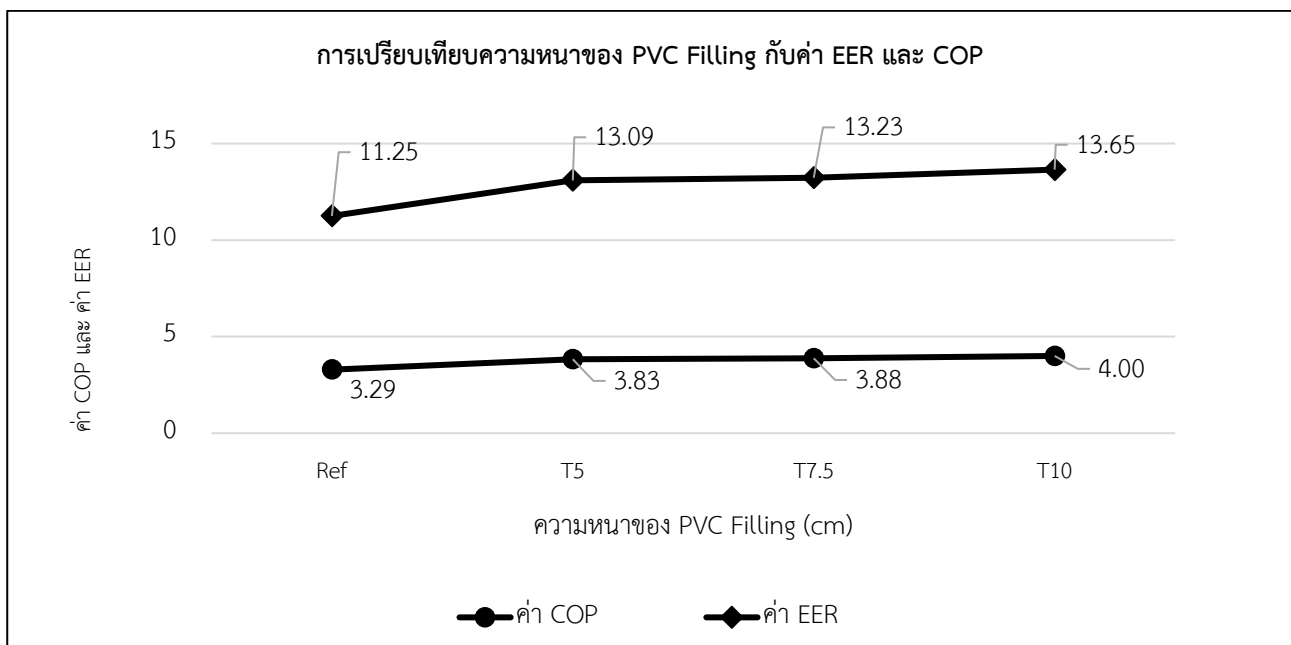
$$\text{ปริมาณการปล่อย } \text{CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{/ปี)} = \text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)} \times \text{EF (kgCO}_2\text{/kWh)} \quad (4)$$

โดยค่า $\text{EF} = 0.4999 \text{ kgCO}_2/\text{unit}$ อ้างอิงจาก Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2565)

4. ผลการวิจัย

4.1 ค่าสมรรถนะการทำความเย็น

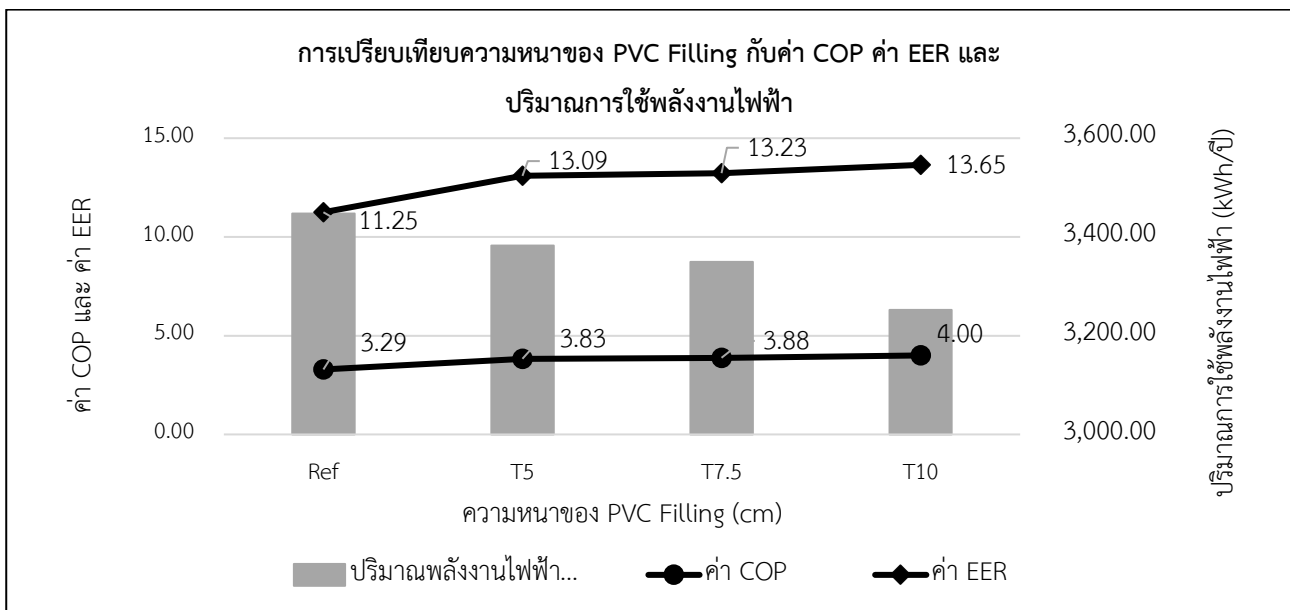
จากการทดลองพบว่า ค่า COP และค่า EER มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากภาพที่ 5 การไม่ติดตั้ง PVC Filling มีค่า COP เท่ากับ 3.29 และ EER เท่ากับ 11.25 จากสเปคเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งจากโรงงานผลิต ติดฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 มีค่า EER เท่ากับ 11.95 จะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองมีประสิทธิภาพที่ลดลงร้อยละ 5.86 เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้การทดลองมีอายุการใช้งานยาวนาน และขาดการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เมื่อทำการทดลองติดตั้ง PVC Filling โดยปรับความหนาขนาด 5, 7.5 และ 10 cm พบว่า ค่า EER เท่ากับ 13.09, 13.23 และ 13.65 และค่า COP เท่ากับ 3.83, 3.88 และ 4.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า COP และค่า EER กับกรณีไม่ติดตั้ง PVC Filling พบว่ากรณีที่ติดตั้ง PVC Filling ที่ความหนา 5, 7.5 และ 10 cm มีค่า COP เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.41, 17.93 และ 21.58 และค่า EER เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.36, 17.60 และ 21.33 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทั้งร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่า COP และค่า EER เป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าร้อยละใกล้เคียงกัน เนื่องจากความหนาของ PVC Filling ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงถึงการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นพรัตน์ อมัตริรัตน์ และ สาธิต พูลโธสง (2562) และ Atmaca et al. (2022)



ภาพที่ 5 อิทธิพลของความหนา PVC Filling ต่อค่า EER และค่า COP

4.2 อิทธิพลของความหนา PVC Filling ต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

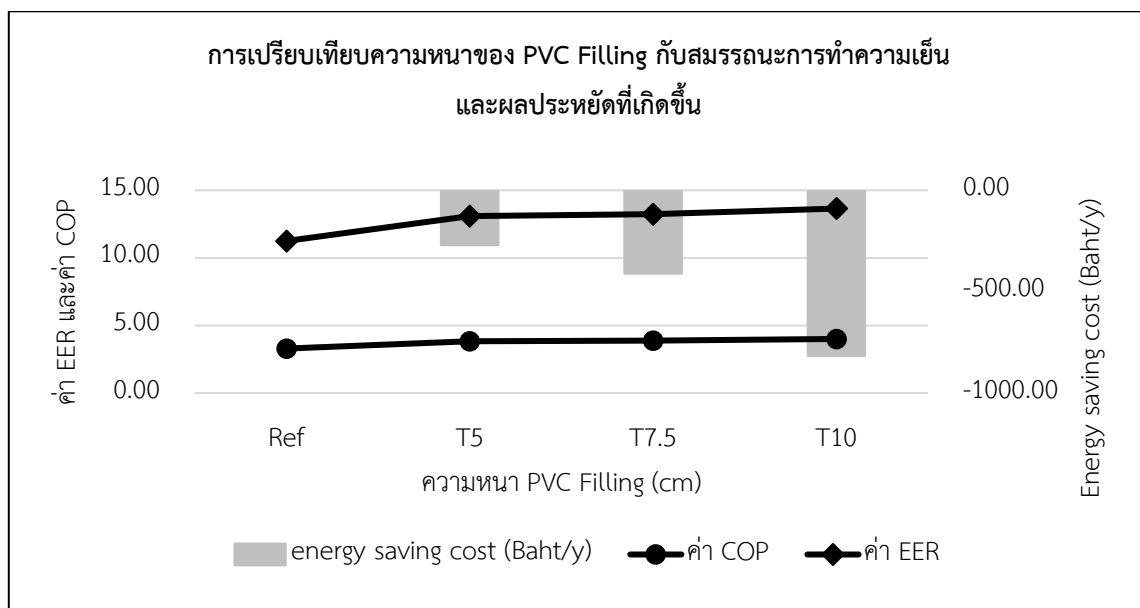
การทดลองกรณีไม่ติดตั้ง PVC Filling มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 3,447.60 kWh/ปี และกรณีติดตั้ง PVC Filling ที่ความหนาขนาด 5, 7.5 และ 10 cm มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 3,382.80, 3,349.20 และ 3,252.00 kWh/ปี ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความหนา PVC Filling เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศก่อนเข้าเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับสภาวะแวดล้อมดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธงไชย เดิมดา และ นุภาพ แยมไทรพัฒน์ (2553) และ Phatidamrongkul and Varodompun (2012)



ภาพที่ 6 อิทธิพลของความหนา PVC Filling ต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่า COP

4.3 อิทธิพลของความหนา PVC Filling กับผลประหยัดที่เกิดขึ้น

จากภาพที่ 7 พบว่า การติดตั้ง PVC Filling ที่มีความหนาเพิ่มขึ้น เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศก่อนเข้าเครื่องปรับอากาศได้ดี ค่า EER และค่า COP เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง และเกิดผลประหยัดขึ้น 270.86, 411.31 และ 817.61 บาท/ปี ในกรณีการติดตั้ง PVC Filling ที่ความหนา 5, 7.5 และ 10 cm ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Martinez et al. (2016) พบว่าแผงรังผึ้งที่มีความหนา 100 mm เป็นความหนาที่เหมาะสม และมีค่า COP เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.6 ทั้งนี้ การเพิ่มความหนาของแผงรังผึ้งเป็น 150 mm ไม่ได้ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มขึ้นเกิดกระบวนการไอเซนโทรปิก อุณหภูมิสถานะแวดล้อมไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเพิ่มความหนามากกว่า 100 mm หรือ 10 cm ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน และการติดตั้งแผง PVC Filling ทุกกรณีไม่ส่งผลต่อการควบคุมสถานะความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศ



ภาพที่ 7 อิทธิพลความหนา PVC Filling กับสมรรถนะการทำความเย็นและผลประหยัดที่เกิดขึ้น

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การติดตั้ง PVC Filling ช่วยในการระบายความร้อนของอากาศก่อนเข้าเครื่องปรับอากาศชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ เมื่อความหนาของ PVC Filling เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า EER และค่า COP เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่า EER จากสเปคเครื่องปรับอากาศ ติดฉนวนใยไฟเบอร์ 5 มีค่า EER เท่ากับ 11.95 กับการติดตั้ง PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์ความหนาขนาด 10 cm มีค่า EER เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.23 นอกจากนี้ความหนาของ PVC Filling ที่เพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นได้มากที่สุดของงานวิจัยนี้มีขนาด 10 cm มีค่าสมรรถนะการทำความเย็น ได้แก่ ค่า EER และค่า COP เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 21.33 และ 21.58 ตามลำดับ ลดการใช้พลังงานลง คิดเป็นร้อยละ 5.67 และลดการปล่อย CO₂ เท่ากับ 96.90 kgCO₂/ปี ทั้งนี้การเพิ่มความหนาของ PVC Filling มากกว่า 10 cm ไม่ได้ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น หรือลดการใช้พลังงานลงได้ (Harby and Al-Amri, 2019)

จากการวิจัยติดตั้ง PVC Filling ที่คอนเดนเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ โดยเปรียบเทียบความหนาของ PVC Filling นั้น ผู้วิจัยคาดว่า การเพิ่มความหนาของ PVC Filling อาจทำให้ประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PVC Filling ทำจากวัสดุต่างชนิดกันกับแผงรังผึ้งที่ใช้กระดาดเซลลูโลส

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ และการลดการปล่อย CO₂

เงื่อนไขการทดลอง	ค่า EER	ค่า COP	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	การลดการปล่อย CO ₂ (kgCO ₂ /ปี)
Reference (Ref)	11.25	3.29	0.00	0.00
PVC Filling หนา 5 cm (T5)	13.09	3.83	64.80	32.10
PVC Filling หนา 7.5 cm (T7.5)	13.23	3.88	98.40	48.75
PVC Filling หนา 10 cm (T10)	13.65	4.00	195.60	96.90

6. เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้านครหลวง (สำนักงานใหญ่). (2567, 27 มีนาคม). กภพ. ประกาศตรึงค่าเอฟที 39.72 สตางค์/หน่วย ค่าไฟฟ้าเรียกเก็บเฉลี่ย 4.18 บาท/หน่วย ถึง ส.ค.67. การไฟฟ้านครหลวง. <https://www.erc.or.th/th/news-release/3029>
- ชาติชาย พิสุทธิบริบูรณ์. (2551). การกำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศ. *สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย*, 16, 82–91.
- ธงไชย เดิมตา, & นุภาพ แยมไตรพัฒน์. (2553). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิร่วมกับ อินเวอร์เตอร์. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 27(4), 49–54.
- ธีรพงศ์ บริรักษ์, & พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2556). การลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์เพื่อเพิ่มสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ด้วยการใช้ PVC Filling. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, 6(2), 147–155. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/25741/21863>
- นพรัตน์ อมัตริรัตน์, & สาทิต พูลโธสง. (2562). ศึกษาการลดอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด ระบายความร้อนด้วยอากาศด้วยแผ่นระเหย. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). *สถิติภูมิอากาศ*. กรมอุตุนิยมวิทยา. <http://climate.tmd.go.th/content/category/29>
- สหประชาชาติประเทศไทย. (ม.ป.ป.). *การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ*. สหประชาชาติประเทศไทย. <https://thailand.un.org/th/173511-การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ>
- สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ.2553* (พิมพ์ครั้งที่ 1). http://berc.dede.go.th/?page_id=842

องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. (2565). *Emission Factor (CFO)*. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก.

<https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKblXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ>

Atmaca, I., Senol, A., & Caglar, A. (2022). Performance testing and optimization of a split-type air conditioner with evaporatively-cooled condenser. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 32, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.09.010>

Chirarattananon, S. (2005). *Building for energy efficiency*. Asian Institute of Technology.

Harby, K., & Al-Amri, F. (2019). An investigation on energy savings of a split air-conditioning using different commercial cooling pad thicknesses and climatic conditions. *Energy*, 182, 321–336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.031>

Harby, K., Gebaly, D. R., Koura, N. S., & Hassan, M. S. (2016). Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 347–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.313>

Martinez, P., Ruiz, J., Cutillas, C. G., Martinez, P. J., Kaiser, A. S., & Lucas, M. (2016). Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. *Applied Thermal Engineering*, 105, 1041–1050. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.067>

Phatidamrongkul, T., & Varodompun, J. (2012). Field efficiency of split-type air conditioners with evaporatively-cooled condensers. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 9(1), 101–112. <https://doi.org/10.56261/jars.v9i1.168601>

Winyuchakrit, P., Limmeechokchai, B., Matsuoka, Y., Gomi, K., Kainuma, M., Fujino, J., & Suda, M. (2011). Thailand's low-carbon scenario 2030: Analyses of demand side CO₂ mitigation options. *Journal of Energy for Sustainable Development*, 15(4), 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.002>

ผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มในเขตอำเภอเมืองลพบุรี

The Effective of an Integrated Exercise Program on the Physical fitness of patient risk of falling in Amphoe Mueang Lopburi

ภูซังค์ ธนะเพิ่ม^{1*}
Puchong Thanaperm¹

¹ นักกายภาพบำบัดชำนาญการ โรงพยาบาลพระนารายณ์มหาราช

¹ Physical Therapist, King Narai Hospital

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มในเขตอำเภอเมืองลพบุรี วิธีการวิจัยเป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experiment research) ศึกษาแบบกลุ่มเดียววัดผลเปรียบเทียบก่อน - หลัง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Pair t-test โดยกลุ่มตัวอย่างมีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่มีภาวะเสี่ยงพลัดตกหกล้มในอำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี จำนวน 45 คน 1 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายแบบผสมผสาน โดยการตรวจประเมินสุขภาพทางกายและความรู้การออกกำลังกายแบบผสมผสาน โดยสอนการออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และฝึกทรงตัว ระยะเวลา 24 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า มีค่าความดันโลหิตช่วงล่าง อัตราการเต้นของหัวใจ ดัชนีมวลกาย และสัดส่วนเส้นรอบเอว/รอบสะโพก มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ การเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุพบว่า ผู้สูงอายุออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกาย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง ความทนทานในการทำงาน การทรงตัว และการเดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุป: การออกกำลังกายแบบผสมผสานเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ และสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดการพลัดตกหกล้ม ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและความเจ็บปวดในผู้สูงอายุ การพัฒนาทักษะเหล่านี้จะช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถมีชีวิตที่มีคุณภาพและอายุยืนยาวขึ้นได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ การออกกำลังกาย การป้องกันการพลัดตกหกล้ม

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of combination exercise on the physical fitness of patients at risk of falls in Muang Lopburi District. This quasi-experimental study employed a single-group pre-post comparison design with a paired t-test. The study included 45 individuals aged 60 years and older who were at risk of falling in Muang Lopburi District, Lopburi Province. Participants underwent a combination exercise program that incorporated physical health assessments, education on combination exercises, and training to enhance strength, flexibility, and balance over a 24-week period. The findings revealed significant differences ($p < .05$) in lower blood pressure, heart rate, body mass index, and waist-hip ratio. Additionally, a comparison of physical fitness before and after the program showed that participants demonstrated significant improvements ($p < .05$) in leg muscle strength, arm muscle strength, upper body flexibility, lower body flexibility, endurance, balance, and walking ability. Combination

* Corresponding author: puchong1557@gmail.com

exercise is a crucial tool for enhancing physical fitness in the elderly and can help reduce the risk of falls, which are a major cause of accidents and discomfort in this population. Developing these skills can contribute to a longer and higher-quality life for older adults.

Keywords: Elderly, Exercise, Preventing falls

1. บทนำ

การสูงวัยของประชากรเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทั่วโลกในรอบทศวรรษนี้ ในขณะที่ประเทศพัฒนาแล้วได้กลายเป็นสังคมสูงอายุอย่างสมบูรณ์เกือบทั้งหมด ประเทศกำลังพัฒนามีอายุสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอัตราเกิดลดลงและผู้คนมีชีวิตยืนยาวขึ้น ประชากรโลกกำลังมีอายุสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี 2021 โลกของเรามีประชากรรวมทั้งหมด 7,875 ล้านคน โดยมี “ผู้สูงอายุ” ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป 1,082 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 14 ของประชากรทั้งหมด “ผู้สูงอายุวัยปลาย” ที่มีอายุ 80 ปีขึ้นไปมีจำนวนมากถึง 151 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 2 ของประชากรทั้งหมด ประชากรสูงอายุในอาเซียน ในปี 2021 มีประชากรรวมทั้งหมด 671 ล้านคน อาเซียนเป็นสังคมสูงอายุแล้ว คือ มีผู้สูงอายุมากถึงร้อยละ 11 ของประชากรทั้งหมด “ผู้สูงอายุวัยปลาย” ที่มีอายุ 80 ปีขึ้นไป เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 7.6 ล้านคน ในปี 2020 เป็น 8.6 ล้านคน ในปี 2021 ซึ่งเท่ากับเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 13 ประชากรสูงอายุในประเทศไทย ในปี 2564 ประเทศไทยมีประชากรรวม 66.7 ล้านคน ประชากรสูงอายุของประเทศไทยได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เมื่อ 50 ปีก่อน ประเทศไทยมีผู้สูงอายุไม่ถึง 2 ล้านคน แต่ในปี 2564 จำนวนผู้สูงอายุ เพิ่มขึ้นเป็น 12.5 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 19 ของประชากรทั้งหมด ประเทศไทยกำลังจะกลายเป็น “สังคมสูงอายุอย่างสมบูรณ์” ภายในปี 2565 นี้ ในอีก 20 ปีข้างหน้า ประชากรรวมของประเทศไทยจะเพิ่มช้าลง อัตราเพิ่มประชากรจะลดลง แต่ประชากรสูงอายุจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปจะเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 4 ต่อปี ผู้สูงอายุวัยปลาย 80 ปีขึ้นไป จะเพิ่มด้วยอัตราเฉลี่ยถึงร้อยละ 7 ต่อปี (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2557) และเนื่องด้วยในปี 2566 พบว่ามีผู้สูงอายุในเขตอำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี มีจำนวน 37,022 คน และได้รับการคัดกรองการพลัดตกหกล้มจากรายงานของระบบฐานข้อมูล ศูนย์อนามัยที่ 4 สระบุรี (HDC SERVICE) สถิติปี 2566 มีผู้สูงอายุที่อายุ 60 ปีขึ้นไปทั้งชายและหญิงมีจำนวน 22,287 คน พบว่ามีจำนวน 976 คนเกิดความผิดปกติ เช่น กระดูกข้อมือ กระดูกหลัง กระดูกสะโพกหัก โดยจำนวนนี้พบว่าเฉพาะผู้ป่วยที่กระดูกสะโพกหัก ในจำนวนนี้ร้อยละ 4.4 มีภาวะกระดูกสะโพกหักซ้ำอีกด้วย ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ผู้สูงอายุพลัดตกหกล้มและนำไปสู่ข้อสะโพกหัก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพ พบว่าการรักษาผู้สูงอายุที่ประสบกับการพลัดตกหกล้มเพิ่มค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพอย่างมาก และมีโอกาสเกิดการเสียชีวิตภายในหนึ่งปีถึงร้อยละ 20 (กรมควบคุมโรค, 2565) และการป้องกันการพลัดตกหกล้มสำหรับผู้สูงอายุนั้น แนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดโอกาสเสี่ยงของการเกิดการพลัดตกหกล้มคือ การออกกำลังกายที่เหมาะสม โดยการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายที่สามารถลดโอกาสเกิดการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุได้ถึงร้อยละ 42 จากการศึกษาอย่างเป็นระบบที่ผ่านมาพบว่า การฝึกออกกำลังกายแบบผสมผสานที่ได้จากการศึกษาช่วยลดความเสี่ยงการหกล้ม ได้แก่ ฝึกการทรงตัว ฝึกออกกำลังกายเสมือนจริง ฝึกรับรู้ตำแหน่งข้อต่อและการเคลื่อนไหว ฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ฝึกเวลาตอบสนองด้วยตัวขึ้นการไต่บัน ฝึกการทำกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ประสานการทำงานของสมองหรือสติปัญญาและกล้ามเนื้อ ฝึกออกกำลังกายด้วยการสั่น ฝึกแอโรบิค ฝึกทำงานสองอย่างไปพร้อมกัน ยืดกล้ามเนื้อ ฝึกการออกกำลังกายไทชิ และฝึกเดินย่ำเท้า ซึ่งช่วยส่งเสริมการทำงานเชื่อมประสานกันระหว่างระบบประสาทและระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ (ยุพา โปผา, 2023) ซึ่งจากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการส่งเสริมการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุโดยสนใจศึกษาผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มในเขตอำเภอเมืองลพบุรี

2. วัตถุประสงค์ของวิจัย

เพื่อศึกษาผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มในเขตอำเภอเมืองลพบุรี

3. วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experiment research) ศึกษาแบบกลุ่มเดียววัดผลเปรียบเทียบก่อน-หลัง วิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบ สมรรถภาพทางกายเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนหลังโดยใช้สถิติ Pair t-test

ขอบเขตงานวิจัยประชากร คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่มีภาวะเสี่ยงพลัดตกหกล้มในอำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี จำนวน 35 คนพิจารณาจำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัยที่อาจจะสูญหาย ขนาดของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพิ่มขึ้นเป็น 45 คน

การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้สูตรคำนวณของกลุ่มตัวอย่าง

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N-1)e^2 + Z\sigma^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดของประชากร

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

Z = ค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า Z = 1.96

$$\begin{aligned} n &= \frac{37,022 \times 1.96^2 \times 15^2}{(37,022-1)52 + (1.96 \times 152)} \\ &= 34.56 \\ &= 35 \text{ คน} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัยที่อาจจะสูญหาย ขนาดของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพิ่มขึ้นเป็น 45 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่มีภาวะเสี่ยงพลัดตกหกล้มในอำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี ที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง การวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาและอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลพระนารายณ์มหาราช รหัสงานวิจัย KNH 19/2567 ลงวันที่ 9 เมษายน 2567 ก่อนการเก็บข้อมูลวิจัย ผู้วิจัยชี้แจง วัตถุประสงค์ รายละเอียดในการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างรับทราบ การเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้เป็นไปด้วยความสมัครใจ โดยแสดงความ ปรารถนาเข้าร่วมการวิจัย ด้วยการลงนามเป็นลายลักษณ์อักษร และกลุ่มตัวอย่างสามารถถอนตัวจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ ทราบล่วงหน้า ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บรักษาไว้เป็นความลับไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล รายงานผลการวิจัยเป็นข้อมูลภาพรวม

ผู้วิจัยได้นำไปตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ และหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence: IOC) โดยผู้ส่งคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ซึ่งพบว่า มีค่า IOC เท่ากับ 1 ซึ่ง ที่มีค่า IOC สูงกว่า 0.50 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ของ Rovinelli & Hambleton และนำไปทดลองใช้ (Try-Out) กับกลุ่มผู้สูงอายุที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างและประเมินการ ทดสอบ จำนวน 15 ราย พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Chronbach's alpha coefficient) เท่ากับ 0.7 ซึ่งเป็นไปตาม เกณฑ์ที่ตั้งไว้ของ Rovinelli & Hambleton (1977)

เกณฑ์คัดเข้า

1. ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปในอำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี
2. เป็นผู้สูงอายุที่มีประวัติพลัดตกหกล้มอย่างน้อย 1 ครั้ง ภายใน 6 เดือน
3. การทดสอบ time up and go test มากกว่า 12 วินาที

เกณฑ์คัดออก

1. ผู้พิการด้านร่างกายที่ไม่สามารถเข้าร่วมการทดสอบสมรรถภาพทางกายได้

2. ผู้สูงอายุที่แพทย์เคยแนะนำไม่ให้ออกกำลังกายเนื่องจากมีโรคหรือภาวะสุขภาพ
3. มีภาวะหัวใจล้มเหลว (congestive heart failure)
4. อยู่ในช่วงเวลาที่มมีอาการปวดข้อ เจ็บหน้าอก (onset pain) มึนงงหรือหน้ามืด (Dizziness) หรือมีการแน่นหน้าอกจากโรคหัวใจขาดเลือด (angina) ระหว่างออกกำลังกาย
5. เป็นความดันสูง (ไม่ได้รับประทานยาหรือควบคุมไม่ได้ กรณีสูงกว่า 160/100 มิลลิเมตรปรอท)
6. ผู้สูงอายุมีภาวะสมองเสื่อม (Dementia)

ช่วงเวลาที่ดำเนินงานตั้งแต่ มกราคม 2567 – กันยายน 2567

โดยแบ่งเป็น 1 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายแบบผสมผสาน โดยจะได้รับการตรวจประเมินสุขภาพทางกายและความรู้ในเรื่องการออกกำลังกายแบบผสมผสาน

ดำเนินการทดลอง (1) ให้ผู้สูงอายุตรวจประเมินครั้งที่ 1 (Pre-test) (2) เข้าโปรแกรมการออกกำลังกายตามแผนพับทำบริหารของผู้สูงอายุทุกท่า ท่าละ 10 ครั้ง ที่งานกายภาพบำบัด โรงพยาบาลพระนารายณ์มหาราช ทุกวันศุกร์ เป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อสอนท่าบริหารและตรวจสอบว่าผู้สูงอายุสามารถบริหารได้อย่างถูกต้อง พร้อมทั้งแจกแผนพับทำบริหารเพื่อให้ผู้สูงอายุกลับไปบริหารเองที่บ้านสัปดาห์ละ 3 วัน เวลา 30 นาที ตามแบบบันทึกจำนวนครั้งของการออกกำลังกายโดยทีมอาสาสมัครดูแลหมู่บ้าน (อสม.) เป็นผู้ดูแลติดตามการออกกำลังกายของผู้สูงอายุในเขตความรับผิดชอบแต่ละหมู่บ้าน (4) เมื่อดำเนินการทดลองสิ้นสุดในสัปดาห์ที่ 24 ผู้วิจัยและผู้ช่วยนักวิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองโดยตรวจสอบสุขภาพ (5) ทำการทดสอบสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุตรวจประเมินครั้งที่ 2 (Post-test) (6) บันทึกผลที่ได้ลงในโปรแกรม PT Aging พร้อมทั้งแปลผลการตรวจประเมินความสามารถทางกายของผู้สูงอายุครั้งที่ 2 (7) แจกแก่ผู้สูงอายุแต่ละบุคคล (8) สรุปและวิเคราะห์ผลหลังการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยศึกษาจากการทบทวนเอกสารงานวิจัย พัฒนาต่อยอดฐานความรู้จากกรมอนามัย และ สสส. แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 แบบสัมภาษณ์ข้อมูลส่วนบุคคล ส่วนที่ 2 แบบประเมินสุขภาพทางกายแบบองค์รวม ประกอบด้วย ดัชนีมวลกาย (BMI) สัญญาณชีพ (HR) สัดส่วนรอบเอว/รอบสะโพก (waist-hip ratio) และแบบบันทึกการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ประกอบด้วย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Strength of leg) โดยใช้แบบทดสอบการประเมินเวลาที่ใช้ในการลุกนั่ง 5 ครั้ง (Five Time Sit-to-Stand Test) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน (Strength of arm) โดยใช้แบบทดสอบการนั่งงอแขน ยกน้ำหนัก 30 วินาที (30 Second arm curl Test) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ (Strength of hand) โดยใช้เครื่องบีบแรงมือ (Hand grip) ความทนทานในการทำงาน (Endurance) โดยใช้แบบทดสอบยืนยกเข่า 2 นาที (2 Minute Step Test) ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน (Flexibility of upper body) โดยใช้แบบทดสอบแตะมือด้านหลัง (Back Scratch Test) ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง (Flexibility of lower body) โดยใช้แบบทดสอบนั่งเก้าอี้ยื่นแขนแตะปลายเท้า (Chair Sit and Reach Test) การทรงตัว (balance) โดยใช้แบบทดสอบการลุก-เดิน-นั่ง-ไปกลับ (Time Up and Go Test) การเดิน (Gait) โดยใช้แบบทดสอบการเดินด้วยความเร็วปกติระยะทาง 10 เมตร (10-Meter Walk Test) และบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม PT Aging network เพื่อแปลผล ส่วนที่ 3 แบบบันทึกจำนวนครั้งของการออกกำลังกาย

2. โปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ คือ การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อแขนและขา การออกกำลังกายยืดเหยียดกล้ามเนื้อแขนและขา และการออกกำลังกายฝึกการทรงตัว โดยใช้แบบประเมินความสามารถทางกายของผู้สูงอายุ 7 ฐาน และโปรแกรม PT Aging network ซึ่งเป็นโปรแกรมการลงทะเบียนและบันทึกข้อมูลผู้สูงอายุของเครือข่ายกายภาพบำบัด (ทิวาพร ทวีวรรณกิจ และคณะ, 2558)

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

วัดผลเปรียบเทียบก่อน-หลัง วิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนหลังโดยใช้สถิติ Pair t-test

4. ผลการวิจัย

สรุปผู้สูงอายุที่เข้าร่วมการตรวจประเมินสมรรถภาพทางกายครั้งที่ 1 มีทั้งหมด 45 ราย ดังนี้
วิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล

ตารางที่ 1 คุณลักษณะส่วนบุคคลของผู้สูงอายุ

คุณลักษณะส่วนบุคคล		จำนวน (คน)	ร้อยละ
อายุ(ปี)	69-60	24	53.3
	79-70	14	31.1
	79-80	7	15.6
เพศ	ชาย	6	13.3
	หญิง	39	86.7
การอยู่อาศัย	อยู่คนเดียว	6	13.3
	อยู่กับคู่สมรส	19	42.2
	อยู่กับบุตรหลาน	20	44.5
ระดับการศึกษา	ไม่ได้เรียน	3	6.7
	ประถมศึกษา	33	73.3
	มัธยมศึกษา	6	13.3
	ปริญญาตรี หรือสูงกว่า	3	6.7
	อื่นๆ	-	-
อาชีพ	ข้าราชการ/ข้าราชการบำนาญ	1	2.2
	พนักงานเอกชน/ลูกจ้างเอกชน	7	15.6
	ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	8	17.7
	เกษตรกร	7	15.6
	อื่นๆ	22	48.9
โรคประจำตัว	โรคเบาหวาน	11	24.4
	โรคความดันโลหิตสูง	10	22.2
	โรคไขมันในเลือดสูง	8	17.8
	โรคไต	-	-
	โรคโลหิตจาง	-	-
	โรคมะเร็ง	-	-
	โรคกระดูกและข้อ	3	6.7
	อื่นๆ	7	15.6
	ไม่มีโรคประจำตัว	6	13.3
อายุ(ปี)	69-60	24	53.3
	79-70	14	31.1
	79-80	7	15.6

ตารางที่ 1 คุณลักษณะส่วนบุคคลของผู้สูงอายุ (ต่อ)

คุณลักษณะส่วนบุคคล		จำนวน (คน)	ร้อยละ
วิธีออกกำลังกายที่ใช้เป็นประจำ	เดิน	16	35.6
	วิ่ง	-	-
	ไทชิ/ซิงก	1	2.2
	เต้นแอโรบิค	2	4.4
	ปั่นจักรยาน	3	6.7
	รำไม้พลอง	-	-
	อื่นๆ	5	11.1
	ไม่ได้ออกกำลังกาย	18	40
จำนวนครั้งของการออกกำลังกายต่อสัปดาห์	ทุกวัน	11	24.4
	3 ครั้งขึ้นไปต่อสัปดาห์	12	26.7
	ครั้งต่อสัปดาห์ 2-1	4	8.9
	ไม่ได้ออกกำลังกาย	18	40

ผลการเปลี่ยนแปลงภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายแบบผสมผสาน
ผลการเปลี่ยนแปลงภาวะสุขภาพและสมรรถภาพของผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายแบบผสมผสาน ดังตาราง 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุจำแนกระหว่างก่อนและหลังการทดลอง (n = 45)

ภาวะสุขภาพ	ก่อนทดลอง		หลังทดลอง	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ประวัติการล้ม				
การล้ม ครั้ง 1	6	13.33	1	2.22
การล้ม ครั้ง 2	3	6.67	1	2.22
การล้ม 3 ครั้งขึ้นไป	3	6.67	-	-
ไม่มีการล้ม	33	73.33	43	95.56
ความดันโลหิต (มิลลิเมตรปรอท)				
ช่วงบน				
≤ 90	1	2.22	-	-
91-110	-	-	5	11.11
111-130	8	17.78	12	26.67
131-150	20	44.44	20	44.44
≥151	16	35.56	8	17.78

ก่อนการทดลอง $\bar{X} = 144$, S.D = 14.97 หลังการทดลอง $\bar{X} = 140$, S.D = 18.83

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุจำแนกหวังก่อนและหลังการทดลอง (n = 45) (ต่อ)

ภาวะสุขภาพ	ก่อนทดลอง		หลังทดลอง	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ช่วงล่าง				
≤ 70	8	17.78	15	33.33
70 - 80	12	26.67	17	37.78
81 - 90	19	42.22	10	22.22
91 - 100	1	2.22	3	6.67
≥101	5	11.11	-	-
ก่อนการทดลอง $\bar{X}$ = 80, S.D = 11.99 หลังการทดลอง $\bar{X}$ = 70, S.D = 10				
อัตราการเต้นของหัวใจ(ครั้ง/นาที)				
50 - 59	-	-	1	2.22
60 - 69	13	28.89	12	26.67
70 - 79	14	31.11	15	33.33
80 - 89	8	17.78	11	24.44
90 - 99	6	13.33	6	13.33
≥100	4	8.89	-	-
ก่อนการทดลอง $\bar{X}$ = 77.28, S.D = 10.73 หลังการทดลอง $\bar{X}$ = 77.86, S.D = 9.78				
ดัชนีมวลกาย(กก./ม²)				
≤ 20.28	3	6.67	5	11.11
20.09 – 24.95	15	33.33	19	42.22
24.95 – 29.81	16	35.56	10	22.22
≥29.82	11	24.44	11	24.44
ก่อนการทดลอง $\bar{X}$ = 26.16, S.D = 4.55 หลังการทดลอง $\bar{X}$ = 26.10, S.D = 5.22				
เส้นรอบเอว/รอบสะโพก(ซ.ม.²)				
≤0.8	5	11.11	3	6.67
0.801 - 0.849	5	11.11	4	8.89
0.850 - 0.899	14	31.11	20	44.44
0.900 - 0.949	15	33.33	12	26.67
0.950 - 0.999	6	13.33	6	13.33
≥1				
ก่อนการทดลอง $\bar{X}$ = 0.88, S.D = 0.58 หลังการทดลอง $\bar{X}$ = 0.89, S.D = 0.52				

จากตารางที่ 2 พบว่า ผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายแบบผสมผสานมีความดันโลหิตปกติช่วงบน ก่อนการทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 131 - 150 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 44.44 รองลงมา ≥151 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 35.56 รองลงมา 111 - 130 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 17.78 และ $\bar{X}$ = 144, S.D = 18.97 หลังทดลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 131-150 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 44.44 รองลงมา 111 - 130 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 26.67 และ $\bar{X}$ = 140, S.D = 18.83

ความดันโลหิตช่วงล่าง ก่อนทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 81 - 90 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 37.78 รองลงมา 71 - 80 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 26.67 รองลงมา ≤ 70 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 17.78 และ $\bar{X}$ = 80, S.D = 11.99 หลังทดลอง

ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 71 - 80 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 42.22 รองลงมา ≤ 70 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมา 81 - 90 มิลลิเมตรปรอท คิดเป็นร้อยละ 22.22 และ $\bar{X} = 70$, S.D = 10

อัตราการเต้นของหัวใจ ก่อนทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 79 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 31.11 รองลงมา 60 - 69 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 28.89 รองลงมา 80-89 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 17.78 และ $\bar{X} = 77.28$, S.D = 10.73 หลังทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 79 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมา 60 - 69 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 26.67 รองลงมา 80 - 89 ครั้ง/นาที คิดเป็นร้อยละ 24.44 และ $\bar{X} = 77.86$, S.D = 9.78

ดัชนีมวลกาย ก่อนทดลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 24.95 - 29.81 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 35.56 รองลงมา 20.09 - 24.95 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมา ≥ 29.82 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 24.44 และ $\bar{X} = 26.16$, S.D = 4.55 หลังทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20.09 - 24.95 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 42.22 รองลงมา ≥ 29.82 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 24.44 รองลงมา 24.95 - 29.81 กก./ม² คิดเป็นร้อยละ 22.22 และ $\bar{X} = 26.10$, S.D = 5.22

เส้นรอบเอว/รอบสะโพก ก่อนทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.900 - 0.949 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมา 0.850 - 0.899 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 31.11 รองลงมา 0.950 - 0.999 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 13.33 และ $\bar{X} = 0.88$, S.D = 0.58 หลังทดลอง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.850 - 0.899 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 44.44 รองลงมา 0.900 - 0.949 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 26.67 รองลงมา 0.950 - 0.999 ซม.² คิดเป็นร้อยละ 13.33 และ $\bar{X} = 0.89$, S.D = 0.52

การเปรียบเทียบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ ก่อนและหลังการออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุจำแนกระหว่างก่อนและหลังการทดลอง (n = 45)

ภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ	ก่อนทดลอง		หลังทดลอง		t	p-value (one-tail)
	$\bar{X}$	S.D	$\bar{X}$	S.D.		
ภาวะสุขภาพ						
1. ความดันโลหิต (มม.ปรอท)						
ช่วงบน	144	14.97	140	18.83	1.23	.95
ช่วงล่าง	80	11.99	70	10	2.37	.05
2. อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)						
	77.28	10.73	77.86	9.78	-0.35	.01*
3. ดัชนีมวลกาย (กก/ม ²)						
	26.16	4.55	26.10	5.22	0.17	.01*
4. เส้นรอบเอว/รอบสะโพก (ซม.)						
	0.88	0.58	0.89	0.52	-0.03	.01*
สมรรถภาพทางกาย						
1. ความแข็งแรงกล้ามเนื้อขา (วินาที)						
	14.52	4.31	10.82	3.43	5.41	.03*
2. ความแข็งแรงกล้ามเนื้อแขน (ครั้ง)						
	15.46	4.08	17.42	4.74	6.50	.01*
3. ความแข็งแรงกล้ามเนื้อมือ (กก.)						
	20.98	5.68	26.15	20.82	-1.62	.72
4. ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน (ซม.)						
	-16	16.09	-8	17.47	-3.24	.01*
5. ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง (ซม.)						
	1.48	6.21	2.84	5.73	-1.25	.07
6. ความทนทานในการทำงาน (ครั้ง)						
	49.56	18.88	78.20	18.20	29.14	.01*
7. การทรงตัว (วินาที)						
	11.27	5.17	11.16	5.31	0.37	.01*
8. การเดิน (วินาที)						
	5.00	2.06	5.01	2.24	-0.19	.01*

หมายเหตุ * ค่า p < 0.05

จากตาราง 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุพบว่า ผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ มีค่าอัตราการเต้นของหัวใจ ดัชนีมวลกาย และสัดส่วนเส้นรอบเอว/รอบสะโพก มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับความดันโลหิตช่วงบน และความดันโลหิตช่วงล่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุพบว่า ผู้สูงอายุออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกาย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง ความทนทานในการทำงาน การทรงตัว และการเดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลส่วนบุคคล

ผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายแบบผสมผสานส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 60-69 ปี คิดเป็นร้อยละ 53.3 เพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 86.7 อาศัยอยู่กับบุตรหลานคิดเป็นร้อยละ 44.5 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 73.3 อาชีพ อื่นๆ (ไม่ได้ทำงาน) คิดเป็นร้อยละ 48.9 โรคเบาหวาน คิดเป็นร้อยละ 24.4 ออกกำลังกายด้วยการเดิน คิดเป็นร้อยละ 35.6 ออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 26.7 และเมื่อเข้าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสาน พบว่า ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการออกกำลังกายแบบผสมผสาน สัปดาห์ละ 3 วัน เวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 100

2. สมรรถภาพทางกาย

จากการวัดสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุก่อนและหลังทดลอง พบว่า ผู้สูงอายุออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกาย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน ความทนทานในการทำงาน การทรงตัว และการเดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา พบว่า กลุ่มตัวอย่างใช้เวลาลดลงจาก 14.52 วินาที เป็น 10.82 วินาที และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 18 คน คิดเป็นร้อยละ 40 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกาย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาผ่านเกณฑ์การทดสอบ 40 คน คิดเป็นร้อยละ 88.89

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน พบว่า ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนเพิ่มขึ้น จาก 15.46 ครั้ง เป็น 17.42 ครั้ง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 43 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 95.56 หลังการทดลองผู้สูงอายุ มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนผ่านเกณฑ์การทดสอบ 44 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 97.78

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือเพิ่มจาก 20.98 กิโลกรัม เป็น 26.15 กิโลกรัม และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 5 คน คิดเป็นร้อยละ 11.11 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือผ่านเกณฑ์การทดสอบ 9 คน คิดเป็นร้อยละ 20

ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน พบว่า ค่าเฉลี่ยความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบนเพิ่มขึ้นจาก -16 เซนติเมตร เป็น -8 เซนติเมตร และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 13 คน คิดเป็นร้อยละ 28.89 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุ มีความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบนผ่านเกณฑ์การทดสอบ 22 คน คิดเป็นร้อยละ 48.89

ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่างเพิ่มขึ้นจาก 1.48 เซนติเมตร เป็น 2.84 เซนติเมตร และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ

41 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 91.11 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุ มีความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่างผ่านเกณฑ์การทดสอบ 44 คิดเป็นร้อยละ 97.78

ความทนทานในการทำงาน พบว่า ค่าเฉลี่ยความทนทานในการทำงาน เพิ่มขึ้นจาก 49.56 ครั้ง เป็น 78.20 ครั้ง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 8 คน คิดเป็นร้อยละ 17.78 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุมีความทนทานในการทำงาน ผ่านเกณฑ์การทดสอบ 34 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75.56

การทรงตัว พบว่า ค่าเฉลี่ยการทรงตัวลดลง จาก 11.27 วินาที เป็น 11.16 วินาที และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 35 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 77.78 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุมีการทรงตัวผ่านเกณฑ์การทดสอบ 37 ทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 82.22

การเดิน พบว่า ค่าเฉลี่ยการเดิน ผู้สูงอายุใช้เวลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 5.00 วินาที เป็น 5.01 วินาที และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 จากการทดลอง ก่อนการทดลองผู้สูงอายุผ่านเกณฑ์การทดสอบ 17 คน คิดเป็นร้อยละ 37.78 ส่วนหลังการทดลองผู้สูงอายุ มีการเดินผ่านเกณฑ์การทดสอบ 19 คน คิดเป็นร้อยละ 42.22

โดยสรุปจากการศึกษาผลของโปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุต่อภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ พบว่า 1) ด้านภาวะสุขภาพ ผู้สูงอายุที่เข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายมีค่าเฉลี่ย อัตราการเต้นของหัวใจ ($p=0.01$) ดัชนีมวลกาย ($p=0.01$) และสัดส่วนเส้นรอบเอว/รอบสะโพก ($p=0.01$) ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 สำหรับความดันโลหิตช่วงบน และความดันโลหิตช่วงล่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 2) ด้านสมรรถภาพทางกาย พบว่า ผู้สูงอายุที่เข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ($p=0.03$) ความแข็งแรงกล้ามเนื้อแขน ($p=0.01$) ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน ($p=0.01$) ความทนทานในการทำงาน ($p=0.01$) การทรงตัว ($p=0.01$) และการเดิน ($p=0.01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ ความแข็งแรงกล้ามเนื้อมือ ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.05

ผลของการออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุต่อภาวะสุขภาพ จากการประเมินภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุก่อนและหลังทดลอง พบว่า ผู้สูงอายุมีอัตราการเต้นของหัวใจ ดัชนีมวลกาย และสัดส่วนเส้นรอบเอว/รอบสะโพก ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องจากผู้สูงอายุมีการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องทุกวัน นานเป็นระยะเวลา 6 เดือน อาจทำให้ระบบการไหลเวียนและหลอดเลือดทำงานได้ดีขึ้น หัวใจจึงไม่ต้องทำงานหนักขึ้น เพื่อสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายจึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ ดัชนีมวลกาย และสัดส่วนเส้นรอบเอว/รอบสะโพก ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุสารี ประคินกิจ และคณะ (2562) ศึกษาผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสานกายและจิตสุข 5 มิติ พบว่าผู้เข้าร่วมโปรแกรมจำนวน 50 คน มีความดันโลหิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลอง โดยโปรแกรมนี้รวมถึงการออกกำลังกายที่มีความหนักตั้งแต่ระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง (20-50% Heart Rate Reserve) ทำให้สามารถลดระดับไขมันในเลือดและเพิ่มมวลกระดูกได้ด้วย

ผลของการออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุต่อสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุพบว่า ผู้สูงอายุที่ออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความแข็งแรงกล้ามเนื้อแขน ความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนบน ความทนทานในการทำงาน การทรงตัวและการเดิน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจากการออกกำลังกายตามโปรแกรมนีเป็นการออกกำลังกายแบบผสมผสานที่มีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ และเพิ่มความทนทานในการทำงาน ส่งผลให้เกิดผลดีต่อสมรรถภาพทางกาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฏฐา สิทธิธนวิธ และคณะ (2567) ศึกษาผลของโปรแกรมการออกกำลังกายต่อความสามารถในการทรงตัวและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย (Sarcopenia) โดยใช้เครื่องออกกำลังกายแบบไม่รับน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าผู้สูงอายุที่เข้าร่วมโปรแกรมมีความสามารถในการทรงตัวและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในส่วนของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากการออกกำลังกายแบบผสมผสานไม่มีท่าออกกำลังกายเฉพาะส่วนของกลุ่มกล้ามเนื้อมือ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ วุฒิพงษ์ เชื้อมนอก และคณะ (2565) ศึกษาการเปรียบเทียบผลการบริหารกล้ามเนื้อโดยใช้ลูกบอลนุ่ม แบงโดว์ และฟองน้ำ ต่อแรงบีบมือของผู้สูงอายุที่มีกล้ามเนื้ออ่อนแรง พบว่า แรงบีบมือทั้ง

สองข้างของผู้สูงอายุหลังการบริหารกล้ามเนื้อทั้ง 2 ข้างโดยใช้ลูกบอลนุ่ม แป้งโดว์ และฟองน้ำมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความยืดหยุ่นของร่างกายส่วนล่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการสัมภาษณ์พบว่าขณะออกกำลังกายผู้เข้าร่วมวิจัยจะรู้สึกตึงมากจึงไม่ปฏิบัติตามอย่างต่อเนื่องหรือไม่สามารถคงค้างได้ตามเวลาที่กำหนด ทำให้ผลการออกกำลังกายแบบผสมผสานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ นัยตชนก ถิ่นจะนะ และคณะ (2561) ศึกษาผลของโปรแกรมส่งเสริมการออกกำลังกายที่บ้านโดยใช้ยางยืดต่อสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ พบว่าโปรแกรมนี้สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อในผู้สูงอายุได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยมีการเคลื่อนไหวดีขึ้นและสามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ดีขึ้น

จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การนำการออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกายมาใช้ในการพัฒนาภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ จึงควรสนับสนุนให้ผู้สูงอายุได้ออกกำลังกายแบบผสมผสานทั้งการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพิ่มความยืดหยุ่นกล้ามเนื้อ และเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกาย สำหรับการนำโปรแกรมออกกำลังกายไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุให้มีความยั่งยืน อาจพิจารณาใช้การออกกำลังกายแบบกลุ่มบริหาร ร่วมกับมีดนตรีประกอบการออกกำลังกายที่หลากหลาย รวมถึงการเพิ่มท่าในการออกกำลังกายให้มีความร่วมสมัยมากขึ้น

พฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุ จากการสังเกตผู้สูงอายุที่เข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสาน สัปดาห์ละ 3 วัน เวลา 30 นาที นาน 24 สัปดาห์ พบว่าผู้สูงอายุมีความสุขสนุกสนาน ร่าเริง อารมณ์ดี มีสัมพันธ์ภาพที่ดีกับกลุ่มผู้สูงอายุด้วยกัน รวมถึงมีความตั้งใจที่จะออกกำลังกาย ตลอดจนได้มีการเล่าแลกเปลี่ยนทัศนคติต่อผลดีของการออกกำลังกาย เช่น การเดินได้คล่องตัวมากขึ้น การเคลื่อนไหวร่างกายดีขึ้น นอกจากนี้ผลการออกกำลังกายสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่น มีส่วนร่วมในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับสมาชิกที่เข้าร่วมกิจกรรม เห็นแบบอย่าง (role of model) มีการแสดงออกถึงการเป็นผู้ให้และผู้รับในเวลาเดียวกัน เกิดความภาคภูมิใจ สร้างแรงจูงใจ และพลังในการกระทำอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการออกกำลังกายแบบผสมผสานเป็นการประยุกต์ให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุ โดยเน้นทั้งความแข็งแรง ความยืดหยุ่น การทรงตัว และการเคลื่อนไหว กระตุ้นให้เข้าร่วมกลุ่มและร่วมเป็นกำลังใจให้อย่างใกล้ชิด เป็นการเสริมแรงด้านการสนับสนุนทางสังคม สิ่งเหล่านี้ทำให้ผู้สูงอายุได้เห็นความสำคัญของการออกกำลังกาย นั่นคือทัศนคติที่ดีของการออกกำลังกาย ปฏิบัติได้ง่าย อีกทั้งเป็นการจูงใจให้มีการปฏิบัติตามอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลลัพธ์ระยะยาว สร้างความมั่นคงแข็งแรงของร่างกาย ป้องกันภาวะเสื่อมของร่างกาย ป้องกันการเจ็บป่วยและภาวะแทรกซ้อนจากโรคต่างๆ และป้องกันการหกล้ม ในชีวิตประจำวัน

การออกกำลังกายแบบผสมผสาน เป็นการออกกำลังกายทั่วร่างกาย เพื่อให้ร่างกายแข็งแรง และมีการทรงตัวที่ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยลดอุบัติเหตุการล้มและการป้องกันการลัดตกหกล้ม ซึ่งเป็นสาเหตุของกระดูกหักในผู้สูงอายุ ดังนั้นการออกกำลังกายมีประโยชน์ต่อผู้สูงอายุมาก ควรทำให้เป็นกิจวัตรประจำวัน ได้แก่ การออกกำลังกายเพิ่มความทนทานหรือแอโรบิก ช่วยเพิ่มการทรงตัว เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และ เพิ่มยืดหยุ่น ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการเดินของหัวใจและการหายใจ การเดินเร็วเป็นวิธีที่ดีที่สุดหรับรับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในผู้สูงอายุ การออกกำลังกายเพื่อช่วยทรงตัว สามารถป้องกันการหกล้มได้ การออกกำลังกายแบบเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จะทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง การออกกำลังกายแบบยืดหยุ่นช่วยให้ร่างกายทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ตามปกติ ช่วยการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (ชญา คงเพ็ชร, 2561) และยังมีผลต่อจิตใจ คือทำให้รู้สึกผ่อนคลาย ลดความตึงเครียดทางอารมณ์ และภาวะซึมเศร้า (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ: สสส, 2565)

จากผลการศึกษา พบว่า การออกกำลังกายแบบผสมผสานที่นำมาใช้กับผู้สูงอายุ ทำให้ผู้สูงอายุมีภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายดีขึ้น โดยเฉพาะความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัวของร่างกายส่วนบนและความอ่อนแรงของร่างกายส่วนล่าง ซึ่งสามารถส่งผลให้การทรงตัว การเดินดีขึ้นร่วมด้วย ดังนั้นจึงควรนำรูปแบบการออกกำลังกายแบบผสมผสานมาใช้ในการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุให้มีความสุขยั่งยืน ความเสี่ยงต่อการลัดตกหกล้มนำมาความเจ็บปวดและการลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำผลการฝึกการออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อสมรรถภาพทางกายของผู้ป่วยเสี่ยงพลัดตกหกล้มที่สามารถเพิ่มสมรรถนะการทำงานของร่างกายไปประยุกต์ใช้ในการดูแลส่งเสริมการออกกำลังกายเพื่อป้องกันการหกล้มหรือลดภาวะเสี่ยงต่อการหกล้ม ด้วยรูปแบบที่หลากหลายโดยเลือกให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตประจำวัน
2. ควรพัฒนาระบบการติดตามประเมินผลการลดภาวะเสี่ยงจากการพลัดตกหกล้มอย่างต่อเนื่อง เพื่อกระตุ้นให้ผู้สูงอายุมีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอผ่านนวัตกรรม
3. ควรส่งเสริมให้ผู้สูงอายุแต่งกายให้ถูกต้องตามหลักการออกกำลังกาย เพื่อให้เกิดความเคยชิน สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้กระฉับกระเฉงมากขึ้น และป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นจากการออกกำลังกายได้

การอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2565, 23 กุมภาพันธ์). ข้อมูลพลัดตกหกล้ม. กองป้องกันการบาดเจ็บ.
<https://ddc.moph.go.th/dip/news.php?news=23567>
- คงเพชร, ข. (2561). การออกกำลังกายในผู้สูงอายุ. *วารสารพยาบาล*, 68(4), 68–71.
<https://he02.tci-thaijo.org/index.php/TJN/article/view/233553>
- ธัญญรัตน์ อโนทัยสินทวี และคณะ. (2557). การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ เรื่อง มาตรการป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ. (รายงานผลการวิจัย). มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. <https://www.hitap.net/documents/24277>
- นัยต์ชนก ถิ่นจะนะ, ขนิษฐา นาคะ, & ไหมไทย ศรีแก้ว. (2561). ผลของโปรแกรมส่งเสริมการออกกำลังกายที่บ้านโดยใช้ยางยืดต่อสมรรถภาพทางกายผู้สูงอายุ. *วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์*, 38(2), 70–78.
<https://he02.tci-thaijo.org/index.php/nur-psu/article/view/132035>
- ยุพา โพบา, & พรรณี บัญชรหัตถกิจ. (2566). ผลของการฝึกออกกำลังกายแบบผสมผสานต่อการลดภาวะเสี่ยงหกล้มในผู้สูงอายุ: ทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ. *วารสารโรงพยาบาลสิงห์บุรี*, 31(3), 88–102.
<https://he01.tci-thaijo.org/index.php/shj/article/view/261479>
- วุฒิพงษ์ เชื้อมนอก, นภาพิพย์ ตั้งตรีจักร, กุลพิธาน จุลแสวก, & ขวามาศ พุมพิง. (2565). การเปรียบเทียบผลการบริหารกล้ามเนื้อโดยใช้ลูกบอลนุ่ม แป้งโดว์ และฟองน้ำ ต่อแรงบีบมือของผู้สูงอายุที่มีกล้ามเนื้ออ่อนแอ. *วารสารพยาบาลทหารบก*, 23(1), 463–472. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JRTAN/article/view/250132>
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ. (2565, 30 กันยายน). *ประโยชน์ที่ได้รับจากการออกกำลังกายสม่ำเสมอ*.
<https://www.thaihealth.or.th/ประโยชน์ที่ได้รับจากกา>
- สิทธิทวี, ณ., สิทธิทวี, ร., & ดวงณี, จ. (2567). ผลของโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อการจัดการดูแลและชะลอการเกิดภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย (Sarcopenia) ของผู้สูงอายุในสถานสงเคราะห์คนชราบ้านลพบุรี. *วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน*, 10(1), 145–155. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/ajcph/article/view/264258>
- สุสารี ประคินกิจ, ลัญญา พิมพ์พันธ์ชัยบุลย์, & กาญจนา งามจันทร์หาพิทย์. (2562). ผลโปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสานกายและจิต 5 มิติ ต่อระดับไขมันในเลือด เปรอร์เซ็นต์ไขมัน มวลกระดูก และความดันโลหิต ในสมาชิกชมรมผู้สูงอายุ. *วารสารควบคุมโรค*, 45(2), 180–190. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/DCJ/article/view/197164>
- Rovinelli, R. J., and Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 2(2), 49–60.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม

The Development of Mathematics Learning Achievement on Polynomials for Grade 8 Students Using Cooperative Learning with STAD Technique Combined with Multimedia

ธนวัฒน์ คำจันทร์วงศ์¹, ปวีณา ขันธศิลา¹ และ ประภาพร นองหารพิทักษ์^{1*}

Thanawat Comjanwong¹, Paweena Khansila¹ and Prapaporn Nongharnpituk^{1*}

¹ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

¹ Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านโนนเที่ยง อำเภอนามน จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 2) ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้ 3) ศึกษาความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดกิจกรรมที่พัฒนาขึ้น กลุ่มเป้าหมายในงานวิจัย คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่กำลังศึกษาอยู่ภาคเรียนที่ 1 จำนวน 14 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 8 แผน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบเลือกตอบ 20 ข้อ และแบบสอบถามความพึงพอใจ จำนวน 20 ข้อ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน E_1/E_2 และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 71.61/71.07 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 2) ดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.6068 และ 3) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.62)

คำสำคัญ: ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เทคนิค STAD สื่อประสม

Abstract

This research aimed to develop mathematics learning achievement on polynomials for Grade 8 students at Ban Non Theing School, Namon District, Kalasin Province, using cooperative learning with STAD technique combined with multimedia. The objectives of the study were to: 1) develop effective lesson plans meeting the 70/70 efficiency standard, 2) evaluate the effectiveness index of the learning approach, and 3) assess students' satisfaction with learning about polynomials through the developed activities. The target group comprised 14 Grade 8 students enrolled in the first semester. Research instruments included eight lesson plans, a 20-item multiple-choice achievement test, and a 20-item satisfaction questionnaire. Statistical analysis employed mean, percentage, standard deviation, E_1/E_2 efficiency, and effectiveness index (E.I.). The results revealed that: 1) the lesson plans developed for polynomial learning using cooperative learning with STAD technique combined with multimedia achieved an E_1/E_2 efficiency of 71.61/71.07, meeting the criteria; 2) the effectiveness index of the developed

* Corresponding author: prapaporn.no@ksu.ac.th

learning approach was 0.6068; and 3) students expressed a high level of satisfaction with learning management ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.62).

Keywords: Mathematics Learning Achievement, STAD technique, Multimedia

1. บทนำ

คณิตศาสตร์เป็นศาสตร์พื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยช่วยส่งเสริมการคิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ และสร้างสรรค์ ซึ่งเอื้อต่อการวิเคราะห์ แก้ปัญหา วางแผน และตัดสินใจในสถานการณ์จริง อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และศาสตร์อื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และความสามารถในการแข่งขันระดับประเทศ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) อย่างไรก็ตาม แนวทางการจัดการเรียนรู้ในโรงเรียนส่วนใหญ่ยังคงเน้นการบรรยายและทฤษฎีมากกว่าการใช้สื่อและกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติ ส่งผลให้นักเรียนขาดแรงจูงใจ เบื่อหน่าย ไม่สามารถพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง การแก้ปัญหา หรือการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในกิจกรรมกลุ่มที่มักพบว่าผู้เรียนเพียงบางคนที่มีส่วนร่วม ขณะที่ผู้อื่นขาดความรับผิดชอบและไม่ให้ความร่วมมือ ซึ่งสะท้อนถึงการขาดทักษะด้านภาวะผู้นำ การบริหารจัดการกลุ่ม และการมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำรวจ หาญหัว, 2560)

แม้ว่าคณิตศาสตร์จะเป็นวิชาที่สำคัญแต่การจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ในโรงเรียนยังคงประสบปัญหาในการบรรลุผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ เห็นได้จากคะแนนเฉลี่ย O-NET วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2566 อยู่ที่ 22.33 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ระดับประเทศและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2566) จากการสอบถามครูผู้สอนและการวิเคราะห์คะแนนในหน่วยการเรียนรู้ต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่านักเรียนประสบปัญหาในการเรียนเรื่อง "พหุนาม" เป็นอย่างมาก เพราะเนื้อหามีความซับซ้อนและเป็นนามธรรม เป็นอุปสรรคที่สำคัญในการทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยนักเรียนส่วนใหญ่สามารถเข้าใจเนื้อหาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้การเรียนรู้เป็นเพียงการจดจำตามตัวอย่างของครู ส่งผลให้ขาดทักษะในการคิดวิเคราะห์และไม่สามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ และความสนใจในการเรียนของนักเรียนเองก็เป็นปัจจัยสำคัญ จากการสังเกตพบว่านักเรียนมักแสดงอาการเบื่อหน่ายในการเรียน ไม่สามารถมีส่วนร่วมในงานกลุ่มได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้ขาดทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่น (พิมพ์ิตา โยธาสุมทร, 2553)

จากปัญหาดังกล่าว การออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่สามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ดีขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียน และส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ ตลอดจนการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหนึ่งในแนวทางที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถตอบโจทย์ดังกล่าวได้ คือ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ โดยเฉพาะเทคนิค STAD (Student Teams Achievement Divisions) ซึ่งเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบกลุ่มที่มีสมาชิกหลากหลายความสามารถ จำนวนประมาณ 4–5 คน โดยสมาชิกในกลุ่มจะได้รับการเรียนรู้เนื้อหาที่กำหนด จากนั้นทำแบบทดสอบรายบุคคลเพื่อรวบรวมเป็นคะแนนกลุ่ม ทั้งนี้ ผู้สอนสามารถใช้เทคนิคการเสริมแรง เช่น การให้รางวัลหรือคำชม เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนมีเป้าหมายร่วมกันและเกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม (สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ, 2547) นอกจากนี้ เทคนิค STAD ยังช่วยให้การประเมินผลมีความยืดหยุ่น โดยเริ่มจากการพิจารณาคะแนนเฉลี่ยของกลุ่ม ก่อนพิจารณาผลการทดสอบรายบุคคล ซึ่งช่วยลดความกดดันแก่ผู้เรียนและเอื้อต่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างสมาชิก

การผสมผสานเทคนิค STAD ร่วมกับสื่อประสมช่วยยกระดับประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีนัยสำคัญ สื่อประสมมีบทบาทในการกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน เพิ่มความเข้าใจในเนื้อหา และส่งเสริมความเพลิดเพลินในการเรียน ขณะที่เทคนิค STAD ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานเป็นทีมและการเรียนรู้ร่วมกัน งานวิจัยพบว่าการใช้สื่อปฏิสัมพันธ์ร่วมกับเทคนิค STAD ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด และผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับสูงสุด การใช้สื่อประสมยังเอื้อต่อการเรียนรู้ที่หลากหลาย ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น ประหยัดเวลาในการสอน และสร้างเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังเปิดโอกาส

ให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนในกลุ่มในกรณีที่ไม่เข้าใจเนื้อหา(วรารักษ์ สุวรรณวงศ์, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ จริยา เหนียนเฉลย (2546) ที่เสนอว่าสื่อประสมเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย มีความน่าสนใจ และสามารถดึงดูดความสนใจได้ดี จากการผสมผสานสื่อหลายประเภทรวมกับการประยุกต์เทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ วรัญญา พลหาร (2564) พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบ STAD ร่วมกับสื่อประสม ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เรื่องรูปเรขาคณิตสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเรียน และผลการศึกษาของ สุภาภรณ์ สดวกดี และคณะ (2567) ซึ่งประยุกต์ใช้เทคนิคกลุ่มแข่งขันร่วมกับเทคนิคกลุ่ม-คู่-เดี่ยว โดยใช้สื่อประสม พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน สีขานนท์ ชินนทอน และคณะ (2564) รายงานว่าการนำเทคนิค STAD ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องสถิติ ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ นพพร สิริพนมณี (2563) และ กนกวรรณ คงมี (2560) ที่พบว่าเทคนิค STAD ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาคณิตศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เทคนิคดังกล่าวส่งเสริมการทำงานร่วมกันเป็นทีม โดยสมาชิกภายในกลุ่มที่มีความสามารถหลากหลายจะร่วมกันเรียนรู้ แบ่งบทบาทหน้าที่ และสนับสนุนซึ่งกันและกันในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาทักษะทางสังคม เช่น การสื่อสาร การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการช่วยเหลือเพื่อนร่วมกลุ่ม ทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่ดีและลดความรู้สึกโดดเดี่ยวของผู้เรียน (Johnson & Johnson, 1999) นอกจากกระบวนการเรียนรู้แล้ว การเลือกใช้สื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสมก็มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยเฉพาะการใช้สื่อในลักษณะของ “สื่อประสม” ซึ่งหมายถึงการบูรณาการสื่อหลายชนิดอย่างเป็นระบบภายในบทเรียน ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2558) ระบุว่าสื่อประสมสามารถเพิ่มความเข้าใจของผู้เรียนได้ดีกว่าการใช้สื่อชนิดเดียว ขณะที่ ยุพิน พิพิธกุล และ อรพรรณ ดันบรรจง (2560) ชี้ให้เห็นว่าการใช้สื่อหลายประเภทร่วมกันช่วยตอบสนองความแตกต่างระหว่างผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนที่มีความสามารถช้า ซึ่งจะสามารถเรียนรู้ได้เร็วขึ้นและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยได้พิจารณาถึงสภาพปัญหาการเรียนการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ รวมถึงข้อดีของการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมให้มีประสิทธิภาพอันจะส่งผลให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น มีทักษะในการทำงานกลุ่ม มีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70
- 2.2 เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม
- 2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม

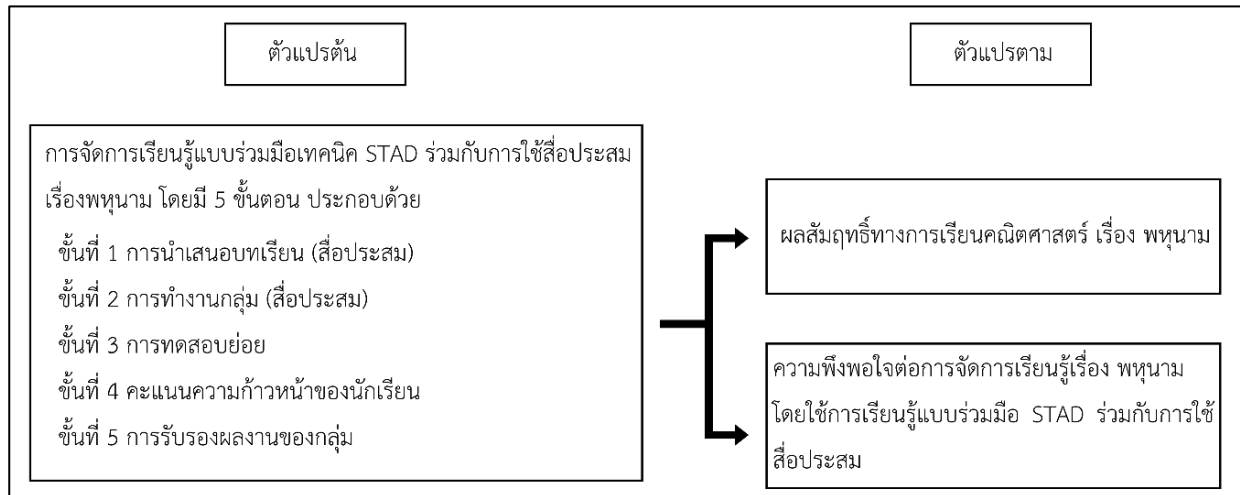
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่กำลังศึกษาภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนบ้านโนนเที่ยง อำเภอนามน จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 14 คน

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม โดยการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 แผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 8 แผน แผนละ 1 คาบเรียน คาบเรียนละ 60 นาที ซึ่งมีรายละเอียดการใช้สื่อประสมแสดงดังตารางที่ 1 ยกตัวอย่างสื่อประสมของแผนการจัดการเรียนรู้อย่างภาพที่ 2

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้สื่อประสมประกอบการจัดการเรียนรู้

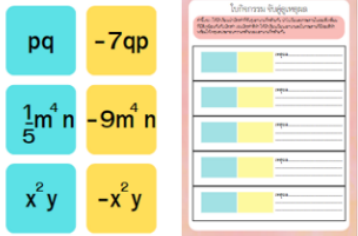
แผน	สื่อประสม
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เอกนาม	- Wordwall เอกนามสุ่มตอบ - ใบกิจกรรมเอกนามใหม่ - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง เอกนาม
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เอกนามที่คล้ายกัน	- CANVA เกม เหมือน or คล้าย - ชุดกิจกรรมกลุ่ม จับคู่เหตุผล - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง เอกนามที่คล้ายกัน
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 การบวกและการลบเอกนาม	- Kahoot ร้อยพันเอกนามที่คล้ายกัน - ใบกิจกรรมกลุ่ม บวกลบเอกนาม - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง การบวกและการลบเอกนาม
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 พหุนาม	- บัตรคำ ที่เป็นเอกนามและไม่เป็นเอกนาม - ใบกิจกรรมกลุ่ม พหุนาม - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง พหุนาม
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 การบวกและการลบพหุนาม	- Algebra Tiles ในโปรแกรม Mathigon - ใบกิจกรรมกลุ่ม การบวกและการลบพหุนาม - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง การบวกและการลบพหุนาม

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้สื่อประสมประกอบการจัดการเรียนรู้ (ต่อ)

แผน	สื่อประสม
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 การคูณพหุนาม 1	- Kahoot เตรียมความพร้อมก่อนเรียนการคูณพหุนาม 1 - ใบกิจกรรมกลุ่ม ช่วยกันหาผลคูณพหุนาม - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง การคูณพหุนาม 1
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 การคูณพหุนาม 2	- บอร์ดเกม Multiply Madness - ใบกิจกรรมกลุ่ม บอร์ดเกม Multiply Madness - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง การคูณพหุนาม 2
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 การหารพหุนามด้วยเอกนาม	- กิจกรรมเกม Polynomial Lightning - ใบกิจกรรมกลุ่ม กิจกรรมเกม Polynomial Lightning - สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง การหารพหุนามด้วยเอกนาม



ก) CANVA เกม เหมือน or คลาย



ข) ชุดกิจกรรมกลุ่ม จับคู่ดูเหตุผล



ค) สื่อนำเสนอบทเรียน เรื่อง เอกนามที่คล้ายกัน



ง) Algebra Tiles ในโปรแกรม Mathigon

ภาพที่ 2 ตัวอย่างสื่อของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เอกนามที่คล้ายกัน และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5

การบวกและการลบพหุนาม

โดยผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 8 แผน นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา, ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอน และ ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล เพื่อประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเหมาะสม 4.96

3.3.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เริ่มจากการศึกษาหลักสูตร วิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด จากนั้นจึงออกแบบเป็นแบบทดสอบปรนัยหรือแบบทดสอบแบบเลือกตอบ จำนวน 30 ข้อ โดยให้ครอบคลุมเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนด พร้อมทั้งนำข้อสอบที่สร้างขึ้นเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบความเหมาะสม และคัดเลือกแบบทดสอบที่มีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.67 – 1.00 พร้อมปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของ

ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 20 ข้อ ต่อมาได้นำแบบทดสอบไปทดลองกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวัดคุณภาพ แล้วได้ความยากง่ายอยู่ในระดับ 0.50 - 0.67 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.22 - 0.55 และมีความเชื่อมั่นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งฉบับเท่ากับ 0.75

3.3.3 แบบประเมินความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งเป็นการประเมินตามมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) มี 5 ระดับตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert Scale) (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) รวมทั้งหมด 20 ข้อ แบ่งเป็น 3 ด้าน ประกอบไปด้วย

- | | |
|---|--------------|
| 1) ด้านความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ | จำนวน 10 ข้อ |
| 2) ด้านความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้ | จำนวน 6 ข้อ |
| 3) ด้านประสิทธิผลของสื่อในการส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน | จำนวน 4 ข้อ |

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 แบบแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Design) แบบ One-Group Pretest-Posttest Design (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2553) มุ่งเน้นการดำเนินการทดลองกับกลุ่มทดลองเพียงกลุ่มเดียว โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบการทดลองแบบ One Group Pretest-Posttest Design

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
E	T ₁	X	T ₂

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการทดลอง

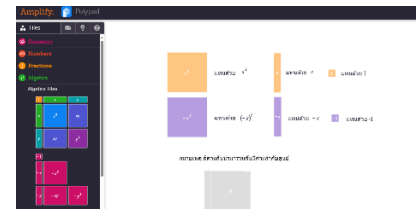
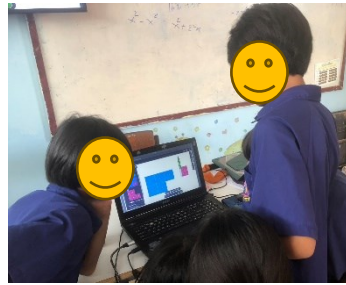
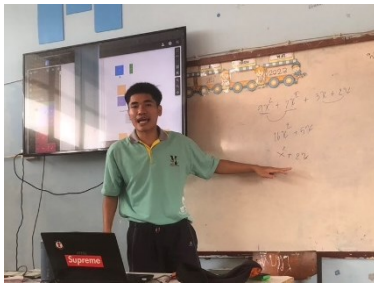
- | | | |
|----------------|-----|---|
| E | แทน | กลุ่มทดลอง (Experimental Group) |
| T ₁ | แทน | การทดสอบก่อนเรียน (Pretest) |
| X | แทน | การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม |
| T ₂ | แทน | การทดสอบหลังเรียน (Posttest) |

3.4.2 ขั้นตอนในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายด้วยตนเองตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) ผู้วิจัยทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ก่อนการทดลอง (Pretest) โดยใช้แบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และบันทึกคะแนนไว้ด้วยตนเอง
- 2) ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น จำนวน 8 แผนการสอน แผนละ 1 คาบ โดยสัปดาห์ละ 4 คาบ รวมทั้งสิ้น 2 สัปดาห์ ซึ่งตัวอย่างขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แสดงดังภาพที่ 3

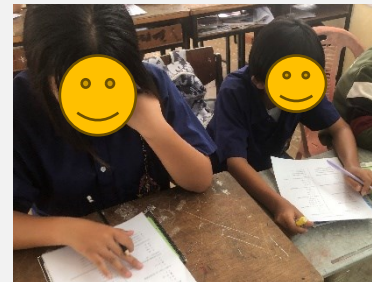
ขั้นที่ 1 ขั้นการนำเสนอบทเรียน (สื่อประสม)



ขั้นที่ 2 ขั้นการทำงานกลุ่ม (สื่อประสม)



ขั้นที่ 3 การทดสอบย่อย



ขั้นที่ 4 คะแนนความก้าวหน้าของนักเรียน

คะแนนนักเรียน รายบุคคลและรายกลุ่ม เรื่อง พหุนาม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 2567

เลขที่	ชื่อ - สกุล	กลุ่ม	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
			คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	คะแนนเต็ม	คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	คะแนนเต็ม	คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	คะแนนเต็ม	คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	คะแนนเต็ม
6		1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7		1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8		1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9		1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10		1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
คะแนนเฉลี่ยรายกลุ่ม			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
คะแนนเฉลี่ยรายบุคคล			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ขั้นที่ 5 การรับรองผลงานของกลุ่ม



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นยกตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 การคูณพหุนาม 1

3) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผู้วิจัยประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกครั้ง (Posttest) โดยใช้แบบทดสอบชุดเดียวกับที่ใช้ก่อนการทดลอง และบันทึกคะแนนไว้ด้วยตนเอง

4) ให้นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จากนั้นนำผลไปวิเคราะห์ข้อมูล

5) นำคะแนนจากการประเมินก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มาวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 โดยใช้ E_1/E_2

2) วิเคราะห์ดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.)

3) วิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม โดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการแปลความหมาย

4. ผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 3 ตอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลวิเคราะห์หาประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบย่อยในขั้นที่ 3 ของการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Posttest) กับนักเรียนกลุ่มเดียวกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้

ประสิทธิภาพ	N	คะแนนรวม	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ
กระบวนการ	14	802	57.29	8.05	71.61
ผลลัพธ์	14	199	14.21	2.08	71.07

จากตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) เท่ากับ 71.61 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) เท่ากับ 71.07 ดังนั้น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 71.61/71.07 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ สะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระหว่างกระบวนการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังการเรียนรู้

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม

ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน (Pretest) และ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน (Posttest) กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายเพื่อหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้

รายการ	N	คะแนนเต็ม	ผลรวมคะแนน	E.I.
ก่อนเรียน	14	20	74	0.6068
หลังเรียน	14	20	199	

จากตารางที่ 4 พบว่า นักเรียนจำนวน 14 คน มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนคิดเป็นร้อยละ 26.43 (74 จากคะแนนเต็ม 280) และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนคิดเป็นร้อยละ 71.07 (199 จากคะแนนเต็ม 280) ซึ่งค่าดัชนีประสิทธิภาพ (E.I.) เท่ากับ 0.6068 หรือคิดเป็นร้อยละ 60.68 แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพในระดับที่สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้อย่างชัดเจน

ตอนที่ 3 ผลวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย จากนั้นวิเคราะห์ความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้อย่างตรงตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการกิจกรรมที่พัฒนาขึ้น

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้	4.31	0.62	มาก
2. ด้านความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้	4.45	0.62	มาก
3. ด้านผลกระทบและการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์	4.35	0.68	มาก
	4.35	0.62	มาก

จากตารางที่ 5 พบว่า ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง พหุนาม โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.62) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า นักเรียนให้คะแนนความพึงพอใจด้านความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้เป็นลำดับที่ 1 ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.62), ด้านผลกระทบและการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์เป็นลำดับที่ 2 ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.68) และด้านความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เป็นลำดับที่ 3 ($\bar{X} = 4.31$, S.D. = 0.62)

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม อภิปรายผลได้ดังนี้

1. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 71.61/71.07 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ สาเหตุที่ผลการวิจัยมีประสิทธิภาพดังกล่าว มาจากความเหมาะสมของแผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยแผนดังกล่าวได้ผ่านผู้เชี่ยวชาญมีการปรับให้มีความเหมาะสมต่อผู้เรียน ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาหลักสูตรและเนื้อหาอย่างละเอียด เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้าง จุดประสงค์ และสาระสำคัญที่ต้องการพัฒนา จากนั้นศึกษาแนวคิดและเทคนิคการเขียนแผนการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ตั้งไว้ และดำเนินการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุมกระบวนการจัดการเรียน เนื้อหา และสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม โดยเน้นกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน การคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา แผนการเรียนรู้นี้ได้รับการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมินความเหมาะสมในด้านโครงสร้าง จุดประสงค์ วิธีการจัดกิจกรรม สื่อการเรียนรู้ และวิธีการประเมินผล นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อนำมาปรับปรุงให้แผนการจัดการกิจกรรมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้เรียนได้อย่างเต็มที่ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่าแผนการเรียนรู้ดังกล่าวได้คะแนนเฉลี่ย 4.96 ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด แผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแผนดังกล่าวออกแบบมาให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้แบบกลุ่ม ส่งเสริมการมีส่วนร่วม การแบ่งปันความคิดเห็น และการสนับสนุนกันภายในกลุ่ม รวมถึงการใช้สื่อประสมที่ช่วยเพิ่มความน่าสนใจของบทเรียน และทำให้การเรียนรู้เป็นเรื่องที่ใกล้ตัวและเข้าใจง่ายพร้อมนำเสนอที่น่าสนใจยิ่งขึ้น ผลจากการสอบย้อยในขั้นที่ 3 ของกระบวนการเรียนรู้แบบร่วมมือ พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 71.61 ซึ่งสะท้อนถึงการเข้าใจเนื้อหาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างเป็นลำดับและเหมาะสม เมื่อพิจารณาผลการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 71.07 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับณัฐรุจ อาษาพา และคณะ (2566) ได้ใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง การแยกตัวประกอบพหุนาม โดยผลประสิทธิภาพกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 77.25/77.83 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด 70/70 ที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับผลวิจัยของ ธมลวรรณ การ์ดเสนา และคณะ (2564) ที่ได้ใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ประกอบ M -Learning พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เรื่องสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวมีประสิทธิภาพเท่ากับ 74.55/72.37 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด และสอดคล้องกับผลวิจัยของ บัญชา ชินโน (2557) ได้ใช้

กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้รูปแบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ (STAD) ร่วมกับการกระบวนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 72.46/71.44 เป็นไปตามเกณฑ์ 70/70 ที่ตั้งไว้

2. ดัชนีประสิทธิผลทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องพหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมเท่ากับ 0.6068 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น 0.6068 หรือคิดเป็นร้อยละ 60.68 ทั้งนี้ สาเหตุที่ผลการวิจัยมีประสิทธิภาพดังกล่าวนั้น มาจากการจัดการเรียนรู้แบบลดความสามารถ (เก่ง – ปานกลาง – อ่อน) โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือ STAD ซึ่งได้รับการออกแบบให้มีความหลากหลายทางความสามารถ โดยนักเรียนที่มีความสามารถสูงได้รับบทบาทในการอธิบายและถ่ายทอดความรู้แก่เพื่อนในกลุ่มที่มีความสามารถน้อยกว่า นอกจากจะช่วยให้ผู้รับคำอธิบายเข้าใจเนื้อหาได้ลึกซึ้งขึ้นแล้ว ยังช่วยให้นักเรียนที่อธิบายพัฒนาทักษะการสื่อสารและความมั่นใจในความรู้ของตนเอง กระบวนการนี้ก่อให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เสริมด้วยการใช้สื่อประสมที่หลากหลาย เช่น Algebra Tiles ในโปรแกรม Mathigon, Kahoot, Canva Game และ บอร์ดเกม Multiply Madness เป็นต้น ซึ่งช่วยทำให้การเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องพหุนาม ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ยากสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น และสร้างความน่าสนใจในกระบวนการเรียนรู้ ส่งผลให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสามารถเรียนรู้ได้อย่างลึกซึ้งและยั่งยืน ส่งผลให้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมช่วยให้นักเรียนสามารถทำคะแนนทดสอบหลังเรียนได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ ฉุยฉาย สุริวงษ์ และคณะ (2563) ได้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบ STAD กับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ ผลวิจัยพบว่า ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบ STAD เรื่อง สถิติ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.6460 หรือคิดเป็นร้อยละ 64.60 และสอดคล้องกับผลวิจัยของ ฐานพัฒน์ ปักกระเน (2563) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยรูปแบบการสอนด้วยเทคนิค STAD ผลวิจัยพบว่า ดัชนีประสิทธิผลของชุดการเรียนรู้ มีค่าเท่ากับ 0.6771 หมายความว่าหลังเรียนนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นร้อยละ 67.71 และสอดคล้องกับผลวิจัยของ ไพวัน คามพวง และปริญา บริพทุม (2562) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์เรื่อง สมการ โดยใช้การเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค STAD ผลวิจัยพบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผลของชุดกิจกรรมเท่ากับ 0.6317 หรือคิดเป็นร้อยละ 63.17

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสม อยู่ในระดับมาก โดยรวมทุกด้าน คือด้านความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ด้านความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้ และด้านผลกระทบและการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.35 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ สาเหตุที่ความพึงพอใจปรากฏในระดับดังกล่าว เกิดจากการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมในเรื่องพหุนามสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีลักษณะเด่นคือการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกันในกลุ่มที่ลดความสามารถ เพื่อให้เกิดการปรึกษาหารือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และช่วยเหลือซึ่งกันและกัน กระบวนการทำงานร่วมกันนี้ไม่เพียงช่วยพัฒนาทักษะการสื่อสารและการทำงานเป็นทีม แต่ยังสร้างความรับผิดชอบร่วมกันภายในกลุ่ม นอกจากนี้ การใช้สื่อประสมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นยังมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นความสนใจ ทำให้บรรยากาศการเรียนรู้สนุกสนานและนักเรียนมีส่วนร่วมมากยิ่งขึ้น การมีเป้าหมายร่วมกันของนักเรียนในกลุ่มเพื่อบรรลุผลสำเร็จของกลุ่ม ส่งผลให้นักเรียนเกิดความมุ่งมั่นและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ จนทำให้เกิดความพึงพอใจต่อการเรียนคณิตศาสตร์อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้มากที่สุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าสื่อประสมที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถกระตุ้นความสนใจและช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาเรื่องพหุนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ จันทิมา พร่องครบุรี และ นิพนธ์ ฝ่ายบุญ (2565) ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรม การเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนามตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับวิธีเรียนแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผลวิจัยพบว่าระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ จันทร ดิยะวงศ์ (2564) ได้ศึกษาผลการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เรื่องการบวก ลบ คูณ หารพหุนาม ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ จันจิรา บุญศรี และคณะ (2567) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์

ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนามของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับเกมคณิตศาสตร์ พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ต่อไป

1.1 การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้ผ่านการทำงานเป็นกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการสื่อสารและการสนับสนุนซึ่งกันและกันในลักษณะที่สร้างสรรค์ เพื่อให้การจัดการเรียนรู้ประสบความสำเร็จ ครูผู้สอนจำเป็นต้องใช้วิธีการจัดกลุ่มอย่างมีระบบและรอบคอบ การจัดกลุ่มที่ละความสามารถระหว่างนักเรียนที่มีผลการเรียนดี ปานกลาง และอ่อนในลักษณะที่สมดุลช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกัน ทั้งนี้ เพื่อป้องกันปัญหาที่มักเกิดขึ้น เช่น การที่นักเรียนมักเลือกทำงานกับเพื่อนสนิทหรือคนที่มีความสามารถคล้ายกัน ซึ่งอาจส่งผลให้นักเรียนที่มีผลการเรียนอ่อนรวมกลุ่มกันโดยลำพัง การจัดการในลักษณะนี้อาจทำให้กิจกรรมไม่สามารถบรรลุเป้าหมายการเรียนรู้ที่ตั้งไว้ ครูจึงต้องวางแผนและออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมและการพัฒนาทักษะของนักเรียนทุกคนในกลุ่มอย่างรอบด้าน

1.2 ในการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิค STAD ซึ่งเน้นความร่วมมือและการช่วยเหลือกันภายในกลุ่ม ครูผู้สอนมีบทบาทสำคัญในการควบคุม ติดตาม และสนับสนุนกิจกรรมการเรียนรู้อย่างใกล้ชิดและรอบคอบ เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น การมีแผนการติดตามและกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้จึงเป็นสิ่งจำเป็น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

2.1 ควรนำการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมไปปรับใช้ในหัวข้ออื่น ๆ ของรายวิชาคณิตศาสตร์ เช่น การแก้สมการเชิงเส้น ระบบสมการ ลำดับและอนุกรม หรือการหาพื้นที่และปริมาตร เพื่อศึกษาว่ากระบวนการนี้สามารถพัฒนาทักษะการเรียนรู้และความสนใจในหัวข้อที่หลากหลายได้อย่างไร

2.2 ควรบูรณาการการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อประสมในหัวข้อคณิตศาสตร์ ที่ต้องการการแก้ปัญหาและการวิเคราะห์ เช่น แคลคูลัส หรือการทำงานกับข้อมูลในสถิติ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวลัดดา อุบลชัย นางสาววราภรณ์ เขียวสด และนางภคพร มูลการ ผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงนางวิลาสินี วิริทธิ์วัชรธัม ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านโนนเที่ยง ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในกระบวนการเก็บข้อมูล

7. เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ คงมี. (2560). ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง การคูณและการหารพหุนามของนักเรียนชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโยธินบูรณะ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง].

กนกวรรณ มูลชัย. (2566). การพัฒนาสื่อปฏิสัมพันธ์ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เรื่อง การแก้ปัญหสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษา กรุงเทพมหานคร, 6(1).

<https://so06.tci-thaijo.org/index.php/ivebjournal/article/view/263023>.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560). โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

จริยา เหนียนเฉลย. (2546). เทคโนโลยีการศึกษา. ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ.

- จันจิรา บุญศรี, สมใจ ภูครองทุ่ง และ จิรัชญา จารพิน. (2567). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนาม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับเกมคณิตศาสตร์. *วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, 26(1). <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/BRUJE/article/view/271645>.
- จันทิมา พร่องครบุรี และ นิพนธ์ ฝ่ายบุญ. (2565). การศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง พหุนามตามแนวคิด ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับวิธีเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, 5(3), 59-69. <https://doi.org/10.14456/edubru.2024.4>.
- จันทร ดิยะวงศ์. (2564). ผลการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เรื่องการบวก ลบ คูณ หาร พหุนาม ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ*, 10(1), 1-12. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/NBU/article/view/247588/167721>
- อุยฉาย สุริวงษ์, มะลิวัลย์ ฤณาพรรณ และ ปิยภัทร บุชบาบดินทร์. (2563). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ ความสามารถในการสื่อความหมาย และนำเสนอ ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง สถิติ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ระหว่างการจัดการเรียนรู้ แบบ STAD กับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม]. https://khon.msu.ac.th/_dir/fulltext/2021/12/Chuichai%20Suriwongkhan63.pdf
- ฐานพัฒน์ ปักกระเน. (2563). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมทักษะการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. *วารสารการบริหารและนิเทศการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 11(3), 1-13. <https://so20.tci-thaijo.org/index.php/JAD/article/view/245/137>
- ณัฐจุ อาษาพา, ณัฐชัช จันทุม และ วนิดา ฝารณัด. (2566). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง การแยกตัวประกอบพหุนามของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD. *วารสาร สหวิทยาการวิจัยและราชวิชาการ*, 3(5), 851-866. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/IARJ/article/view/270429>
- ฉมวรรณ การัดเสนา, ณัฐชัช จันทุม และ วนิดา ฝารณัด. (2564). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวโดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ประกอบ M – Learning ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 1. *วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ศรีนครินทรวิโรฒ*, 22(2), 94-112. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/jedu/article/view/13495>
- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *การวิจัยเบื้องต้น ฉบับปรับปรุง* (พิมพ์ครั้งที่ 10). บริษัท สุวีริยาสาส์น จำกัด.
- บัญชา ชินโณ. (2557). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้รูปแบบแบ่งกลุ่ม ผลสัมฤทธิ์ (STAD) ร่วมกับกระบวนการสร้าง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ส่งผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ พฤติกรรมการทำงานกลุ่มและเจตคติต่อ วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารบัณฑิตศึกษา*, 11(52), 75-88. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/SNGSJ/article/view/26744>
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2558). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 7-20. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/suedureasearchjournal/article/view/28419>
- นพกร สิริพนมณี. (2563). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ STAD ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง].
- ไพบวัน คามพวง และ ปริญญา ปริพุด. (2562). การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์เรื่อง สมการ โดยใช้การเรียนรู้แบบกลุ่ม ร่วมมือเทคนิค STAD สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาการบัญชี ชั้นปีที่ 1. *วารสารการบริหารและ นิเทศการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 10(1), 40-50. <https://so20.tci-thaijo.org/index.php/JAD/article/view/287>
- พิมพ์ดา โยธาสุมทร. (2553). *ปัญหาการศึกษาของเด็กไทย*. <https://education.kapook.com/view17424.html>

- ยุพิน พิพิธกุล และอรพรรณ ตันบรรจง. (2560). *การเรียนการสอนคณิตศาสตร์*. บพิธการพิมพ์.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2553). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 11). สุวีริยาสาส์น.
- วราภรณ์ สุวรรณวงศ์. (2545). *ผลของการเรียนแบบร่วมมือโดยการแบ่งกลุ่มตามลัทธิผลทางการเรียนที่มีต่อผลลัทธิทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. คลังปัญญามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
<http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/6465>
- วรัญญา พลหาร. (2564). *การศึกษาลัทธิผลทางการศึกษา เรื่อง ร่างกายของฉันทน์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค STAD ร่วมกับสื่อประสม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3* [รายงานวิจัยระดับปริญญาตรีไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.
- สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2566). *รายงานผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินำขึ้นพื้นฐาน (O-NET) ปีการศึกษา 2566*. <https://www.niets.or.th/th/content/view/26058>
- ลีขานนท์ ชินนทอน, ภัทริณี คงชู และ ฐิติชญาณ์ คงชู. (2567). *การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เพื่อพัฒนาผลลัทธิทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง สถิติ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. *วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 7(22), 71-78.
<https://so02.tci-thaijo.org/index.php/etcedumsujournal/article/view/270344>
- สุภาภรณ์ สะดวกดี, อารยา นุหมุดหวัง และ ชนาภาญจน์ ธรฤทธิ์. (2567). *ผลการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคเกมกลุ่มแข่งขันร่วมกับเทคนิคกลุ่ม คู่ เตี่ยว เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี*. *วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา*, 18(1), 51-60.
<https://so17.tci-thaijo.org/index.php/EduBSRU/article/view/214>
- สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ. (2547). *19 วิธีการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาความรู้และทักษะ* (พิมพ์ครั้งที่ 5). ภาพพิมพ์.
- สำรวย หาญหัว. (2560). *ปัจจัยที่มีผลต่อเจตคติและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง*. *วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์*, 18(1), 142-158.
<https://ejournals.swu.ac.th/index.php/jedu/article/view/9165>
- Johnson, D. W., and Johnson, R. T. (1999). *Learning together and alone: Cooperative, competitive, and individualistic learning* (5th ed.). Allyn & Bacon.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา SME อุตสาหกรรมแฟชั่น

Organization Carbon Footprint Assessment: A Case Study of SME in Fashion Industry

ชวลิต จันคันธา^{1*} และ พุฒิพงศ์ ชัยนโต¹

Chawalit Chankhantha^{1*} and Phuttipong Chayanto¹

¹ กลุ่มเชื่อมโยงอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ กองพัฒนาอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

¹ Creative Industry Connection Group, Division of Creative Industry Development, Department of Industrial Promotion

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น จำนวน 25 กิจการ ประกอบด้วยธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายจำนวน 17 กิจการ และธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับจำนวน 8 กิจการ ที่เข้าร่วมกิจกรรมกับกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 โดยเก็บข้อมูลพื้นฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสถานประกอบการ ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2566 ถึงเดือนกันยายน 2567 ตามแนวทางการประเมินขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งแบ่งกิจกรรมออกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ผลการวิจัยพบว่าอุตสาหกรรมแฟชั่นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม เท่ากับ 262.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂-eq) โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน ในขอบเขตที่ 2 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 134.33 tCO₂-eq รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง เท่ากับ 99.20 tCO₂-eq และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ เท่ากับ 29.39 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 51.09 37.73 และ 11.18 ตามลำดับ การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมแฟชั่นก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคือการใช้แก๊สโซฮอล์สำหรับการขนส่งสินค้า และการใช้น้ำประปา คิดเป็นร้อยละ 51.09 28.19 และ 8.68 ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีแนวทางในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น อาทิ การหมั่นบำรุงรักษาและดูแลเครื่องจักรเป็นประจำเพื่อลดการซ่อมบำรุง และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การปรับปรุงอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม การเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟ LED การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพื่อประหยัดพลังงาน และการใช้พลังงานสะอาดในการขนส่งสินค้า นอกจากนี้ควรมีมาตรการให้พนักงานให้ช่วยกันประหยัดพลังงาน ประหยัดการใช้น้ำ และใช้ทรัพยากรอื่น ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันจะนำไปสู่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อเกิดภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ก๊าซเรือนกระจก อุตสาหกรรมแฟชั่น ภาวะโลกร้อน

Abstract

The objective of this research is to evaluate the carbon footprint of 25 SMEs in the fashion industry, which includes seventeen apparel businesses and eight jewelry businesses. These businesses participated in activities organized by the Department of Industrial Promotion during the fiscal year 2024. Greenhouse gas emissions data for the baseline year were collected between October 2023 and September 2024, following the assessment framework of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). The assessment is categorized into three scopes: Scope 1 (direct greenhouse gas emissions), Scope 2 (indirect emissions from energy use), and Scope 3 (other indirect emissions). The results indicate that the total greenhouse gas emissions of the fashion

* Corresponding author : charles.valydtth@gmail.com

industry amount to 262.92 tons of carbon dioxide equivalent (tCO₂-eq). Energy consumption in Scope 2 contributes the highest emissions at 134.33 tCO₂-eq, followed by direct emissions in Scope 1 at 99.20 tCO₂-eq, and other indirect emissions in Scope 3 at 29.39 tCO₂-eq, accounting for 51.09%, 37.73%, and 11.18% of the total emissions, respectively. Electricity usage is the most significant source of greenhouse gas emissions, followed by gasohol fuel consumption for transportation and tap water usage, contributing 51.09%, 28.19%, and 8.68%, respectively. Recommendations to mitigate greenhouse gas emissions include routine maintenance of machinery to reduce repairs and enhance production efficiency, adjusting air conditioner temperatures to optimal levels, transitioning to LED lighting, adopting energy-saving technologies, and using clean energy for transportation. Organizations should also implement policies encouraging employees to conserve energy and water while optimizing resource use. These measures can significantly reduce greenhouse gas emissions and effectively address global warming.

Keywords: Carbon footprint, Greenhouse gases, Fashion industry, Global warming

1. บทนำ

ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศของโลกเพิ่มขึ้นสูงกว่าเดิมถึง 1.5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งเป็นผลจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกมาอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงาน การเกษตร การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง และการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ (Song and Lee, 2010) ประเทศต่าง ๆ ได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงมีการจัดตั้งรัฐภาคีว่าด้วยอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ขึ้นในปี พ.ศ. 2535 และพิธีสารเกียวโต (The Kyoto Protocol: KP) พ.ศ. 2540 (ไพฑูริย์ ปรีชาศักดิ์ และคณะ, 2563) ทั้งนี้ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมเป็นรัฐภาคีอนุสัญญาฯ ในฐานะสมาชิกรัฐภาคี โดยแสดงเจตจำนงการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ ได้แก่ การบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี 2050 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี 2065 พร้อมทั้งผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมในประเทศลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ประเทศไทยได้มีการรับรองแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ (NDC Roadmap 2021-2030) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศให้ได้ร้อยละ 20 หรือ 111 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภายในปี พ.ศ. 2573 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2562)

ประเทศไทยเริ่มจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร เมื่อปี พ.ศ. 2554 ภายใต้องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (จิตลดา หามยมัน และคณะ, 2560) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร สำหรับการประเมินและให้การรับรองคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภท คือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP) และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรช่วยให้องค์กรสามารถแสดงข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายและแผนปฏิบัติการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับองค์กร อุตสาหกรรม และระดับประเทศ (Pleerux and Aimkuy, 2021) ในปี พ.ศ. 2566 ภาพรวมของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานอยู่ที่ 243.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ลดลงร้อยละ 2.4 เมื่อเทียบกับปีก่อน โดยการใช้ไฟฟ้าในสาขารัฐกิจเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.4 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2567)

อุตสาหกรรมแฟชั่นเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Bauck, 2017; Singh and Bansal, 2024) โดยคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก (Niinimäki et al., 2020) ในช่วงระหว่าง

ปี ค.ศ. 2000 ถึง 2015 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมแฟชั่นถึง 0.3 พันล้านตัน และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 2.8 พันล้านตันภายในปี ค.ศ.2030 หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน (Peters et al., 2021) ปัจจัยสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมแฟชั่นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากคือการเติบโตของแฟชั่นด่วน (Fast Fashion) ซึ่งเน้นการผลิตเสื้อผ้าและเครื่องประดับจำนวนมากในเวลาสั้น คุณภาพต่ำ และราคาถูก เพื่อตอบสนองพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว จนอาจนำไปสู่ปัญหาขยะจำนวนมากมหาศาล ซึ่งส่วนใหญ่ถูกทิ้งโดยไม่ได้รับการรีไซเคิลอย่างเหมาะสม นอกจากนี้กระบวนการผลิตสินค้าแฟชั่นยังใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก และปล่อยน้ำเสียปนเปื้อนสารเคมีสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อระบบนิเวศ (Wren, 2022) ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ เมื่อพิจารณาห่วงโซ่การผลิตเครื่องประดับจะพบว่าการทำเหมืองพลอยและโลหะมีค่าสร้างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ถึงร้อยละ 95 ของกระบวนการผลิต ส่วนกระบวนการผลิตเครื่องประดับมีผลกระทบเพียงร้อยละ 5 (สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ, 2564) จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโรงงานผลิตเครื่องประดับแห่งหนึ่งในไทย พบว่าการผลิตแหวนเงินหนึ่งวงสามารถปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 1.03 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Usapein and Tongcumpou, 2016) นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตเสื้อผ้าบาติกเท่ากับ 3.59 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยกระบวนการที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือกระบวนการผลิตวัตถุดิบ ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 2.69 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (นิตยา ศิริวัน และ ชลิตา สุวรรณ, 2559) จากปัญหาเหล่านี้หลายประเทศได้เริ่มดำเนินนโยบายเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในอุตสาหกรรมแฟชั่น เช่น การจัดทำฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์แฟชั่น เพื่อแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาในแต่ละขั้นตอนของการผลิต การส่งเสริมการใช้วัสดุที่ยั่งยืนและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมถึงการพัฒนาวัตกรรมการผลิตที่สะอาดและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2562) ปัจจุบันสหภาพยุโรปได้ประกาศแนวทางส่งเสริมสินค้าแฟชั่นที่ยั่งยืนให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยตั้งเป้าว่าภายในปี 2030 ผู้ผลิตสินค้าแฟชั่นจะต้องใช้วัสดุที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ (Recyclable Materials) เพื่อสนับสนุนการลดขยะและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Sachs et al., 2019)

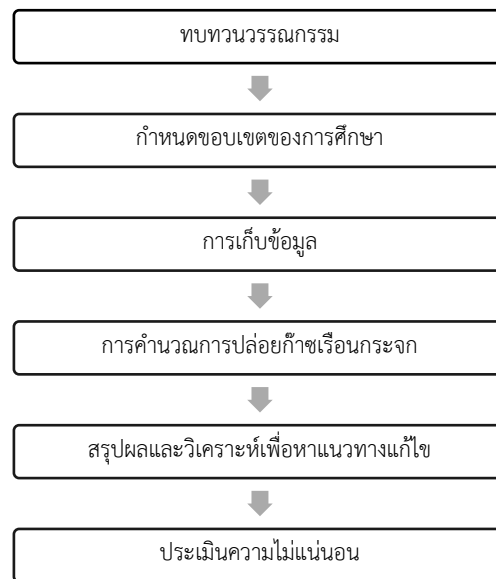
จากที่กล่าวมาทำให้เห็นถึงปัญหาและความสำคัญของการลดการปล่อยคาร์บอน สถานประกอบการ SMEs ในอุตสาหกรรมแฟชั่นต้องประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร เพื่อหาวิธีลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสถานประกอบการ SME กลุ่มอุตสาหกรรมแฟชั่น ที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมกับกองพัฒนาอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เพื่อนำมาวางแผนและกำหนดแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่สังคมคาร์บอนต่ำ และสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ภายในปี พ.ศ. 2573 นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางการค้าในตลาดต่างประเทศได้มากขึ้น เนื่องจากหลายประเทศ โดยเฉพาะในยุโรปได้กำหนดมาตรการกีดกันทางการค้าที่เข้มงวดต่อสินค้าและบริการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของ SME กลุ่มอุตสาหกรรมแฟชั่น
- 2.2 เพื่อเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น แสดงรายละเอียดในภาพที่ 1 งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 พบทวนวรรณกรรม

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) คือสารประกอบในรูปของก๊าซที่พบในบรรยากาศ ทั้งจากแหล่งธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีคุณสมบัติในการดูดซับและปล่อยรังสีอินฟราเรด ซึ่งแผ่ออกมาจากพื้นผิวโลก ชั้นบรรยากาศ และก้อนเมฆ ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) คือการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ดำเนินการโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เพื่อคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง การใช้พลังงานไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง โดยแสดงผลเป็นปริมาณตันหรือกิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2\text{-eq}$) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2561) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรสามารถช่วยให้องค์กรเข้าใจถึงความรับผิดชอบ และหาวิธีลดในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Awanthi and Navaratne, 2018)

จากการพบทวนวรรณกรรมที่ประยุกต์วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ส่วนใหญ่มีการแบ่งขอบเขตในการประเมินออกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากกระบวนการผลิตหรือการดำเนินงานโดยตรงขององค์กร (Direct emission) ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในองค์กร เช่น การเผาไหม้อยู่กับที่ การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ และการรั่วไหลของสาร เป็นต้น ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy indirect emission) ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร และขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมอื่น ๆ (Indirect emission) ได้แก่ ขยะมูลฝอยทั่วไป ปริมาณการใช้กระดาษ การใช้น้ำประปา การขนส่งวัตถุดิบ การกระจายสินค้า การเดินทางไป-กลับของพนักงานจากที่พักมายังองค์กร การติดต่อธุรกิจขององค์กร การปฏิบัติงานนอกสถานที่ และวัสดุบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น (Janangkakan et al., 2011; ฐิติกร หมายมั่น และคณะ, 2561; การุณย์ ชัยวนิชย์, 2563; นวพร เหลืองยวง และ สุพรรณนิภา วัฒนะ, 2565) อย่างไรก็ตาม ISO 14064 ระบุไว้ว่าขอบเขตที่ 3 องค์กรอาจประเมินหรือไม่ก็ได้ (ไพรัช อุสุภรัตน์ และ หาญพล พิงศ์ศรี, 2557)

3.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้รับรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมภายในองค์กร ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากกระบวนการผลิตหรือการดำเนินงานโดยตรงขององค์กร (Direct emission) ได้แก่ การใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ และการใช้น้ำมันดีเซล สำหรับรถยนต์เพื่อการขนส่งสินค้า

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy indirect emission) ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตสินค้า รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ภายในองค์กร

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Indirect emission) นอกเหนือจากประเภทที่ 1 และ 2 ได้แก่ การฝังกลบขยะมูลฝอย การใช้น้ำประปา การใช้กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว การใช้ถุงพลาสติกใส (PP) และการใช้ขวดพลาสติกใส (PET)

3.3 การเก็บข้อมูล

ประชากรในงานวิจัยนี้คือ สถานประกอบการ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น ที่ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ กับกองพัฒนาอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เพื่อส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ในธุรกิจแฟชั่น โดยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างข้างต้นมาจำนวน 25 กิจการ ประกอบด้วยกลุ่มธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับ จำนวน 8 กิจการ และกลุ่มธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกาย จำนวน 17 กิจการ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีศักยภาพในการดำเนินธุรกิจ โดยพิจารณาจากอัตราการเพิ่มการผลิต ยอดขาย และกำไร ในภาพรวมสามารถเป็นตัวแทนของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่นได้ จากนั้นดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในสถานประกอบการของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2566 - กันยายน 2567 งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามแบบปลายเปิด (Open-Ended Questionnaires) ประกอบด้วยรายการกิจกรรมต่าง ๆ ทั้ง 3 ขอบเขต ดังแสดงในตารางที่ 1 ในกรณีที่ข้อมูลไม่ชัดเจนหรือไม่ได้ตอบคำถาม ผู้วิจัยได้มีการติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความถูกต้อง

ตารางที่ 1 รายการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมขององค์กรและแหล่งเก็บข้อมูล

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	หน่วยวัด	แหล่งเก็บข้อมูล
1	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง		
	1. การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่		
	การใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG)	กิโลกรัม (kg)	การประมาณค่า
	2. การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่		
	การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ (รถยนต์)	ลิตร (L)	การประมาณค่า
	การใช้น้ำมันดีเซล (รถยนต์)	ลิตร (L)	การประมาณค่า
2	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
3	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ		
	การฝังกลบขยะมูลฝอย	กิโลกรัม (kg)	การประมาณค่า
	การใช้น้ำประปา	ลูกบาศก์เมตร (m ³)	ใบแจ้งหนี้ค่าประปา
	การใช้กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว	กิโลกรัม (kg)	การประมาณค่า
	การใช้ถุงพลาสติกใส (PP)	กิโลกรัม (kg)	การประมาณค่า
	การใช้ขวดพลาสติกใส (PET)	กิโลกรัม (kg)	การประมาณค่า

3.4 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถคำนวณจากการใช้ข้อมูลกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในองค์กร คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และแสดงผลให้อยู่ในหน่วยตันหรือกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) ดังสมการที่ 1

$$GHG_i = A_i \times EF_i \quad (1)$$

โดยที่ GHG คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂-eq)

A_i คือ ข้อมูลกิจกรรมขององค์กรที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย (unit) โดยขึ้นอยู่กับกิจกรรมและเทคโนโลยีของแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเทศ อาจมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเงื่อนไขเฉพาะของกิจกรรมนั้น ๆ เรียกว่า ค่าการปล่อยเฉพาะของประเทศ (Country specific emission factor) ซึ่งได้มาจากการตรวจวัดจริงหรือการทดลอง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) องค์กรของสหประชาชาติ ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย (Thai LCI Database) โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เป็นต้น

3.5 สรุปผลและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไข

รวบรวมข้อมูลจากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขตที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ ในรูปคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ พร้อมทั้งกำหนดแนวทางในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้กับสถานประกอบการ

3.6 การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน

เป็นขั้นตอนสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงระดับคุณภาพของข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่รวบรวมได้โดยองค์กร รวมถึงความไม่แน่นอนที่เกิดจากการคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินความไม่แน่นอนควรนำสู่กระบวนการทบทวนขององค์กรผู้รับผิดชอบในการประเมิน (ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3)

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

รายการ	ระดับคุณภาพของข้อมูล			
	X = 6 คะแนน	Y = 3 คะแนน		Z = 1 คะแนน
ลักษณะการเก็บข้อมูล	เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ		เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า
ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย	C = 4 คะแนน	D = 3 คะแนน	E = 2 คะแนน	F = 1 คะแนน
ก๊าซเรือนกระจก (EF)	EF จากการวัดที่มีคุณภาพ	EF จากผู้ผลิต	EF ระดับประเทศ	EF ระดับสากล

ที่มา : องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2561)

ตารางที่ 3 กำหนดระดับคะแนนและเกณฑ์ที่ใช้ประเมินความไม่แน่นอน

ระดับ	ระดับคะแนนโดยรวมของข้อมูล	คำอธิบาย
1	1-6	คุณภาพของข้อมูลไม่ดี มีความไม่แน่นอนสูง
2	7-12	คุณภาพของข้อมูลปานกลาง มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย
3	13-18	คุณภาพของข้อมูลดี มีความไม่แน่นอนต่ำ
4	19-24	คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม มีความไม่แน่นอนต่ำ

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2561)

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มตัวอย่าง SME ในอุตสาหกรรมแฟชั่น รวมทั้ง 3 ขอบเขต เท่ากับ 262.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{tCO}_2\text{-eq}$) (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4) จากการคำนวณค่าเฉลี่ยจะพบว่าหนึ่งกิจการสามารถปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 10.52 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากธุรกิจทั้งสองนั้น พบว่า ธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 99.93 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ ในขณะที่ธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 162.99 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ (รายละเอียดแสดงในภาพที่ 2) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 63.11 จากการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการผลิตและตัดเย็บเสื้อผ้าแต่ละชิ้นต้องผ่านหลายขั้นตอน ตั้งแต่กระบวนการขนส่งนำเข้าวัตถุดิบ เส้นใย การใช้น้ำประปาจำนวนมากในกระบวนการฟอกย้อม การตัดเย็บที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายต้องผ่านกระบวนการขนส่งหลายครั้ง ตั้งแต่โรงงานผลิตไปยังร้านค้าปลีก จึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าการผลิตเครื่องประดับ งานวิจัยนี้พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (ขอบเขตที่ 2) ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง โดยมีปริมาณสูงถึง 134.33 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ หรือคิดเป็นร้อยละ 51.09 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทั้งหมด รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (ขอบเขตที่ 1) เท่ากับ 99.20 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ คิดเป็นร้อยละ 37.73 และถัดมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (ขอบเขตที่ 3) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 29.39 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ คิดเป็นร้อยละ 11.18 ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ พบว่าอุตสาหกรรมแฟชั่นมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่า เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มเท่ากับ 221,380 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ (นภาพร เหลืองยวง และ สุพรรณนิภา วัฒนะ, 2565) อุตสาหกรรมโรงหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,195.70 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ (รัชชานนท์ สุขสวัสดิ์ และ นที สุริยานนท์, 2565) และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 210.3 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ (พุทธร กิติวิริยกุล, 2561)

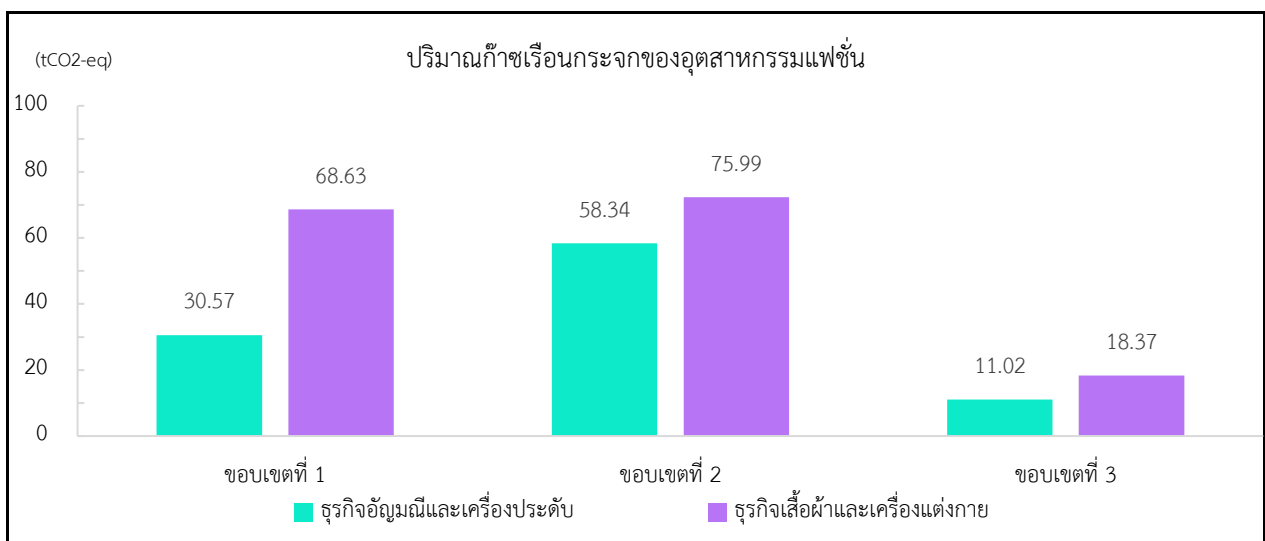
ตารางที่ 4 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น

รายการกิจกรรม	ปริมาณที่ใช้	Emission Factor	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($\text{tCO}_2\text{-eq}$)
ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง			
1. การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่			
- การใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG)	1,535 กิโลกรัม	3.1133 ⁽¹⁾	4.78
2. การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่			
- การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (รถยนต์)	33,120 ลิตร	2.2376 ⁽¹⁾	74.11
- การใช้น้ำมันดีเซล (รถยนต์)	7,400 ลิตร	2.7446 ⁽¹⁾	20.31

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น (ต่อ)

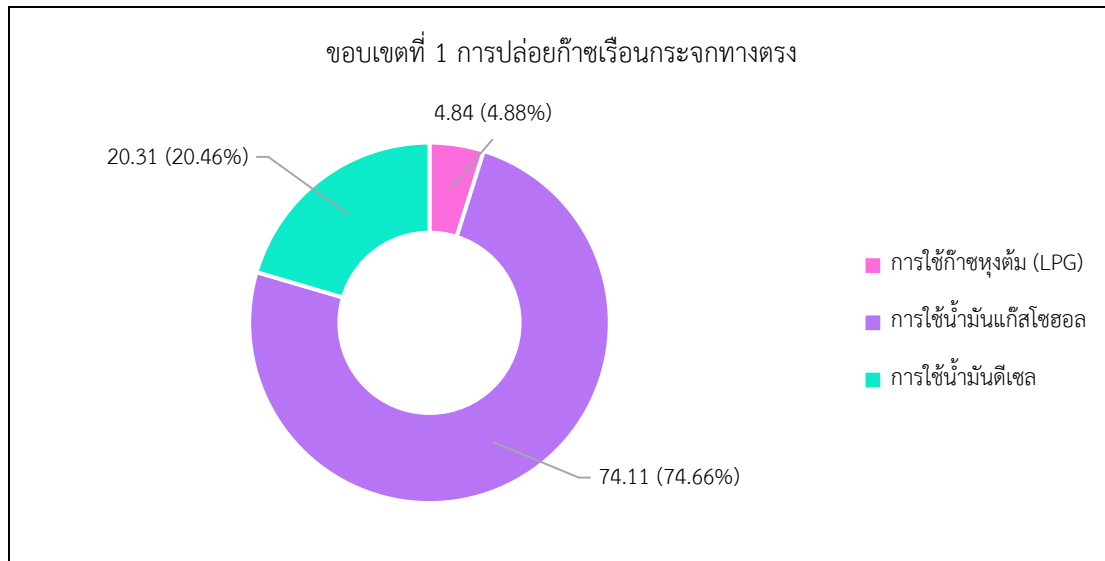
รายการกิจกรรม	ปริมาณที่ใช้	Emission Factor	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ -eq)
รวมขอบเขตที่ 1			99.20
ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน			
การใช้พลังงานไฟฟ้า	224,408 กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.5986 ⁽²⁾	134.33
รวมขอบเขตที่ 2			134.33
ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ			
การฝังกลบขยะมูลฝอย	2,150 กิโลกรัม	0.7948 ⁽²⁾	1.71
การใช้น้ำประปา	28,700 ลูกบาศก์เมตร	0.7948 ⁽²⁾	22.81
การใช้กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว	215 กิโลกรัม	2.1020 ⁽¹⁾	0.45
การใช้ถุงพลาสติกใส (PP)	75 กิโลกรัม	2.3990 ⁽¹⁾	0.18
การใช้ขวดพลาสติกใส (PET)	1,125 กิโลกรัม	3.7700 ⁽³⁾	4.24
รวมขอบเขตที่ 3			29.39
รวมขอบเขตที่ 1 2 และ 3			262.92

หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factors) อ้างอิงจาก ⁽¹⁾IPCC (2006); ⁽²⁾Thai National LCI Database (2019); ⁽³⁾ETH-ESU 96 (PET ETH S) ในฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)



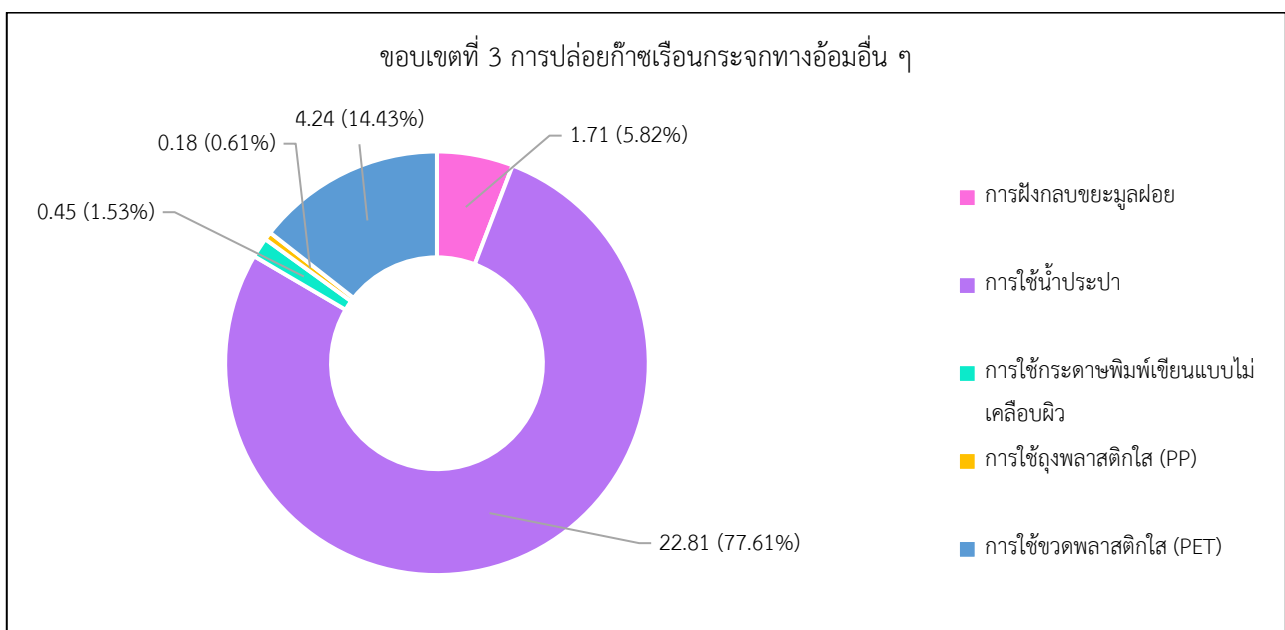
ภาพที่ 2 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจก (tCO₂-eq/ปี) ที่เกิดขึ้นในธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับ และธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกาย

ผลการประเมินขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง พบว่ากลุ่มตัวอย่างปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 99.20 tCO₂-eq จากกิจกรรมทั้งหมด โดยกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คือ การใช้น้ำมันแก๊สโซลีน เท่ากับ 74.11 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 74.66 ของกิจกรรมในขอบเขตที่ 1 เนื่องจากแต่ละสถานประกอบการมีการใช้พาหนะหลายคัน รวมถึงปัจจัยด้านระยะทางและความถี่ในการจัดส่งสินค้า รองลงมาคือ การใช้น้ำมันดีเซลเท่ากับ 20.31 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 20.46 และ การใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) เท่ากับ 4.78 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 4.88 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (ขอบเขตที่ 1) ของ SME อุตสาหกรรมแพรร์

สำหรับขอบเขตที่ 2 มีเพียงกิจกรรมเดียวคือการใช้พลังงานไฟฟ้า ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 134.33 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 100 ของกิจกรรมในขอบเขตที่ 2 ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้เครื่องจักรในการผลิตสินค้า ขาดการซ่อมบำรุงรักษาอย่างเป็นประจำ และขาดมาตรการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานประกอบการ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในส่วนการอภิปรายผล ส่วนขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ พบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 29.39 tCO₂-eq จากกิจกรรมทั้งหมด ซึ่งการใช้น้ำประปาเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด เท่ากับ 22.81 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 77.61 ของกิจกรรมในขอบเขตที่ 3 รองลงมาคือการใช้ขวดพลาสติกใส ซึ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 4.24 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 14.43 การฝังกลบขยะมูลฝอยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.71 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 5.82 การใช้กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.45 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 1.53 และการใช้ถุงพลาสติกใส (PP) ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดเท่ากับ 0.18 tCO₂-eq คิดเป็นร้อยละ 0.61 ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (ขอบเขตที่ 3) ของ SME อุตสาหกรรมแพรร์

ในส่วนของการประเมินและจัดการความไม่แน่นอน การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการประเมินและจัดการความไม่แน่นอนโดยพิจารณาจากเกณฑ์ประเมินจากตารางที่ 2 และ 3 เพื่อประเมินระดับคุณภาพ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5 ซึ่งผลการประเมินระดับคุณภาพข้อมูลโดยรวมอยู่ในระดับ 1 ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความไม่แน่นอนสูงและคุณภาพข้อมูลต่ำ ยกเว้นกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้น้ำประปาที่ได้คะแนนระดับ 2 หมายถึงข้อมูลมีความไม่แน่นอนเล็กน้อยและคุณภาพข้อมูลอยู่ในระดับปานกลาง สาเหตุหลักที่ทำให้ข้อมูลอยู่ในระดับ 1 เนื่องจากปัจจุบันสถานประกอบการยังไม่มีการตรวจวัดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการผลิต และขาดข้อมูลจากผู้ผลิตวัตถุดิบ ทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณปัจจุบันยังไม่สมบูรณ์ หากในอนาคตสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการตรวจวัดจริงหรือข้อมูลจากผู้ผลิตมาใช้ทดแทนค่าประมาณการเดิมได้ จะส่งผลให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาจากระดับคุณภาพข้อมูลปัจจุบันที่อยู่ในระดับ 2 และ 3 นั้น ข้อมูลระดับ 3 ถือเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพสูงสุด ดังนั้นเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิจัยในอนาคต ควรพิจารณาใช้เครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานในการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงการพัฒนาฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานในประเทศ

ตารางที่ 5 การประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูล

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	คะแนนการเก็บข้อมูล	คะแนนค่า EF	คะแนนการประเมิน	ระดับคุณภาพ
1	การใช้ก๊าซ LPG	1	3	3	1
	การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์	1	3	3	1
	การใช้น้ำมันดีเซล	1	3	3	1
2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	3	3	9	2
3	การฝังกลบขยะมูลฝอย	1	3	3	1
	การใช้น้ำประปา	3	3	9	2
	การใช้กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว	1	3	3	1
	การใช้ถุงพลาสติกใส (PP)	1	3	3	1
	การใช้ขวดพลาสติกใส (PET)	1	3	3	1

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมแฟชั่น

จากผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกลุ่มตัวอย่าง SME อุตสาหกรรมแฟชั่น ทั้ง 3 ขอบเขต ทำให้ทราบถึงแหล่งกำเนิดและกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเบื้องต้น ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 250.82 tCO₂-eq กิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มาจากกิจกรรมในขอบเขตที่ 2 คือการใช้พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 89.33 ของกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขต สอดคล้องกับการศึกษาของ นิตยา ศิริวัน และ ชลิตา สุวรรณ (2559) รายงานว่าธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างสูงซึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการวิเคราะห์พบว่าสถานประกอบการส่วนใหญ่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรที่ล้าสมัย ขาดการซ่อมบำรุงรักษา และไม่มีการนำเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าเข้ามาใช้ โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกาย มีเครื่องจักรหลายประเภทที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เช่น จักรเย็บผ้า เครื่องซักผ้า เครื่องตัดผ้า เครื่องรีดผ้า และเครื่องพิมพ์ผ้าทอ (Al Mamun et al., 2024) ส่วนธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับมีเครื่องจักรบางประเภทที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เช่น เครื่องชุบผิวเครื่องประดับด้วยไฟฟ้า และเครื่องหล่อโลหะซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส Usapein and Tongcumpou (2016) ได้รายงานว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าส่งผลให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากเป็นอันดับสองในกระบวนการผลิต

เครื่องประดับ และในกระบวนการผลิตแหวนเงินหนึ่งชิ้น สามารถก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง $1.03 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ นอกจากนี้ พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เช่น การเปิดไฟทิ้งไว้ การปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศเย็นเกินไป และการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ของพนักงานภายในช่วงที่มีความต้องการพลังงานสูง ยังส่งผลให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้นตามอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา (Time-of-Use: TOU) ได้อีกด้วย ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สูงเป็นอันดับที่สอง คือกิจกรรมในขอบเขตที่ 1 การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล เท่ากับ $74.11 \text{ tCO}_2\text{-eq}$ คิดเป็นร้อยละ 49.41 ของกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขต เนื่องจากสถานประกอบการมีการใช้พาหนะหลายคันสำหรับการขนส่งสินค้า รวมถึงปัจจัยด้านระยะทางในการขนส่ง ซึ่งภาคขนส่งของทุกอุตสาหกรรมในไทยก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง $80 \text{ MtCO}_2\text{-eq}$ หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32 ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2566) และอันดับที่ 3 คือกิจกรรมในขอบเขตที่ 3 การใช้น้ำประปาเท่ากับ $22.81 \text{ tCO}_2\text{-eq}$ คิดเป็นร้อยละ 15.21 ของกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขต ส่วนใหญ่มาจากธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกาย จากการกระบวนการฟอกย้อม การซักผ้า ซึ่งใช้ปริมาณน้ำประปาเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับมีการใช้น้ำประปาในกระบวนการล้างปูนพลาสติกหลังจากกระบวนการหล่อ และการชุบเคลือบประดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมแฟชั่นทั่วโลกพบว่า อุตสาหกรรมแฟชั่นในสหรัฐอเมริกาสร้างก๊าซเรือนกระจกมากถึง $132 \text{ MtCO}_2\text{-eq}$ อุตสาหกรรมแฟชั่นในประเทศอังกฤษก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ $14 \text{ MtCO}_2\text{-eq}$ และประเทศจีนก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ $94 \text{ MtCO}_2\text{-eq}$ (Li et al., 2024) ซึ่งถือว่ามียุทธศาสตร์ที่ต่ำกว่าอุตสาหกรรมแฟชั่นในประเทศไทย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการวิจัยนี้คัดเลือกประชากรมาเพียง 25 กิจการ และเลือกกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาเพียงบางรายการเท่านั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในระยะยาว

2. แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ SME อุตสาหกรรมแฟชั่น

ในปัจจุบันการแก้ปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมแฟชั่นทั่วโลกมีการรณรงค์ให้ผู้บริโภคหันมาใช้เสื้อผ้าที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุรีไซเคิล เช่น เช่น เส้นใยพอลิแลคติก แอซิด (polylactic acid; PLA) ซึ่งเป็นเส้นใยประดิษฐ์ที่ชีววัตถุจากข้าวโพด จึงสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Chen et al., 2016) รวมถึงการเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติ เช่น ป่าน ปอ กล้วย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมให้หันมาใช้บริการที่เน้นความยั่งยืนเพื่อลดการบริโภคเสื้อผ้าด่วน (Fast Fashion) เช่น การเช่าเสื้อผ้า การซ่อมแซมเสื้อผ้า หรือการซื้อขายเสื้อผ้ามือสอง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเสื้อผ้าและลดปริมาณขยะเสื้อผ้าได้อย่างยั่งยืน (Armstrong et al., 2015; Joanes et al., 2020) ในช่วงหลังการเกิดโรคระบาดโควิด-19 พบว่าการตลาดเสื้อผ้ามือสองมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและได้รับความนิยมมากในผู้บริโภคกลุ่ม Gen Z และ Millennials ซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคหลักของสินค้าที่ตอบโจทย์ความยั่งยืน (Manley et al., 2023)

ในงานวิจัยนี้พบว่าในอุตสาหกรรมแฟชั่นของไทยมีแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเป็นอันดับหนึ่ง โดยเฉพาะการใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับฤดูกาลในประเทศไทย โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยสูงถึง 42.6 องศาเซลเซียส (กองพัฒนาคุณนิมวิทยา, 2565) สำหรับแนวทางการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ควรมีการดำเนินการที่เหมาะสมเกี่ยวกับการใช้เครื่องปรับอากาศในสถานประกอบการ อาทิ ควรปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้อยู่ระหว่าง $26\text{--}27$ องศาเซลเซียส การทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง การเลือกสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศที่ใช้น้ำยาทำความเย็นชนิดใหม่ (R32) แทนชนิดเก่า (R22) และการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 และกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิด เช่น ควรเปิดเฉพาะในช่วง $10:00\text{--}15:00$ น. (ไพฑูริย์ ศรีชาติ และคณะ, 2563) การใช้เครื่องปรับอากาศระบบ Inverter สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 28 (ชาติริ บ้านเกาะ และคณะ, 2548) นอกจากนี้การบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ สามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดการเกิดปัญหาหรือการชำรุด ซึ่งอาจส่งผลให้ต้องหยุดการผลิตและเสียเวลาและลดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (สุวิทย์ ภูลี และ ปารเมศ ชูติมา, 2555) หรืออาจติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเข้ากับเครื่องจักร เช่น เครื่องกำหนดกำลังงานไฟฟ้า (ฉัตรชัย โกสุม และคณะ, 2565) นอกจากนี้ในส่วนของการพนักงานควรมีการตั้งค่า standby mode ของเครื่องคอมพิวเตอร์กรณีที่ไมใช้งาน รวมถึงปลูกจิตสำนึกในการลดใช้พลังงานทุกประเภทในสถานประกอบการ ใน

กรณีของธุรกิจอัญมณีและเครื่องประดับ ซึ่งมีอัตราการใช้พลังงานจากหลอดไฟ ค่อนข้างมาก การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟชนิดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED) แทนการใช้หลอดไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 10-12 วัตต์ (Usapein and Tongcumpou 2016) หากมองในระยะยาว ผู้ประกอบการควรพิจารณาการเปลี่ยนมาใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ หรือการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อป ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกหนึ่งแนวทางสำคัญคือการนำหลัก 3Rs ได้แก่ การลดการก่อขยะ การนำกลับมาใช้ใหม่ในสภาพเดิม และการนำกลับมาใช้ใหม่โดยการแปรสภาพ มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและภายในองค์กร จะช่วยลดปัญหาขยะที่เกิดขึ้นในองค์กรได้ (พิริยธรรม วรรณพุกษ์, 2555) ในส่วนของการลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการโลจิสติกส์เป็นอีกแนวทางสำคัญที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมแฟชั่นได้ เช่น การเปลี่ยนมาใช้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทดแทน เช่น รถไฟฟ้า (EV) หรือรถไฮบริด ที่มีการปล่อยมลพิษต่ำกว่ายานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การปรับปรุงระบบจัดการโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การวางแผนเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม เพื่อลดระยะทางการขนส่งและลดการใช้เชื้อเพลิง การรวมการขนส่งหลายจุดหมายในครั้งเดียว หรือการใช้ซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการวางแผนเส้นทางการขนส่ง เพื่อให้สามารถลดเวลาการขนส่งและลดการใช้พลังงาน (Juan et al., 2016; Khurana, 2020; กุลภรณ์ บุญชู และคณะ, 2565) ซึ่งโลจิสติกส์สีเขียวสามารถช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งได้ถึงร้อยละ 21 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 16 tCO₂-eq ต่อคันต่อปี (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2566) สำหรับแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำประปาในธุรกิจเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกาย อาจนำเทคโนโลยีพลาสมาที่สามารถตกแต่งสิ่งทอโดยไม่ใช้น้ำและสารเคมีเข้ามาช่วยได้ (อานนท์ เศรษฐกรเกียรติ, 2556) นอกจากนี้ ภาครัฐควรมีมาตรการด้านการจำกัดการใช้พลังงาน เช่น การกำหนดราคาคาร์บอน (carbon pricing) ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญที่ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกและแก้ปัญหาโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการคือ ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่ายราคาคาร์บอนโดยปรับราคาตลาดของสินค้าและบริการให้สะท้อนกับต้นทุนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้ผู้ผลิตหันไปใช้เทคโนโลยีสะอาดในการดำเนินธุรกิจมากขึ้น หรือมีมาตรการทางภาษี เช่น ภาษีคาร์บอนเครดิตที่ได้จะสามารถนำมาประเมินราคาและจำหน่ายให้กับองค์กรอื่น ๆ ที่ต้องการเพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้

สุดท้ายนี้ ข้อมูลการประเมินที่ได้จากการวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนเพื่อจัดทำโครงการหรือกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพการจัดเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในสถานประกอบการ เช่น การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดผล หรือการใช้ระบบฐานข้อมูลที่สามารถบันทึกข้อมูลพลังงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจกแบบเรียลไทม์ ซึ่งจะช่วยให้มีความแม่นยำในการเก็บข้อมูล ลดความไม่แน่นอน และปรับปรุงคุณภาพข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การจัดการด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมแฟชั่นมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระยะยาว เพื่อติดตามผลการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ใน SME อุตสาหกรรมแฟชั่นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการวิเคราะห์การพัฒนาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี เช่น IoT หรือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการติดตามและควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ
3. ควรมีการศึกษาแนวโน้มด้านเศรษฐกิจ เช่น ราคาพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงของนโยบายสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจส่งผลต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในอุตสาหกรรมแฟชั่น
4. ควรมีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP) ของอุตสาหกรรมแฟชั่น เพื่อให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ประกอบการ SME กลุ่มอุตสาหกรรมแฟชั่นที่เข้าร่วมกิจกรรมกับทางกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม สำหรับการสนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- กุลภรณ์ บุญชู, ชนกกานต์ พิงชาติ, ฐปนก วงศ์ศิริ, ณัฐฐา นาคศิริ และ สรศักดิ์ ชูเถื่อน. (2565). การปรับปรุงเส้นทางการเดินทางเพื่อสนับสนุน แนวคิด Green Logistics: กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 1(1), 22-40.
- การุณย์ ชัยวนิชย์. (2563). การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา เทศบาลตำบลภาชี. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า*, 19(1), 65-75.
- จิตลดา หมาขันธ์, อติกร เสรีพัฒน์, บัณฑิต รัตนไตร และสมบัติ ทิฆัมภ์. (2560). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 11(1), 57-66.
- ฉัตรชัย โกสุม, ปานฤทัย โกสุม, เกชา อยู่แก้ว, ประกิจ ธรรมนิเทศ. (2565). เครื่องกำหนดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี*, 6(1), 13-27.
- ชาตรี บ้านเกาะ, วีระพล โมณะกุล, ศิริชัย เทพา และ สุกิจ นิตินัย. (2548). การประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศทั่วไปด้วยอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี*, 28(1), 29-42.
- ชาธิกา ขาญนันทพิพัฒน์, สลิลธร ทองมีสุข, ขจรพงศ์ ประสาทรวินทร, พิชญ์พล จิรวงศาพันธุ์, กรวิช จิระเรืองรัตน์ และ เอกปวิณ อนุสนธิ์. (2566). เตรียมธุรกิจไทย...ให้พร้อมสู่ยุคคาร์บอนต่ำด้วยข้อมูลก๊าซเรือนกระจก และการสนับสนุนทางการเงิน. *TDR Annual Public Conference 2023*. สามย่านมิตรทาวน์ฮอลล์.
- จิตติกร หมาขันธ์, สมบัติ ทิฆัมภ์, อติกร เสรีพัฒน์ และ บัณฑิต รัตนไตร. (2561). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 12(2), 195-209.
- นพพร เหลืองยวง และ สุพรรณนิภา วัฒนะ. (2565). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 23*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นิตยา ศิริวัน และ ชลิตา สุวรรณ. (2559). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เสื้อจากผ้าบาติก. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 12(3), 83-95.
- ผไทมาศ เป็องปรีชาศักดิ์, ฤทธิรงค์ จังโกฏ, พฤกษ์ ตัญจรัตน์ และ เทพภร คำสอง. (2562). การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 13(3), 34-43.
- พิริยุตม์ วรรณพฤษ. (2555). *การปรับปรุงนโยบายการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย* [วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พุทธ กิตติวิทย์กุล. (2561). *การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของ บริษัท เอเชีย แปซิฟิค ปีโตรเคมีคอล จำกัด (ที่คลังสินค้า T86)* [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ไพรัช อุสุภรัตน์ และ หาญพล พึ่งรัตน์. (2557). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 22(1), 1-12.
- รัชชานนท์ สุขสวัสดิ์ และ นที สุริยานนท์. (2566). คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร: กรณีศึกษา โรงหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป บริษัท กาญจนกันกรหรือเพอร์ตี จำกัด. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*, 1-9.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (25 เมษายน 2562). *นโยบายที่มุ่งเน้นความยั่งยืนของธุรกิจแฟชั่น*.
<https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.1030.1.0.html>
- สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ. (24 มีนาคม 2564). *อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับตั้งเป้าลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์*. <https://infocenter.git.or.th/th/article/article-20210324>

- สุเมธ อภิตติกุล. (2566). ชาร์จพลังประเทศไทย...ไปสู่เมืองน่าอยู่ ระบบขนส่งสาธารณะพร้อม การขนส่งคาร์บอนต่ำ. *TDRI Annual Public Conference 2023*. สามย่านมิตรทาวน์ฮอลล์.
- สุวิทย์ ภูลี และ ปารเมศ ชูติมา. (2555). การปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต. *Journal of Energy Research*, 9(1), 30-46.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2567). สถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567. <https://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Forecast/ShorttermForecast/EnergyForecast2023.pdf>
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (พิมพ์ครั้งที่ 6). องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2562). มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม.
- อานนท์ เศรษฐกรเกียรติ. (2556). นวัตกรรมสิ่งทอสีเขียว. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 2 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- Al Mamun, A., Uddin, M. A., Shohag, M. A. S., Bappy, M. M., and Talukder, A. (2024). Energy consumption modeling in industrial sewing operations: A case study on carbon footprint measurement in the apparel industry. *Manufacturing Letters*, 41, 1635-1644. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.190>
- Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E., and Lang, C. (2015). Sustainable product-service systems for clothing: exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland. *Journal of Cleaner Production*, 97, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.046>
- Awanthi, M. G. G. and Navaratne, C. M. (2018). Carbon footprint of an organization: A tool for monitoring impacts on global warming. *Procedia Engineering*, 212, 729-735. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.094>.
- Bauck, W. (2017). *The fashion industry emits as much greenhouse gas as all of Russia*. <https://fashionista.com/2017/09/fashion-industry-greenhouse-gas-climate-change-sustainability>.
- Chen, Y., Geever, L. M., Killion, J. A., Lyons, J. G., Higginbotham, C. L., and Devine, D. M. (2016). Review of multifarious applications of poly (lactic acid). *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 55(10), 1057-1075. <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1132465>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy and Volume 5: Waste*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Janangkakan, B., Chavalparit, O., and Kanchanapiya, P. (2012). Carbon footprint of an academic organization: A case study of the department of environmental of environmental engineering, Chulalongkorn University. *Applied Environmental Research*, 34(1), 23-35.
- Joanes, T., Gwozdz, W., and Klöckner, C. A. (2020). Reducing personal clothing consumption: A cross-cultural validation of the comprehensive action determination model. *Journal of Environmental Psychology*, 71, 101396. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101396>
- Juan, A. A., Mendez, C. A., Faulin, J., De Armas, J., and Grasman, S. E. (2016). Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*, 9(2), 86. <https://doi.org/10.3390/en9020086>
- Khurana, K. (2020). *Sustainable approaches in fashion logistics: A step forward to sustainability*. Routledge.

- Li, Z., Zhou, Y., Zhao, M., Guan, D., and Yang, Z. (2024). The carbon footprint of fast fashion consumption and mitigation strategies-a case study of jeans. *Science of the Total Environment*, 924, 171508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171508>
- Manley, A., Seock, Y. K., and Shin, J. (2023). Exploring the perceptions and motivations of Gen Z and Millennials toward sustainable clothing. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 51(4), 313-327.
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., and Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Peters, G., Li, M., and Lenzen, M. (2021). The need to decelerate fast fashion in a hot climate-A global sustainability perspective on the garment industry. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126390.
- Pleerux, N. and Aimkuy, N. (2021). Carbon footprint of mangosteen farm level evaluation in eastern Thailand. *Current Applied Science and Technology*, 21(3), 419-430.
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N. and Rockström, J. (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>
- Singh, J. and Bansal, S. (2024). The impact of the fashion industry on the climate and ecology. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 210-215.
- Song, J. S. and Lee, K. M. (2010). Development of a low-carbon product design system based on embedded GHG emissions. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(9), 547-556.
- Usapein, P. and Tongcumpou, C. (2016). Greenhouse gas emission in jewelry industry: A case study of silver flat ring. *Applied Environmental Research*, 38(1), 11-17.
- Wren, B. (2022). Sustainable supply chain management in the fast fashion Industry: A comparative study of current efforts and best practices to address the climate crisis. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100032.

การเปรียบเทียบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบ 50 เมตรระหว่างโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก และโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำของนักกีฬาว่ายน้ำหญิง

Comparison of 50-Meter Breaststroke Speed Between Land-Based and Aquatic Leg Plyometric Training Program in Female Swimmers

รัตนา บุญลือ^{1*}, ขจรศักดิ์ รุ่งประพันธ์²

Rattana Boonlue^{1*}, Kajornsak Roonprapunta²

¹มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติวิทยาเขตสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย

¹ Thailand National Sports University Sukhothai Campus, Sukhothai Province

² ภาควิชาพลศึกษาและวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² Department of Physical Education and Exercise Sciences, Faculty of Education, Naresuan University

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ระหว่างการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำของนักกีฬาว่ายน้ำหญิง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้มาจากนักกีฬาว่ายน้ำหญิงที่ศึกษาอยู่ในโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 20 คน อายุระหว่าง 15 – 18 ปี ในปีการศึกษา 2563 โดยการเลือกแบบเจาะจงนำประชากรนักกีฬาว่ายน้ำหญิงทั้งหมดมาทดสอบความเร็วโดยการว่ายน้ำระยะทาง 50 เมตร ด้วยความเร็วสูงสุด โดยใช้การจับเวลา (Test Time) กำหนดให้มีกลุ่มทดลองด้วยพลัยโอเมตริกขาบน 10 คน และกลุ่มทดลองพลัยโอเมตริกขาในน้ำจำนวน 10 คน ใช้การแบ่งกลุ่มโดยวิธีการสุ่มแบบกำหนด (Randomized Assignment) ทำการฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนและโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำรวมทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน (วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์) ทดสอบความเร็วด้วยการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลองและระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยการทดสอบค่าที่ ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาว่ายน้ำหญิง ด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบก มีความเร็วกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 2) หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาว่ายน้ำหญิง ด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ มีความเร็วกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 3) หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ระหว่างการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: การว่ายน้ำท่ากบ 50 เมตร โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำ นักกีฬาว่ายน้ำหญิง

Abstract

This research is Quasi-experimental research design. Aimed of this study was to comparison the 50-meter spatial swimming speed between the onshore leg plyometric and the inner leg plyometric. The water of female swimming athletes. The sample group in this research 20 female swimmers studied at a Suphanburi sports school province aged 15 - 18 in the year study 2020 by selecting a specific athlete population. All female swimmers come to the speed test by swimming 50 meters breaststroke of water at full speed. By using test time, there were 10

* Corresponding author: rattaveeo@nu.ac.th

upper limb plyometric test groups and 10 aqua plyometric trials using a random sampling. Practice with upper leg plyometric program and water leg plyometric program for a total of 8 weeks, 3 days a week (Monday Wednesday and Friday). Breaststroke at a distance of 50 meters was measured before and after the experiment at week 8, the results were analyzed statistically. To find mean and standard deviation and compare the difference before and after the experiment and between the experimental groups. By using t-testing the value is statistically before and after the experiment and between the experimental groups. By testing the values at statistically significant at .05. The results of the research showed 1) After 8 weeks of experiment, the female swimmer's 50-meter breaststroke swimming speed with plyometric leg training on land. The speed was statistically significantly higher than before the weaving. 05 2) After 8 weeks of experiment, the female swimmer's 50-meter breaststroke swimming speed with plyometric in the water. The speed was statistically significantly higher than before the weaving. 05 3) After 8 weeks of experiment, the 50meter breaststroke swimming speed during the plyometric training leg on land and plyometric training in the water. There was not statistically as a result has significant difference at .05

Keywords: speed swimming 50 meter, land leg plyometric, aqua leg plyometric, female swimmers

1. บทนำ

การว่ายน้ำเป็นกิจกรรมกีฬาประเภทหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญต่อชีวิตมนุษย์ในด้าน ความปลอดภัยในชีวิต กีฬาว่ายน้ำที่เป็นกีฬาที่เคลื่อนไหวได้ครบทุกส่วน ทำให้กล้ามเนื้อและระบบต่าง ๆ ของร่างกายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการแข่งขันกีฬาว่ายน้ำนั้นท่าว่ายน้ำที่นิยมใช้ในการจัดการแข่งขันว่ายน้ำทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีด้วยกัน 4 ท่าว่ายน้ำ ประกอบไปด้วย ท่าว่ายวิดวาหรือที่นิยมเรียกกันว่า ท่าฟรีสไตล์ ท่าว่ายกบ ท่าว่ายกรรเชียง และท่าว่ายผีเสื้อ เป็นต้น (อภิชาติ อ่อนสร้อย, 2555) การว่ายน้ำท่ากบเป็นท่าว่ายน้ำที่มีความเร็วที่สุดในท่าว่ายน้ำมาตรฐานทั้งสี่ท่า เนื่องจากต้องใช้แรงผลักดันในการว่ายน้ำจากขามากกว่าแขน ซึ่งแตกต่างจากท่าว่ายน้ำท่าอื่น ๆ ที่ใช้แขนเป็นหลัก (สาริต หงษ์ทอง, 2550) ทักษะเบื้องต้นที่สำคัญที่ใช้ในการว่ายน้ำ ได้แก่ การใช้ขา การใช้แขน ลำตัว การหายใจ การทรงตัว จะมีความสัมพันธ์ระหว่างระบบกล้ามเนื้อและอวัยวะอื่น ๆ ในร่างกาย

สำหรับผู้ฝึกซ้อมกีฬาว่ายน้ำ นักกีฬาจะต้องเป็นผู้มีทักษะ และสมรรถภาพทางกายที่ดี การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายสามารถทำได้โดย การฝึกความสามารถที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรง ความอดทน ความเร็ว ความคล่องแคล่วว่องไว โดยเฉพาะนักกีฬาว่ายน้ำในระยะทาง ที่แตกต่างกันย่อมต้องการสมรรถภาพทางกายที่แตกต่างกันไป ดังนั้นผู้ฝึกสอนจะต้องเข้าใจและสามารถสร้างสมรรถภาพทางกายให้นักกีฬาของตนอย่างถูกต้อง นักกีฬาว่ายน้ำเองก็ต้องพยายามฝึกให้มีทักษะและสมรรถภาพทางกายที่ดี เพราะการฝึกทักษะจะช่วยให้ใช้พลังงานน้อยกว่าโดยได้งานที่เท่ากัน กล่าวคือ มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนสมรรถภาพทางกายที่ดี ก็จะช่วยเพิ่มการแสดงออกทางทักษะ ได้ถูกต้องยาวนานขึ้น

การฝึกพลัยโอเมตริกจะเป็นวิธีการฝึกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในนักกีฬาที่ต้องการพัฒนาพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ พลังระเบิดของกล้ามเนื้อเกิดจากการที่กล้ามเนื้อออกแรงเต็มที่อย่างรวดเร็วหนึ่งครั้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวที่ต้องการความเร็วสูงในขณะปล่อยอุปกรณ์กีฬาออกไป หรือต้องการความเร็วสูงที่จุดกระทบ นอกจากนั้น ยังมีผลต่อการเคลื่อนไหวที่มีการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็วตลอดจนการเร่งความเร็วในระหว่างการแข่งขันกีฬานิตต่าง ๆ ด้วยในขณะที่นักกีฬาพยายามที่จะออกแรงเพื่อทำให้เกิดพลังระเบิดของกล้ามเนื้อให้มากที่สุดนั้น นักกีฬาจะต้องพยายามใช้เวลาในการออกแรงและเร่งความเร็วของส่วนต่างๆ ของร่างกายโดยใช้เวลาน้อยลง ทั้งนี้เกิดจากมีการพัฒนากลไกการทำงานของกล้ามเนื้อที่สำคัญสองประการ คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะออกแรงได้มากภายในเวลาสั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราการพัฒนาแรง (Rate of force development) และความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะออกแรงได้มากอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นพลัยเมตริก

(Plyometric) เป็นการฝึกกล้ามเนื้อ เพื่อเชื่อมโยงให้เกิดความแข็งแรงเข้ากับความเร็ว และเกิดพลังของกล้ามเนื้อ โดยการใช้วิธีการฝึกการกระโดดต่าง ๆ ซึ่งผู้ฝึกสอนจะนิยมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อน และค่อยเสริมสร้างความเร็ว หรือสมรรถภาพด้านอื่น ๆ การฝึกพลัยโอเมตริก (Plyometric) มีรากฐานจากความเชื่อที่ว่า การเหยียดออกอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวเร็วเท่าใดก็ยิ่งมีการพัฒนาแรงหดตัวแบบสั้นเข้ามามากยิ่งขึ้น (ณัฐกร หงส์เจริญสกุล, 2556) การฝึกพลัยโอเมตริก (Plyometric) มีรากฐานจากความเชื่อที่ว่า การเหยียดออกอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวเร็วเท่าใดก็ยิ่งมีการพัฒนาแรงหดตัวแบบสั้นเข้ามามากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (กานต์ ช่วงบุญศรี, 2553) ที่พบว่า พลัยโอเมตริกสามารถพัฒนาความแข็งแรง พลัง และความอดทนได้ การฝึกแบบพลัยโอเมตริก จะมีส่วนที่ช่วยในการพัฒนาการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Nervous and muscular system) เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่แรงและรวดเร็ว (จักรกฤษณ์ พิเศษ, 2561)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการว่ายน้ำท่ากบในนักกีฬาว่ายน้ำหญิง เพื่อการพัฒนานักกีฬาว่ายน้ำหญิงให้สามารถทำผลงานในระดับนานาชาติได้เท่ากับนักกีฬาชาย เพราะการว่ายน้ำท่ากบเป็นการว่ายน้ำที่สบายที่สุด (เล็กเสี้ยวหงษ์, 2555) แต่จะสามารถว่ายน้ำให้มีความเร็วสูงสุดเท่ากับการว่ายน้ำของท่าอื่นนั้นยากมาก และเป็นท่าว่ายน้ำที่นิยมใช้กันทั่วโลก เพราะสามารถใช้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายให้มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำ เพื่อให้เกิดความเร็วสูงสุดในการแข่งขัน และว่ายน้ำท่ากบต้องใช้ความแข็งแรง พลังของขา ซึ่งใช้ในการเตะเท้าในการว่ายน้ำท่ากบ ร่วมกับโปรแกรมการฝึกซ้อมของนักกีฬาว่ายน้ำ ซึ่งผู้วิจัยเชื่อว่าการเพิ่มความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อขาจะช่วยให้นักกีฬาว่ายน้ำท่ากบดีขึ้น ด้วยเหตุผลนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเรื่องการเพิ่มความเร็วของกล้ามเนื้อขา ร่วมกับโปรแกรมการฝึกว่ายน้ำท่ากบที่มีต่อความเร็วในการว่ายน้ำระยะ 50 เมตร

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำที่มีผลต่อความเร็วของการว่ายน้ำท่ากบระยะ 50 เมตร

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ ที่มีผลต่อความเร็วของการว่ายน้ำท่ากบระยะ 50 เมตร ก่อนและหลังการเข้าร่วมโปรแกรม

2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ ที่มีผลต่อความเร็วของการว่ายน้ำท่ากบระยะ 50 เมตร ระหว่างกลุ่มที่ฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก และกลุ่มที่ฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบก และโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ

ตัวแปรตาม คือ ความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาว่ายน้ำหญิงของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี อายุระหว่าง 15-18 ปี จำนวน 20 คน ในปีการศึกษา 2563 ที่มีประสบการณ์ในการฝึกซ้อมและแข่งขันว่ายน้ำเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 3 ปี โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection) จากนั้นทำการทดสอบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร นำผลการทดสอบที่ได้มาเรียงลำดับตั้งแต่ 1-20 แล้วแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน โดยวิธีการสุ่มแบบกำหนด (Randomized Assignment) เพื่อให้แต่ละกลุ่มมีนักกีฬาที่มีความเร็วในการว่ายน้ำเท่าเทียมกันมากที่สุด ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มพลัยโอเมตริกบนบก ประกอบด้วย 1, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 16, 17 และ 20 ฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกบนบก

กลุ่มที่ 2 กลุ่มพลัยโอเมตริกในน้ำ ประกอบด้วย 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18 และ 19 ฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกในน้ำ

เกณฑ์การคัดเลือกผู้วิจัย

1. นักกีฬาว่ายน้ำหญิง ซึ่งมีอายุระหว่าง 15 – 18 ปี มีการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาเป็นประจำ อย่างน้อย 3 ครั้ง/สัปดาห์
2. มีสุขภาพที่แข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการ ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกายโดยประมาณ จากแบบสอบถามประวัติสุขภาพทั่วไปจากผู้ปกครองและแบบประเมินความพร้อมก่อนการเข้าร่วมการทดลอง
3. ผ่านเกณฑ์การประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (PAR-Q+)
4. มีความสนใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดช่วงการศึกษา

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยจากการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจ หรือโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และมีภาวะความดันโลหิตสูง หรือโรคอื่น ๆ ที่เป็นอุปสรรคในการเข้าร่วมงานวิจัย
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (PAR-Q+)
3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีปัญหาที่ไม่สามารถทำการทดสอบในงานวิจัยได้

เกณฑ์การถอดถอนผู้เข้าร่วมวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมในการวิจัยได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง หรือขอถอนตัวออกจากการวิจัย
2. ขาดการเข้าร่วมการฝึกการออกกำลังกาย 2 ครั้งติดต่อกัน
3. กลุ่มตัวอย่างเกิดเหตุสุดวิสัยที่ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บในการฝึกซ้อมหรือมีอาการเจ็บป่วยในช่วงการทดลอง เป็นต้น

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง โดยออกแบบการทดลองที่มีการดำเนินการแบบสุ่ม และมีกลุ่มไว้สำหรับเปรียบเทียบและการทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 2 หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ คือ ความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร

เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือ

1. โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกบนบก โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกกำหนดให้กลุ่มทดลองทำการฝึกพลัยโอเมตริกทำการฝึกบนบก ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เวลา 16.00 – 17.30 น.
2. โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกกำหนดให้กลุ่มทดลองทำการฝึกพลัยโอเมตริกทำการฝึกในน้ำที่มีความลึก 1.5 เมตร (ประมาณระดับอกของนักกีฬา) อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเท่ากับ 27.6 องศาเซลเซียส ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เวลา 16.00 – 17.30 น.
3. แบบทดสอบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร

เครื่องมือ และสถานที่ ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง
2. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
3. เครื่องบอลลิสติก เมสเชอเมนต์ ซิสเต็ม (Ballistic Measurement System : BMS)
4. สระว่ายน้ำมาตรฐาน ความยาว 50 เมตร สำหรับทดสอบความเร็วในการว่ายน้ำ

5. สระว่ายน้ำที่มีความลึกระดับอกของนักกีฬา สำหรับการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ
6. นกหวีดให้สัญญาณ
7. นาฬิกาจับเวลาที่มีความละเอียด 1/100 วินาที
8. แบบบันทึกผลการทดสอบ
9. สถานที่ที่ใช้ในการทำการทดลอง สระว่ายน้ำโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลของการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยยังคำนึงถึงความเที่ยงตรง และความเชื่อถือได้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและผลของข้อมูลจึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างคล่องตัว และได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกพลัยโอเมตริก
2. สร้างโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของขา
3. ทดลองใช้แล้วปรับปรุงแก้ไข
4. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึก
5. ทำการทดสอบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ออกตัวเหมือนการแข่งขันจริงโดยการกระโดดจาก

แท่นจับเวลา ก่อนการฝึกซ้อม 1 วัน (Pre-Test)

6. ให้นักกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ฝึกตามโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ในเวลา 15.00 – 16.00 น.
7. ทำการทดสอบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบ ระยะทาง 50 เมตร หลังจากการฝึกซ้อมสัปดาห์ที่ 8 (Post-Test)
8. ตรวจสอบความสมบูรณ์ข้อมูล
9. นำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เวลารวมระยะ 8 สัปดาห์ ซึ่งจะทำการฝึกสัปดาห์ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 16.00 น. – 17.30 น.

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

1. หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8
2. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร
3. เปรียบเทียบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตรก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มพลัยโอเมตริกขาบนบกและกลุ่มพลัยโอเมตริกขาในน้ำ โดยใช้สถิติ t-test dependent
4. เปรียบเทียบความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มพลัยโอเมตริกขาบนบกและกลุ่มพลัยโอเมตริกขาในน้ำ โดยใช้สถิติ t-test-independent
5. นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบตาราง ความเรียง

4. ผลการวิจัย

ผลการใช้โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำ 8 สัปดาห์ พบค่าเฉลี่ย ดังนี้

1. หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ระยะเวลาในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาวัยน้ำหญิง ด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบก มีความเร็วกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการใช้โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก

พลัยโอเมตริกขาบนบก	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		t	Sig
	$\bar{X}$	S.D	$\bar{X}$	S.D		
ระยะเวลา (วินาที)	39.70	3.18	37.84	1.51	6.58	0.000*

*มีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ระยะเวลาในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาวัยน้ำหญิง ด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ มีความเร็วกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการใช้โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาในน้ำ

พลัยโอเมตริกขาในน้ำ	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		t	Sig
	$\bar{X}$	S.D	$\bar{X}$	S.D		
ระยะเวลา (วินาที)	39.93	3.32	38.54	2.40	-2.28	0.000*

*มีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ระยะเวลาในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ระหว่าง การฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบกและในน้ำ

การว่ายน้ำท่ากบ ระยะทาง 50 เมตร	พลัยโอเมตริกขาบนบก (หลังการทดลอง)		พลัยโอเมตริกขาในน้ำ (หลังการทดลอง)		t	Sig
	$\bar{X}$	S.D	$\bar{X}$	S.D		
ระยะเวลา (วินาที)	37.84	1.51	38.54	2.40	-776	.450

*มีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการว่ายน้ำท่ากบ ระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาวัยน้ำหญิง ด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบก ระหว่างก่อนการทดลองเท่ากับ 39.70 วินาที และหลังการทดลอง 8 สัปดาห์ เท่ากับ 37.84 วินาที พบว่า ความเร็วเฉลี่ยหลังการทดลองดีกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบโปรแกรมพลัยโอเมตริกขาบนบก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ สนธยา สีละมาต (2555) ที่กล่าวไว้ว่า เป้าหมายสูงสุดที่สำคัญของการเปลี่ยนความแข็งแรงไปเป็นพลังและความเร็ว จะเป็นการถ่ายโอนพลังงานที่สูงที่สุดของนักกีฬาที่ได้รับจากการฝึกซ้อมไปเป็นพลังที่เฉพาะเจาะจงกับชนิดกีฬา ในตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงไปเป็นพลังและความเร็วจะเป็นผลสำเร็จขึ้นอยู่กับระยะเวลาและวิธีการฝึกซ้อมที่

นำมาใช้ในการถ่ายโอนการเพิ่มขึ้นของจำนวนความแข็งแรงสูงสุดไปสู่ความต้องการด้านความแข็งแรงเฉพาะเจาะจงกับชนิดกีฬา ถ้า นักกีฬาไม่สามารถทำให้กล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงหดตัวได้ในเวลาที่สั้นที่สุด ซึ่งจะทำให้เขานั้นได้นักกีฬาจะต้องอยู่ภายใต้การฝึกซ้อมที่เฉพาะเจาะจง และไฮไลเกน (Allerheiligen, 1994) พบว่า ในขณะที่นักกีฬาระโดดลงสู่พื้นและกระโดดขึ้นทันทีที่เท้าสัมผัสพื้น เป็นผลทำให้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Hip Extensors) มีการทำงานเหยียดตัวออก แปรวดเร็ว เป็นผลทำให้กล้ามเนื้อมีการหดอย่างเต็มกำลัง สุริดา เจริญผล (2554) ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกบนบกและการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำที่มีต่อพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตรของ นักกีฬาว่ายน้ำชายกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำชายของโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 20 คน อายุระหว่าง 15-18 ปี ผลการวิจัย พบว่า หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้ง ความเร็วในการกระโดดและพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขาของกลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกพลัยโอเมตริกบนบก และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้ง ความเร็วในการกระโดด พลังระเบิดของ กล้ามเนื้อขา และความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกพลัยโอเมตริกบนบก และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุปผลการวิจัย การฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำให้ประโยชน์ได้ไม่แตกต่างจากการฝึกพลัยโอเมตริกบนบก ลดารัตน์ มะลิหวล (2557) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นทราย และพื้นแน่นที่มีต่อการกระโดดในแนวตั้งของนักกีฬา ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นแน่น มีการพัฒนาแรงในการกระโดด หลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นทราย มีการพัฒนาแรงในการกระโดด หลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นทราย มีการพัฒนาความเร็วในการกระโดดหลังการทดลองมากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุปผลการวิจัย โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นแน่นและบนพื้นทราย สามารถที่จะพัฒนาแรงในการกระโดดได้

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบ ระยะทาง 50 เมตร ของนักกีฬาว่ายน้ำหญิงด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกขาในน้ำ ระหว่างก่อนการทดลองเท่ากับ 39.93 วินาที และหลังการทดลอง 8 สัปดาห์ เท่ากับ 38.54 วินาที พบว่า ความเร็วเฉลี่ยหลังการทดลองดีกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบ สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา (2557) พบว่าการฝึกผลของการฝึกกระโดดบนบกและในน้ำที่ความลึกต่างกันต่อกำลังของกล้ามเนื้อขา ใช้ระยะเวลาในการฝึก 8 สัปดาห์ๆ ละ 3 วันๆ ผลการวิจัยพบว่ากำลังของกล้ามเนื้อขาหลังการฝึกดีขึ้นกว่าก่อนการฝึกแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับปราชญ์ อัครสาระกุล และ ชนิทรชัย อินทราภรณ์ (2557) ได้ศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ ที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อขาและความคล่องแคล่วว่องไว ในนักกีฬาบาสเกตบอลชายระดับมหาวิทยาลัย ผลการวิจัย พบว่า หลังการทดลอง 6 สัปดาห์ พลังกล้ามเนื้อขา และความคล่องแคล่วว่องไว ของกลุ่มทดลอง มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และพลังกล้ามเนื้อขา และความคล่องแคล่วว่องไวของกลุ่มทดลอง มากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สรุปผลการวิจัย การฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ สามารถพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขาและความคล่องแคล่วว่องไวได้ ซึ่งการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ ยังสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการบาดเจ็บในรายค์ส่วนล่างได้ เมธี แก้วสนธิ (2562) ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายในน้ำที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักกีฬาฟุตบอล ผลการวิจัย พบว่า หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ กลุ่มที่ฝึกด้วยโปรแกรมออกกำลังกายในน้ำร่วมกับโปรแกรมฟุตบอลปกติมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาสูงกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยโปรแกรมปกติเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาหลังการฝึกสูงกว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. การเปรียบเทียบการฝึกความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร ระหว่างการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำหลังการทดลอง ปรากฏว่า พลัยโอเมตริกขาบนบก ผลการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกขาบนบกและพลัยโอเมตริกขาในน้ำสอดคล้องกับของ ชนิทรชัย อินทราภรณ์, 2557 พบว่า การฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำให้ประโยชน์ได้ไม่แตกต่างจากการฝึกพลัยโอเมตริกบนบก โดยพลัยโอเมตริกในน้ำมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บน้อยกว่า เนื่องจากจากน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าจึงทำให้มีแรงต้าน (Water resistance) และแรงลอยตัวที่ช่วย

ลดแรงกระแทกในขณะที่กระโดดลงสู่พื้น การฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำถือได้ว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของนักกีฬาที่ต้องหลีกเลี่ยงอาการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นจากการฝึกพลัยโอเมตริกบนบกได้ จักกฤกษ์ พิเดช, 2561 ศึกษาผลของการฝึกที่มีความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อส่วนบนในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนชาย ก่อนการทดลอง หลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ ทั้งสองกลุ่มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ภายหลังการฝึก 4 และ 8 สัปดาห์ Alptekin (2014) ศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำและการฝึกพลัยโอเมตริกบนบกของนักกีฬาสเกตบอลชายระดับเยาวชน ที่มีต่อความเร็วในการวิ่งระยะทาง 36.5 และ 60 เมตร หลังจากการทดลอง 8 สัปดาห์ กลุ่มที่ฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำ ดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ฝึกพลัยโอเมตริกในน้ำกับกลุ่มที่ฝึกพลัยโอเมตริกบนบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการฝึกพลัยโอเมตริกบนบกและในน้ำ เนื่องจากการฝึกมีความหนัก จึงควรเสริมแรงจูงใจให้นักกีฬาได้มีกำลังใจต่อเนื่องในการฝึก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนกีฬาจังหวัดสุพรรณบุรี อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและพื้นที่ทำวิจัย ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีในการเข้าไปทำวิจัยและเก็บข้อมูลสำหรับการทำการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤกษ์ พิเดช .(2561). *ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อส่วนบนในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนชาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่].
<https://so03.tci-thaijo.org/index.php/tahper/article/view/240233>
- ชนินทร์ชัย อินทราภรณ์. (2557). *เอกสารประกอบการสอนเทคนิคและโปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อ*. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมธี แก้วสนิท. (2562). *ผลของการฝึกออกกำลังกายในน้ำที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักกีฬาฟุตบอล*. วารสารวิชาการสถาบันการพลศึกษา, 11(1), 35 - 44. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/TNSUJournal/article/view/245871>
- ลดารัตน์ มะลิหวล. (2561). *การเปรียบเทียบโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกบนพื้นทรายและพื้นแน่นที่มีต่อความสามารถในการกระโดดในแนวตั้งของนักกีฬา*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
<https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=2051138>
- เล็กเสียวหงษ์. (20 มิถุนายน 2555). *ท่าว่ายน้ำที่ว่ายแล้วไม่ค่อยเหนื่อย*. GotoKnow. <https://www.gotoknow.org/posts/276534>
- สนธยา สีละมอด. (2555). *หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุทธิดา เจริญผล. (2554). *ผลของการฝึกเสริมพลัยโอเมตริกบนบกและในน้ำที่มีต่อพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตรของนักกีฬาวัยรุ่นชาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาธิต หงส์ทอง.(2550). *ผลของการฝึกว่ายน้ำด้วยเวลาพักต่างกันที่มีผลต่อความเร็วในการว่ายน้ำท่ากบระยะทาง 50 เมตร*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชาติ อ่อนสร้อย และ ปรีชา ศิริรัตนไพบูลย์. (2555) *ว่ายน้ำ*. สำนักพิมพ์ รัน ทู วิชั่น จำกัด
- Allerheiligen L. (2011, July 6). *Motor Unit*. <http://www.baileybio.com/plogger/?level=picture&id=239>

-
- Alptekin, A. (2014). Body Composition and Kinematic Analysis of the Grab Start in Youth Swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 42, 15-26. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0057>.
- Gamble P. (2013). *Strength and Conditioning for Team Sports: Sport-Specific Physical Preparation for High Performance (3rd ed.)*. New York.

การนำวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส Applying Sports Science to Bodybuilding and Fitness Sports

ธเนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์^{1*} และ ศิริประภา พานทอง¹
Thanatpong Sukwong^{1*} and Siraprapa Pantong¹

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Department of Science in Sport and Exercise Science, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการวิเคราะห์การนำวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส ขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬาที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการฝึกซ้อมและพัฒนารูปร่างกล้ามเนื้อในกีฬาเพาะกายและฟิตเนสที่สำคัญ ได้แก่ กายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวกลศาสตร์ จิตวิทยา โภชนาการ และเวชศาสตร์การกีฬา โดยอาจแบ่งการฝึกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ ช่วงฝึกและปรับปรุง ช่วงการแข่งขัน และช่วงประเมินผลการฝึก อีกทั้งหลักการฝึกซ้อมทั่วไปจะเป็นการนำองค์ความรู้วิทยาศาสตร์การกีฬาด้านสรีรวิทยาใช้ในการกำหนดรูปแบบและรายละเอียดของการออกกำลังกาย ซึ่งประกอบด้วย 4 หลักการ ได้แก่ หลักการฝึกหนักเกินปกติ หลักความเฉพาะเจาะจง หลักการความแตกต่างเฉพาะบุคคล และหลักการย้อนกลับ บทความนี้เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับนักกีฬาและโค้ชในการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดการบาดเจ็บในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส

คำสำคัญ: วิทยาศาสตร์การกีฬา เพาะกายและฟิตเนส

Abstract

This academic article aims to analyze the application of sports science in bodybuilding and fitness sports. The areas of sports science that can be beneficial for training and developing muscle shape in these disciplines include anatomy, physiology, biomechanics, psychology, nutrition, and sports medicine. Training can be divided into four periods: the form and fitness assessment period, the training and improvement period, the competition period, and the training evaluation period. Additionally, the general principles of training involve applying sports science knowledge, particularly in physiology, to determine the structure and specifics of exercise. These principles include the principle of overtraining, the principle of specificity, the principle of individualization, and the principle of reversibility. This study provides a framework for applying sports science to enhance athlete performance while minimizing injury risks in bodybuilding and fitness sports.

Keywords: Sports Science, Bodybuilding and Physique Sports

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

1. บทนำ

กีฬาเพาะกายและฟิตเนส ถูกจัดอยู่ในกลุ่มกีฬาที่ฝึกซ้อมและแข่งขันโดยแรงต้านด้วยน้ำหนัก ซึ่งกีฬาประเภทนี้ประกอบไปด้วยกีฬายกน้ำหนัก (Weight Lifting) กีฬาพาวเวอร์ลิฟติ้ง (Power Lifting) กีฬาสตรองแมน (Strongman) เกมไฮแลนด์ (Highland Games) และครอสฟิต (Cross Fit) อีกด้วย (Keogh, J. W., & Winwood, P. W., 2017). ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ความสมมาตรและการกำหนด รูปร่าง สัดส่วนร่างกายที่สมบูรณ์แบบ โดยจะทำให้มีมวลไขมันในร่างกายน้อยที่สุด แม้ว่าจะมีข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเกิดการบาดเจ็บจากการใช้งานมากเกินไปและความเจ็บปวดระหว่างการฝึกซ้อมตามปกติ แต่สำหรับการแข่งขันเพาะกายและฟิตเนสนั้นพบได้น้อยมาก แต่โดยมากแล้วนั้นจะพบได้จากขณะฝึกซ้อมมากกว่าแข่งขัน อาการบาดเจ็บฉับพลันที่มักเกิดขึ้นระหว่างการฝึกซ้อม ได้แก่ อาการเคล็ดขัดยอก เอ็นฉีกขาด และกลุ่มภาวะที่ความดันภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Siewe, Jan, et al., 2014) อย่างไรก็ตาม กีฬาเพาะกายและฟิตเนสก็ยังคงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย และในต่างประเทศพบว่า มีการแข่งขันหลายพันครั้งทุกปีทั่วโลก (Steele, I. H., Pope Jr, H. G., & Kanayama, G., 2019).

ปัจจุบัน กีฬาเพาะกายและฟิตเนสในประเทศไทยได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วประเทศโดยการขับเคลื่อนของสมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย มีการจัดการแข่งขันกีฬาเพาะกายและฟิตเนสและการอบรมที่สำคัญเพื่อส่งเสริมให้ประชาชนออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและเป็นการคัดเลือกนักกีฬาเป็นตัวแทนทีมชาติไทยไปเข้าร่วมการแข่งขันในระดับชาติและนานาชาติหลายรายการ เช่น การแข่งขันกีฬาเพาะกายและฟิตเนสชิงชนะเลิศประจำจังหวัด การแข่งขันกีฬาเพาะกายและฟิตเนสในการแข่งขันกีฬายาวชนแห่งชาติ กีฬาแห่งชาติ และกีฬาวูโศแห่งชาติ การแข่งขันหนุ่มกายงามสาวกล้ามสวย การแข่งขัน Thailand Muscle and Physique Championship การแข่งขัน International Sport Expo Model การแข่งขันกีฬาเพาะกายชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย ประจำปี 2567 (Mr. Thailand 2024) มีผู้เข้าร่วมถึง 209 คน การแข่งขันกีฬาเพาะกายในกีฬาสูงอายุนานาชาติ ไทยแลนด์ โอเพ่นมาสเตอร์ เกมส์ ครั้งที่ 5 (5TH Thailand Open Masters Games 2025) มีผู้เข้าร่วมถึง 144 คน การแข่งขันกีฬาเพาะกายชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย “หนุ่มกายงาม สาวกล้ามสวย (Muscle and Physique Contest 2024) มีผู้เข้าร่วมถึง 399 คน (สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย, 2567 ค) โครงการอบรมเพาะกายทุกวัยสัปดาห์วันการอบรมผู้ฝึกสอนกีฬาเพาะกายระดับชาติ การอบรมผู้ตัดสินกีฬาเพาะกายและฟิตเนสระดับชาติ รับผิดชอบเข้าร่วมถึง 40 คน เป็นต้น (สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย, 2563 ก; สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย, 2563 ข) นอกเหนือไปจากนี้ ความสำเร็จของกีฬาเพาะกายและฟิตเนสนำไปฝึกซ้อมออกกำลังกายเพื่อส่งเสริมความมีสุขภาพดีและพัฒนาบุคลิกภาพรูปร่าง ดังจะเห็นได้จากการเติบโตอย่างรวดเร็วของธุรกิจฟิตเนสเซ็นเตอร์ในประเทศไทยที่มีจำนวนสมาชิกออกกำลังกายมากกว่า 1 ล้านคน ใน 900 กว่าสาขา ดารานักแสดงหลายคนนิยมออกกำลังกายในฟิตเนสเซ็นเตอร์เพื่อพัฒนาบุคลิกภาพและควบคุมน้ำหนักจนสามารถเปลี่ยนแปลงตัวเองให้เป็นแบบอย่างที่ดีให้กับประชาชน รวมทั้ง การเกิดขึ้นของธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจฟิตเนสเซ็นเตอร์มากมายเพื่อตอบสนองและส่งเสริมการออกกำลังกายของประชาชน เช่น ธุรกิจอาหารเพื่อสุขภาพ ธุรกิจโปรตีนสกัดพร้อมดื่ม ธุรกิจอุปกรณ์ออกกำลังกาย หรือธุรกิจการฝึกสอนออกกำลังกายส่วนบุคคลออนไลน์ เป็นต้น (ดิฐฐชัย จันทรคุณา, 2563; ดิฐฐชัย จันทรคุณา และธเนษฐพงษ์ สุขวงศ์, 2562; ดิฐฐชัย จันทรคุณา, 2561; ดิฐฐชัย จันทรคุณา และธเนษฐพงษ์ สุขวงศ์, 2561) จะเห็นได้ว่ากีฬาเพาะกายและฟิตเนสเป็นเครื่องมือสำคัญและมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความมีสุขภาพดีและขับเคลื่อนการเจริญเติบโตของธุรกิจกีฬาและออกกำลังกาย

สำหรับบุคคลที่มีความสนใจในการแข่งขันกีฬาเพาะกายและฟิตเนสควมมีความรู้ความเข้าใจทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย (Sport and Exercise Science) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักร่วมกับการควบคุมการรับประทานอาหารที่เหมาะสม การนำเอาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกายไปประยุกต์ใช้ควบคู่กับหลักการในการฝึก (Haff, 2010; Haff & Triplett, 2016) และการวางแผนการฝึกซ้อมตามช่วงเวลา (Bompa, T. O., & Buzzichelli, C., 2019). ในการฝึกและพัฒนากล้ามเนื้อทั่วร่างกาย ไม่ว่าจะการจะพัฒนาขนาด ความคมชัดของกล้ามเนื้อแล้ว รวมถึงความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อการสั่งการของระบบประสาทไปยังกล้ามเนื้อจนเกิดแรงในการหดตัวซึ่งส่งผลให้เห็นขนาดและความคมชัดมาก

ที่สุดในช่วงเวลาแข่งขัน (Peters, M. A., & Phelps, L. (2001). โดยที่การแข่งขันเพาะกายและฟิตเนสนั้น ผู้เข้าแข่งขันจะต้องแสดงท่าทางบังคับในการแข่งขันด้วยกัน 7 ท่าบังคับ ซึ่งแต่ละท่าทางนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงจุดเด่นของกล้ามเนื้อส่วนนั้น ๆ ดังนี้ 1. ท่าทางด้านหน้าเพื่อแสดงกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า (Front Double Biceps) 2. ท่าทางด้านหน้าเพื่อแสดงกล้ามเนื้อหลังด้านข้าง (Front Lat Spread) 3. ท่าทางด้านข้างเพื่อแสดงกล้ามเนื้อหน้าอก (Side Chest) 4. ท่าทางด้านหลังเพื่อแสดงกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า (Back Double Bicep) 5. ท่าทางด้านหลังเพื่อแสดงกล้ามเนื้อหลังด้านนอก (Back Lat Spread) 6. ท่าทางด้านข้างเพื่อแสดงกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลัง (Side Tricep) และ 7. ท่าทางด้านหน้าเพื่อแสดงกล้ามเนื้อหน้าท้องและต้นขา (Abdominal and Thigh) ที่สำคัญคณะกรรมการพิจารณาการได้มาซึ่งคะแนน ดังนี้ 1. สัดส่วนร่างกาย (Body Proportion) 2. ความสมดุล (Muscle Balance) 3. ความสมส่วน (Muscle Symmetry) 4. ขนาดกล้ามเนื้อ (Muscle Size) 5. รูปร่างของกล้ามเนื้อ (Muscle Shape) 5. ความหนาแน่นของกล้ามเนื้อ (Muscle Density) 6. ความแตกตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle Separation) 7. ความคมชัดของกล้ามเนื้อ (Muscle Definition) (Bauer, A., 2018; Santonja., R., 2019).

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การพิจารณาในท่าทางนั้น มิได้ดูเพียงแคขนาดและความคมชัดของกล้ามเนื้อเพียงเท่านั้น แต่จะให้ความสำคัญกับการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อที่ส่งผลให้เกิดท่าทางนั้น ๆ อีกด้วย ดังนั้น การจะสั่งการของระบบประสาทกล้ามเนื้อให้เกิดท่าทางที่ถูกต้อง ลำดับการสั่งการและควบคุมควบคุมกล้ามเนื้อด้านซ้ายและขวาในเวลาเดียวกันทั้งหมดล้วนแล้วแต่เป็นเทคนิคทักษะที่นักกีฬาต้องฝึกฝนมาจนเกิดความชำนาญ และสิ่งนี้ก็ต้องใช้หลักความรู้ความเข้าใจในวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ ธเนษฐพงษ์ สุขวงศ์ และคณะ., (2564) ที่ศึกษาทางคิเนมาติกส์ คิเนติกส์ และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะโพล 7 ท่าบังคับในนักกีฬาเพาะกายและฟิตเนสทีมชาติไทย ที่สรุปได้ว่า มุมข้อต่อของร่างกายเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันในขณะแสดงท่าทางบังคับทั้ง 7 ท่าทางในการประกวดหรือแข่งขันเพาะกายและฟิตเนส แม้ว่ากีฬาเพาะกายและฟิตเนสจะได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก แต่ยังขาดการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์การกีฬาที่เหมาะสมในกระบวนการฝึกซ้อม และ/หรือเกิดการบาดเจ็บจากการฝึกที่ไม่เหมาะสมยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญในการพัฒนานักกีฬา ด้วยเหตุนี้ คณะผู้ประพันธ์จึงมีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการวิเคราะห์การนำวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส โดยมีเนื้อหากลุ่มขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬาและหลักการฝึกซ้อมทั่วไป ซึ่งผู้อ่านบทความวิชาการนี้จะสามารถนำองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกายด้วยกีฬาเพาะกายและฟิตเนสต่อไป

2. ขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬา

ก่อนจะทำความเข้าใจขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬา ผู้ประพันธ์จะอธิบายความหมายของวิทยาศาสตร์การกีฬาจากผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาจากทั่วโลก โดย แกรกอรี จี. ฮาฟฟ์ (Gregory G. Haff) ศาสตราจารย์ด้านความแข็งแรงและการปรับสภาพ (Strength and Conditioning) มหาวิทยาลัยเอดิธ โคแวน (Edith Cowan University) ประเทศออสเตรเลีย บรรณาธิการสถาบัน National Strength Conditioning Association (NSCA) ซึ่งเป็นผู้ประพันธ์หนังสือด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาด้านการฝึกความแข็งแรงและการปรับสภาพ รวมทั้งบทความวิจัยมากกว่า 100 ชิ้น (Haff, 2010; Haff & Triplett, 2016) ดังนี้

วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คือ สหวิทยาการ (เช่น สรีรวิทยาการออกกำลังกาย ชีวกลศาสตร์ การเรียนรู้การเคลื่อนไหว และการพัฒนาโลก) ซึ่งมุ่งเน้นทำความเข้าใจและเพิ่มพูนสมรรถภาพกีฬา วิทยาศาสตร์การกีฬาสามารถใช้เป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการขึ้นการฝึกกีฬาเพื่อการพัฒนาสมรรถภาพกีฬา

วิทยาศาสตร์การกีฬาสามารถนิยามได้ว่าเป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพนักกีฬาในการแข่งขัน โดยมีขอบเขตการศึกษาในรากฐานของสรีรวิทยา ชีวเคมี ชีวกลศาสตร์ โภชนาการ และการศึกษาเกี่ยวกับระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrinology) อย่างไรก็ตาม วิทยาศาสตร์การกีฬาเป็นการศึกษาที่เฉพาะเจาะจงถึงการทำงานร่วมกันของระบบต่างๆ ในร่างกายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพนักกีฬาให้ถึงขีดสูงสุดและค้นหาวิธีการผสมผสานรูปแบบการฝึกที่แตกต่างกันให้บรรลุเป้าหมายในการแข่งขันกีฬา นอกจากนี้ วิทยาศาสตร์การกีฬา

ยังมีบทบาทในการรักษาสภาพนักกีฬาระหว่างการฝึกด้วยความเข้มข้นสูง ทำนายภาวะเมื่อยล้าหรือภาวะซุ่มเกิน (Overtraining syndrome) เพิ่มประสิทธิภาพร่างกายระหว่างการพักการออกกำลังกาย (เช่น การนอน หรือ การใช้อาหารเสริม) รวมทั้งป้องกันการบาดเจ็บในนักกีฬาด้วยเวชศาสตร์การกีฬา

ทั้งนี้ วิทยาศาสตร์การกีฬาคือหลักการของวิทยาศาสตร์ซึ่งสัมพันธ์กับการพัฒนาสมรรถภาพทางกีฬาซึ่งมีขอบเขตตั้งแต่ วิทยาศาสตร์การกีฬาประยุกต์จนถึงวิทยาศาสตร์การกีฬาพื้นฐาน โดยวิทยาศาสตร์การกีฬาประยุกต์ หมายถึง การวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับนักกีฬา (และผู้ฝึกสอน) และสามารถประยุกต์ใช้ได้ทันที ในขณะที่วิทยาศาสตร์การกีฬาพื้นฐาน หมายถึง การวิจัยที่ไม่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงหรือนำไปใช้ได้โดยตรงกับนักกีฬา

นอกจากนี้ วิทยาศาสตร์การกีฬา ยังหมายรวมถึงการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความมี สุขภาพดี ซึ่งจะส่งผลต่อการฝึกซ้อม และการแข่งขันกีฬาก็หากมีการนำไปใช้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ ผู้ฝึกสอน นักกีฬา รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องในทีมกีฬาหรือองค์กรกีฬา ควรได้รับการอบรมหรือเพิ่มพูนความรู้วิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อนำไปใช้ในการส่งเสริมสมรรถภาพทางการกีฬาให้ประสบความสำเร็จ

จะเห็นได้ว่า วิทยาศาสตร์การกีฬา คือ สหวิทยาการความรู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬา โดยการประยุกต์หลักการที่หลากหลายด้วยการวิจัยให้เกิดผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อนักกีฬา เช่น สรีรวิทยา ชีวกลศาสตร์ จิตวิทยา โภชนาการ จิตวิทยา การควบคุมกลไก และระบบต่อมไร้ท่อ เป็นต้น ทั้งนี้ วิทยาศาสตร์การกีฬา สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการฝึกซ้อมและพัฒนารูปร่างกล้ามเนื้อในกีฬาเพาะกายและฟิตเนสในขอบเขตที่สำคัญได้แก่ กายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวกลศาสตร์ จิตวิทยา โภชนาการ และเวชศาสตร์การกีฬา โดยมีรายละเอียดดังนี้

กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy) คือ การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างองค์ประกอบของร่างกาย ซึ่งอาจจำแนกเป็นกระดูก กล้ามเนื้อ ผิวหนังและเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง และสิ่งอื่น เช่น เส้นผม เลือด น้ำเหลือง เป็นต้น หรืออาจจำแนกเป็นมวลไขมัน (Fat-mass) เช่น ไขมันในช่องท้อง ไขมันใต้ผิวหนัง หรือไขมันในกระแสเลือด เป็นต้น มวลที่ปราศจากไขมัน (Fat-Free Mass) เช่น กระดูก กล้ามเนื้อ เอ็นกระดูก เอ็นกล้ามเนื้อ เล็บ เป็นต้น รวมทั้งส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำ ต่อมไร้ท่อ เป็นต้น (Bushman & Battista, 2014; Haff & Triplett, 2016; Riebe et al., 2018) การศึกษาให้เข้าใจถึงระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของร่างกายถือเป็นพื้นฐานสำคัญในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส การฝึกเพาะกายจะมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อเพิ่มมวลที่ปราศจากไขมันโดยเฉพาะกล้ามเนื้อและลดมวลไขมัน กล้ามเนื้อซึ่งมีความสำคัญกับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนัก คือ กล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscles) ในขณะที่กล้ามเนื้อที่ต้องได้รับการพัฒนาความทนทานควบคู่กันคือ กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac Muscles) ซึ่งกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscles) ที่อยู่ในระบบย่อยอาหารจะทำงานโดยอัตโนมัติตามอาหารที่เรารับประทานเข้าไป

สรีรวิทยา (Physiology) เป็นการศึกษาการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ในร่างกาย รวมทั้งการตอบสนองและเปลี่ยนแปลงของร่างกาย เช่น การสูบฉีดลำเลียงเลือดของกล้ามเนื้อหัวใจ การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย การสังเคราะห์ของสมอง การย่อยอาหารของกล้ามเนื้อเรียบ ระบบพลังงาน การหลั่งฮอร์โมนของระบบต่อมไร้ท่อ การประเมินการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย เป็นต้น (McArdle et al., 2014; Riebe et al., 2018) กีฬาเพาะกายและฟิตเนสมุ่งพัฒนากล้ามเนื้อและระบบที่เกี่ยวข้อง นักกีฬาเพาะกายจึงควรศึกษาสิ่งที่สำคัญด้านสรีรวิทยา ได้แก่ กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย สาเหตุของความเมื่อยล้า หลักการฝึกเพื่อพัฒนาอย่างเฉพาะเจาะจง (รายละเอียดในหัวข้อต่อไป) ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Energy System) ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Energy System) ฮอร์โมนและการตอบสนองของร่างกายจากการฝึกเพาะกาย การประเมินสมรรถภาพทางกาย การประเมินองค์ประกอบร่างกาย การรักษาสุขภาพการเปลี่ยนแปลงของร่างกายจากการฝึกเพาะกาย รวมไปถึงการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายระยะยาวหรือรายปี เป็นต้น

ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เป็นการศึกษาโครงสร้าง การทำงาน และการเคลื่อนไหวในเชิงกลศาสตร์ของระบบสิ่งมีชีวิต ทั้งในสภาพหยุดนิ่งและเคลื่อนไหว ได้แก่ แรง รูปแบบการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง แรงในการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง งาน (Work) กำลัง และพลังงาน กำลังบิด (Torque) และการเคลื่อนที่ของแรง รูปแบบการเคลื่อนที่เชิงมุม แรงในการเคลื่อนที่เชิงมุม กลศาสตร์ของเหลว ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระดูก กล้ามเนื้อ และระบบการทำงานของร่างกาย (McGinnis, 2021; Bartlett, 2014) การฝึกกีฬาเพาะกายและ

พิตเนสจะใช้ประโยชน์จากความรู้ชีวกลศาสตร์ในการพัฒนาการฝึก เช่น การปรับเปลี่ยนมุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อในท่าฝึกกล้ามเนื้อหน้าอกเพื่อให้เกิดการพัฒนารูปร่างกล้ามเนื้อ การคิดค้นวิธีการฝึกกล้ามเนื้อด้วยการหดยืดยาวออก (Eccentric) การหดสั้นเข้า (Concentric) หรือหดเกร็งอยู่กับที่ (Isometric) เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการพัฒนามากกว่าปกติ หรือการพัฒนาการตีลังกา ม้วนตัว เคลื่อนไหวในนักกีฬาประเภทพิตเนสฟิตเนสเพื่อเพิ่มความสมดุลในการแสดงท่าชุดประกอบเพลง เหล่านี้เป็นต้น (Coratella, et al., 2021)

ในปี 2024 Iljinaitė, Veronika, Laimonas Šiupšinskas, and Kristina Berškienė. ได้รายงานไว้ว่า นักกีฬาเพาะกายที่ทดสอบและประเมินพื้นฐานการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน (Functional Movement Screen) ได้คะแนนสูงจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับการทดสอบและประเมินความสามารถในการทำท่าทางนั่งย่อ (Back Squat Assessment) ได้แก่ ตำแหน่งของลำตัว การจัดแนวหัวเข่าด้านหน้า มุมการเคลื่อนไหวของกระดูกเชิงกราน ตำแหน่งของเท้าในท่าทางนั่งย่อทั้งสามแบบที่มีการรับน้ำหนักภายนอกที่แตกต่างกัน และการเคลื่อนตัวลงด้วยน้ำหนักในการฝึก จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเป็นความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ถูกผสมผสานเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการฝึกนั่นเอง

จิตวิทยา (Psychology) เป็นการศึกษาวิทยาศาสตร์ของพฤติกรรมและจิตใจทั้งสภาพจิตสำนึก (Conscious) และจิตใต้สำนึก (Sub-Conscious) เริ่มตั้งแต่การตั้งเป้าหมาย การเรียนรู้ การจำและการคิด การจินตภาพ แรงจูงใจ ความวิตกกังวล อารมณ์ บุคลิกภาพ การปรับตัว การฝึกจิตใจ จนถึงการประเมินทางจิตวิทยาเพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งทางจิตใจ (Weinberg & Gould, 2018) นักกีฬาเพาะกายและพิตเนสได้ฝึกเฉพาะร่างกายเท่านั้น แต่ต้องมีการฝึกทางจิตใจควบคู่กันด้วยดังเช่นคำกล่าวของโทมัส เจฟเฟอร์สัน (Thomas Jefferson) ประธานาธิบดีคนที่ 3 ของสหรัฐอเมริกา ที่ว่า จิตใจที่เข้มแข็งสร้างร่างกายที่แข็งแรง (A strong mind makes a strong body) เนื่องจากนักกีฬาเพาะกายและพิตเนสจะต้องมีความเข้มแข็งทางจิตใจในการควบคุมอาหารและน้ำมากกว่า นักกีฬาก่อนหน้านั้นที่ต้องมีการฝึกซ้อมด้วยความเข้มข้นสูง อีกทั้งยังต้องมีความมุ่งมั่นและยึดมั่นเป้าหมายในการฝึกซ้อมที่เกินขีดจำกัดของตนเอง รวมทั้งต้องแสดงถึงความมั่นใจที่จะแสดงออกถึงความมีบุคลิกภาพและสุขภาพที่ดีระหว่างการแข่งขันอย่างไร้ความวิตกกังวลอีกด้วย (Piatkowski, et al., 2022) ตัวอย่างเช่น Rossow, et al. (2013) กล่าวว่า นักเพาะกายและพิตเนสระดับมืออาชีพ ดูเหมือนว่าจะใช้เวลามากกว่าในการฟื้นฟูการเปลี่ยนแปลงทางจิตใจและสรีรวิทยาหลังจากการแข่งขัน โดยรายงานว่าความผิดปกติทางอารมณ์โดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 43 หน่วยในระหว่างการเตรียมตัว และใช้เวลาฟื้นตัวเป็น 4-6 เดือนหลังการแข่งขัน

โภชนาการ (Nutrition) เป็นการศึกษากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของการให้หรือได้มาของอาหารสำหรับร่างกายหรือการเจริญเติบโต อาหารมีประโยชน์อย่างมากสำหรับนักกีฬาที่จะก่อให้เกิดความมีสุขภาพ สมรรถภาพ และความสามารถทางการกีฬา อาหารมีคุณค่าสำหรับการปรับปรุง ให้ความชุ่มชื้น เติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอจากการบาดเจ็บหรือฝึกซ้อมกีฬา ส่วนประกอบของอาหาร (Dietary Ingredient) ครอบคลุมตั้งแต่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ สมุนไพร หรือผลิตภัณฑ์ทางพฤกษศาสตร์ รวมทั้งสาร (Substance) อื่น เช่น เอ็มไซม์ เป็นต้น (Bagchi et al., 2013; McArdle et al., 2014) นักกีฬาเพาะกายมีความจำเป็นต้องรับประทานส่วนประกอบของอาหารเหล่านี้ให้มีความสมดุลกับปริมาณการฝึกซ้อมที่เข้มข้นในแต่ละช่วงเพื่อเสริมสร้างองค์ประกอบของร่างกายโดยเฉพาะกล้ามเนื้อให้มีพัฒนาการเป็นไปตามเป้าหมาย รวมทั้ง มีเทคนิคการรับประทานครบถ้วนที่เหมาะสมเพื่อแสดงให้เห็นถึงความชัดเจนและรายละเอียดของกล้ามเนื้อในระหว่างการแข่งขัน ตัวอย่างเช่น ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ และช่วงประเมินผลการฝึกควรรับประทานอาหารที่มีพลังงานสูงประมาณ 10–20% โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มน้ำหนักประมาณ 0.25–0.5% ของน้ำหนักตัว/สัปดาห์ รับประทานโปรตีนในปริมาณ 1.6–2.2 กรัม/กก./วัน ในปริมาณที่เหมาะสม 0.40–0.55 กรัม/กก./มื้อ และกระจายให้สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน หรือ 3–6 มื้อ/วัน รวมถึงภายใน 1–2 ชั่วโมงก่อนและหลังการฝึก ควรบริโภคไขมันในปริมาณ 0.5–1.5 กรัม/กก./วัน แคลอรีที่เหลือควรมาจากคาร์โบไฮเดรต โดยเน้นที่การรับประทานมากกว่าหรือเท่ากับ 3–5 กรัม/กก./วัน เพื่อรองรับความต้องการพลังงานจากการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนัก ครีเอทีนโมโนไฮเดรต 3–5 กรัม/วัน คาเฟอีน 5–6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เบตาอะลานีน 3–5 กรัม/วัน และซิทรูลีนมาเลต 8 กรัม/วัน อาจให้ผลเสริมสมรรถภาพทางกายที่เป็นประโยชน์ต่อนักกีฬาและพิตเนส (Iraki, et al., 2019)

เวชศาสตร์การกีฬา (Sports Medicine) คือ สหวิทยาการที่ศึกษาและประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และทางการแพทย์ ในแง่มุมของการออกกำลังกายและกีฬาทั้งนักกีฬา บุคคลทั่วไป และบุคคลพิเศษ ในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ มีจุดประสงค์เพื่อสนับสนุน สุขภาพและสมรรถภาพร่วมกับการป้องกัน บำบัดรักษา และฟื้นฟูการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายและกีฬา (France, 2019) การฝึกซ้อมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสมีความคล้ายคลึงกับกีฬาทั่วไปที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ และมีความต้องการเทคนิคทาง การแพทย์มาช่วยในการฟื้นฟูสภาพร่างกายระหว่างการแข่งขันแต่ละครั้ง นักกีฬาและผู้ฝึกสอนที่สามารถจัดการกับการบาดเจ็บได้ดี ปฐมพยาบาลการบาดเจ็บเบื้องต้นก่อนพบแพทย์ รวมทั้งสามารถเตรียมร่างกายและอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยแล้วย่อมจะส่งเสริมให้มี สุขภาพดีและได้เปรียบในการแข่งขัน จากผลการศึกษาและวิจัยของ Siewe, et al., (2014) แสดงให้เห็นว่า อัตราการบาดเจ็บโดยรวม คำนวณได้ 0.12 การบาดเจ็บต่อนักเพาะกายต่อปี (0.24 การบาดเจ็บต่อการเพาะกาย 1,000 ชั่วโมง) ซึ่งสอดคล้องกับ Keogh & Winwood (2017) กล่าวว่า กีฬาเพาะกายและฟิตเนสถูกจัดอยู่ในกลุ่มกีฬาที่ฝึกซ้อมและแข่งขันโดยแรงต้านด้วยน้ำหนักดูเหมือนว่าจะ มีอัตราการบาดเจ็บต่ำกว่ากีฬาประเภททีมทั่วไป อย่างไรก็ตาม เป็นที่ยอมรับว่าข้อสรุปนี้อาจสะท้อนถึงข้อจำกัดบางประการในเอกสาร ระบาดวิทยาด้านการบาดเจ็บของกีฬาประเภทนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบการศึกษา การวินิจฉัยการบาดเจ็บ และการ เปลี่ยนแปลงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น โดยแสดงผลไว้ว่า กีฬาเพาะกายและฟิตเนสมีอัตราการบาดเจ็บต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.12–0.7 การบาดเจ็บ ต่อนักยกน้ำหนักต่อปี หรือ 0.24–1 การบาดเจ็บต่อ 1,000 ชั่วโมง กีฬาสตรองแมน (Strongman) อยู่ที่ 4.5–6.1 การบาดเจ็บต่อ 1,000 ชั่วโมง และ เกมไฮแลนด์ (Highland Games) อยู่ที่ 7.5 การบาดเจ็บต่อ 1,000 ชั่วโมงมีอัตราการบาดเจ็บสูงสุด โดยทั่วไปแล้ว จะเกิดที่บริเวณหัวไหล่ หลังส่วนล่าง เข่า ข้อศอก และข้อมือ และมือเป็นตำแหน่งทางกายวิภาคที่ได้รับบาดเจ็บบ่อยที่สุด ส่วนประเภท อากการบาดเจ็บที่พบบ่อยที่สุดคือ การดึงตัวของกล้ามเนื้อและเอ็น เอ็นอักเสบ และแผลง ความแตกต่างที่สำคัญเพียงเล็กน้อยในผลลัพธ์ ของอาการบาดเจ็บใด ๆ ก็ตามนั้น สังเกตได้จากอายุ เพศ มาตรฐานการแข่งขัน หรือน้ำหนักร่างกาย

ผู้ประพันธ์นำเสนอตัวอย่างการประยุกต์องค์ความรู้วิทยาศาสตร์การกีฬาในกีฬาเพาะกายและฟิตเนสอาจแบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ ช่วงฝึกและปรับปรุง ช่วงการแข่งขัน และช่วงประเมินผลการฝึก กล่าวคือ ช่วงประเมินรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย เป็นการประเมินนักกีฬาที่ประกอบด้วยรูปร่าง องค์ประกอบร่างกาย และสมรรถภาพทางกายก่อนเริ่มต้นการ ฝึก เพื่อที่จะกำหนดแบบฝึกให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล เช่น นายกล้ามเนื้อใหญ่ ประเมินรูปร่างแล้วพบว่าเป็นแบบผอมบาง เปอร์เซนต์ ไขมันอยู่ในระดับต่ำ มวลปราศจากไขมันก็อยู่ในระดับต่ำ และสมรรถภาพทางกายอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น นายกล้ามเนื้อใหญ่ ควรกำหนด เป้าหมายว่า รักษาเปอร์เซนต์ไขมันให้อยู่ในระดับต่ำตามเดิม แต่เพิ่มมวลปราศจากไขมันให้อยู่ในระดับปานกลาง และเพิ่มระดับ สมรรถภาพทางกายให้อยู่ในระดับสูง ดังนั้น แบบฝึกของนายกล้ามเนื้อใหญ่ จะต้องมีความเข้มข้นในการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อ ควบคู่กับการพัฒนาสมรรถภาพทางกายสมรรถภาพทางกาย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความทนทานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต องค์ประกอบร่างกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อ และความอ่อนตัว

ช่วงฝึกและปรับปรุง เป็นช่วงที่นักกีฬาทำการฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด นักกีฬาต้องมีการฝึกตามหลักชีวกลศาสตร์ที่ เหมาะสมเพื่อป้องกันการบาดเจ็บ กำหนดอาหารและน้ำ และนำความรู้หรือทักษะด้านจิตวิทยามาใช้เพื่อป้องกันและลดระดับความ เมื่อยล้าทางจิตใจ (Mental Fatigue) รวมทั้งอาจต้องมีการปรับปรุงความเข้มข้นเพื่อให้เหมาะสมกับการตอบสนองของนักกีฬาแต่ละ คนตามหลักสรีรวิทยา เช่น นายกล้ามเนื้อใหญ่ทำการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อด้วยความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้วพบว่า มีการ ตอบสนองหรือมีพัฒนาการมากกว่าแผนของแบบฝึกที่กำหนดไว้ จึงต้องมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นในการฝึก เพิ่มการรับประทาน โปรตีน รวมทั้งฝึกจินตภาพเพื่อป้องกันมิให้ให้นักกีฬาเกิดความเมื่อยล้าทางจิตใจหรือหมดไฟ (Burn Out) ระหว่างการฝึกซ้อม (Helms, et al., 2015)

ช่วงการแข่งขัน เป็นช่วงที่ใช้เทคนิคในการแสดงท่าบังคับ ท่าอิสระ ท่าชุดประกอบเพลง และจิตวิทยาเป็นอย่างมาก นักกีฬา ที่มีการฝึกซ้อมเป็นอย่างดีแต่ขาดความมั่นใจหรือมีความวิตกกังวลอาจจะส่งผลให้ไม่สามารถแสดงออกถึงความกลมกลืนของกล้ามเนื้อ ได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ ช่วงการแข่งขันเป็นช่วงที่นักกีฬาต้องควบคุมอาหารและน้ำอย่างเกินขีดจำกัดซึ่งจะส่งผลต่อสภาพจิตใจและ

การแสดงความสง่างาม หากไม่มีการฝึกสภาพจิตใจหรือมีการใช้เทคนิคทางจิตวิทยาแล้วนักกีฬาอาจจะสูญเสียความมั่นใจหรือแสดง
ความวิตกกังวลในระหว่างการแข่งขัน รวมทั้งอาจส่งผลให้เกิดการภาวะเจ็บป่วยหรือการบาดเจ็บระหว่างการแข่งขันได้

ช่วงประเมินผลการฝึก เป็นการประเมินนักกีฬาเช่นเดียวกับช่วงก่อนกำหนดแบบฝึก ได้แก่ ประเมินรูปร่าง องค์ประกอบ
ร่างกาย และสมรรถภาพทางกาย ภายหลังจากการฝึก เพื่อประเมินผลการบรรลุผลการฝึกตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ หรือประเมินผล
การแข่งขัน เช่น ประเมินผลว่า นักกล้ามใหญ่ สามารถรักษาเปอร์เซ็นต์ไขมันให้อยู่ในระดับต่ำตามเดิม เพิ่มมวลปราศจากไขมันให้อยู่
ในระดับปานกลาง และเพิ่มระดับสมรรถภาพทางกายให้อยู่ในระดับสูงแล้วหรือไม่ซึ่งจะนำไปสู่ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ
ทางกายสำหรับการฝึกและพัฒนาเป็นวงจรเรื่อยไป หรือถ้าหากไม่บรรลุเป้าหมายการแข่งขันที่กำหนดไว้ เช่น ต้องการเข้ารอบ 15 คน
สุดท้าย แต่ไม่ผ่านการคัดเลือกรอบ 40 คนแรก ก็ต้องกลับไปประเมินผลการฝึกเป็นวงจรอีกครั้งเช่นกัน

นักกีฬาเพาะกายและฟิตเนสจำเป็นต้องนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกายมา
ประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมและพัฒนารูปร่างหรือกล้ามเนื้อ เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์มากที่สุดในช่วงเวลาแข่งขัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการ
วางแผนระยะยาวในการฝึกซ้อม โดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ ช่วงฝึกและปรับปรุง ช่วงการแข่งขัน และช่วง
ประเมินผลการฝึก โดยในแต่ละช่วงจะให้ความสำคัญที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ โดยในช่วงช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ ให้ความสำคัญกับ
การรักษาเปอร์เซ็นต์ไขมันและเพิ่มมวลปราศจากไขมัน รวมทั้งเพิ่มระดับสมรรถภาพทางกายทั่วไป ซึ่งต้องอาศัยองค์ความรู้
ทางด้านสรีรวิทยา (Physiology) ควบคู่กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy) เป็นหลักในการวางแผนการเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกายให้
พอดีกับช่วงเวลาของการแข่งขัน ช่วงฝึกและปรับปรุงให้ความสำคัญกับการฝึกเฉพาะเจาะจง โดยมีการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักโดย
ปราศจากอาการบาดเจ็บที่ตามมา การกำหนดปริมาณอาหารและน้ำ การผ่อนคลายภาวะเครียดทางด้านจิตใจ ซึ่งต้องอาศัยองค์ความรู้
ที่ผสมผสานกันของชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เวชศาสตร์การกีฬา (Sports Medicine) โภชนาการ (Nutrition) และจิตวิทยา
(Psychology) เป็นหลักเพื่อให้นักกีฬานั้นสามารถฝึกที่ความหนักสูงโดยไม่เกิดอาการบาดเจ็บ เพื่อเลือกมุมฝึกที่สอดคล้องกับรูปร่าง
ของนักกีฬาแต่ละคน หรือเลือกมุมฝึกที่ไม่ให้เกิดการบาดเจ็บที่ตามมา หรือหากเกิดการบาดเจ็บระหว่างฝึกซ้อมต้องดูแลรักษาอย่างไร
ในเบื้องต้น อีกทั้งการเลือกประเภทของอาหารเพื่อให้ร่างกายได้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากล้ามเนื้อ ที่สำคัญการเรียนรู้ที่
จะผ่อนคลายด้วยตนเองในช่วงนี้จะสำคัญไม่น้อยไปกว่าช่วงแรก เนื่องมาจากว่า ในช่วงนี้เป็นช่วงที่นักกีฬาต้องรับประทานอาหารได้
เท่าที่กำหนดไว้ ไม่สามารถรับประทานอาหารตามใจได้ หรือเลือกที่ถูกปากได้ ดังนั้น การเรียนรู้ที่จะผ่อนคลายด้วยตนเองจึงมีความสำคัญ
ช่วงการแข่งขัน ให้ความสำคัญกับความสามารถที่แสดงออกของนักกีฬาในระดับสูงสุด และเป็นที่น่าทึ่งโดยทั่วกันว่าในช่วงการแข่งขัน
ไม่สามารถฝึกและพัฒนาอะไรเพิ่มเติมได้อีก หรือเป็นช่วงที่นำเอาประสิทธิภาพจากในช่วงฝึกและปรับปรุงมาใช้ในช่วงนี้ ดังนั้น ความ
มั่นใจ ความเข้มแข็งทางจิตใจจึงเป็นส่วนสำคัญที่สุดในช่วงนี้ เพื่อให้นักกีฬาสามารถแสดงความสามารถในท่าทางทั้ง 7 ท่าทาง รวมถึง
ท่าอิสระ และท่าชุดประกอบเพลงได้อย่างมั่นใจ ไม่กังวลใจ จิตวิทยา (Psychology) จึงมีส่วนสำคัญในช่วงเวลานี้ และช่วงสุดท้ายหรือ
ช่วงประเมินผลการฝึก ให้ความสำคัญกับคลายกันกับช่วงฝึกและปรับปรุง ดังนั้น องค์ความรู้ทางด้านสรีรวิทยา (Physiology) และกาย
วิภาคศาสตร์ (Anatomy) จึงเข้ามามีบทบาทเพื่อรักษาระดับไขมันและเพิ่มมวลที่ปราศจากไขมัน

3. หลักการฝึกซ้อมทั่วไป

จากขอบเขตวิทยาศาสตร์การกีฬาข้างต้น มีความเชื่อมโยงไปหลักการฝึกซ้อมทั่วไป (General Training Principles) ซึ่งเป็
การนำองค์ความรู้วิทยาศาสตร์การกีฬาด้านสรีรวิทยาไปใช้ในการกำหนดรูปแบบและรายละเอียดของการออกกำลังกาย ได้แก่
ประเภท ความหนัก ความถี่ ระยะเวลา และความเข้มข้นในการฝึก สำหรับหลักการฝึกทั่วไปประกอบด้วย 4 หลักการ ได้แก่ หลักการ
ฝึกหนักเกินปกติ หลักความเฉพาะเจาะจง หลักการความแตกต่างเฉพาะบุคคล และหลักการย้อนกลับ (सनरथा सीलमाद और दुज्देन
सीलमाद, 2551; Bushman & Battista, 2014; McArdle et al., 2014; Haff & Triplett, 2016; Riebe et al., 2018) ซึ่ง
มีรายละเอียดดังนี้

หลักการฝึกหนักเกินปกติ (Overload Training Principle) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสรีรวิทยาด้วยการกระตุ้นให้ร่างกายตอบสนองต่อการฝึกในความเข้มข้น มากกว่าเดิมที่เคยฝึก เช่น หากต้องการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าอก จากเดิมที่เคยฝึกด้วยน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ก็ควรเพิ่มน้ำหนักในการฝึกให้มากกว่า 50 กิโลกรัม

นอกจากนี้ การใช้ความหนักมากกว่าปกติเป็นองค์ประกอบสำคัญในการปรับปรุงสมรรถภาพทางกาย เนื่องจากการปรับปรุง (Adaptation) หรือผลของการฝึกซ้อม (Training Effect) จะเกิดขึ้นเพียงถ้าร่างกายมีการทำงานที่ระดับเหนือกว่าระดับพฤติกรรมปกติ ที่ปฏิบัติอยู่ในชีวิตประจำวัน ซึ่งความหนักมากกว่าปกติจะเพิ่มแรงเครียดต่อระบบการทำงานของร่างกายในจำนวนที่มากกว่าปกติหรือ สภาพเคยชิน ตัวอย่างเช่น การออกกำลังกายจะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นกว่าอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก หรือในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อจะต้องมีการทำงานต้านกับแรงต้านที่มากกว่าปกติ โดยกล้ามเนื้อสามารถได้รับความหนักมากกว่าปกติจากการเพิ่มความหนัก (Intensity) ของการออกกำลังกาย (กล้ามเนื้อออกแรงทำงานหนักมากกว่าที่กล้ามเนื้อทำงานอยู่ในชีวิตประจำวัน ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น) หรืออีกวิธีหนึ่งเกี่ยวกับการใช้ความหนักมากกว่าปกติคือกระทำได้โดยเพิ่มระยะเวลา (Duration) ของการออกกำลังกาย ตัวอย่างเช่น การเพิ่มความทนทานของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อต้องทำงานในระยะเวลาที่ยาวนาน มากกว่าปกติ (โดยการปฏิบัติจำนวนครั้งที่มากขึ้น) การปรับปรุงความอ่อนตัว (Flexibility) การเพิ่มมุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (Range of motion) ต้องมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) ให้มีความยาวมากกว่าปกติหรือค้ำการยืดเหยียดไว้ในเวลาที่ยาวนานจึงจะส่งผลให้เกิดการพัฒนา เป็นต้น ดังนั้น การใช้ความหนักมากกว่าปกติสามารถกระทำได้ด้วยการเพิ่มความหนัก (Intensity) และระยะเวลา (Duration) ของการออกกำลังกาย สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Schoenfeld, et al., (2017); Alves, et al. (2020) การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นและความหนักของความสามารถในการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนัก 1 ครั้ง (%1 RM) และปริมาณการฝึกทั้งหมด ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นทางอนาโบลิกเพื่อส่งเสริมการขยายขนาดของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี

หลักความเฉพาะเจาะจง (Specific Training Principle) เป็นการปรับปรุงในระบบเมตาบอลิซึม (Metabolism) ซึ่งหมายถึง กระบวนการทางเคมีที่ช่วยให้ร่างกายทำงานได้อย่างปกติประกอบด้วย การสร้าง (Anabolism) และการสลาย (Catabolism) และระบบการทำงานของร่างกายที่ขึ้นอยู่กับประเภทของความหนักเกินปกติที่กำหนดและมวลกล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้น นั่นคือ ร่างกายต้องถูกฝึกให้มีความเฉพาะเจาะจงกับลักษณะการทำงานหรือชนิดของกิจกรรมซึ่งถือเป็นการ ประยุกต์ขึ้นตามชนิดของการพัฒนาที่เกิดขึ้น ภายในกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกาย โดยการฝึกซ้อมความแข็งแรงจะมีผลทางด้านการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ขณะที่การออกกำลังกายเพื่อฝึกซ้อมความทนทานจะมีผลที่เฉพาะในการพัฒนาความทนทานของกล้ามเนื้อ ความหนักของงานที่แตกต่างกันจะมีผลร่างกายแตกต่างกัน การเพิ่มความแข็งแรงจะต้องทำการฝึกซ้อมด้วยความหนักที่มากกว่าปกติ แรงต้านทานที่ต่ำกว่าระดับที่ร่างกายสามารถทำได้ (ต่ำกว่าระดับที่กล้ามเนื้อสามารถปฏิบัติได้ในภาวะปกติ) จะไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนของแรงต้านทานที่ต่ำกว่างานที่ร่างกายสามารถทำได้จะพบได้ในการดันพื้น (Push-Up) ในตอนแรกความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อร่างกายมีการปรับสภาพความแข็งแรงถึงระดับพอดีกับแรงต้าน (น้ำหนักของร่างกาย) ความแข็งแรงจะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะกลายเป็นผลทางด้านความทนทานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น หากต้องการฝึกกล้ามเนื้อเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้านใดก็ควรฝึกกล้ามเนื้อให้ทำงานอย่างเฉพาะเจาะจงเพื่อให้เกิดผลของการฝึกซ้อม (Training Effects) ตามที่ต้องการ (Israetel, et al., 2015).

ทั้งนี้ ผลของการฝึกซ้อม สำหรับสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับกีฬาเพาะกายและฟิตเนสที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อ และความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งร่างกายต้องได้รับการฝึกด้วยน้ำหนักมาก จำนวนครั้งน้อยเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เช่น การฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักจากการยกดรัมเบลหรือเครื่องฝึกน้ำหนัก 6-8 ครั้ง (Repetition หรือ Rep) 1-3 เซต (Set) ในทางตรงข้ามการฝึกด้วยน้ำหนักน้อย จำนวนครั้งมากจะเป็นการพัฒนาความทนทานของกล้ามเนื้อ เช่น การฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักจากการยกดรัมเบลหรือเครื่องยกน้ำหนัก (Weight Machine) 8-12 ครั้ง 3-5 เซต และการฝึกกล้ามเนื้อมัดใหญ่ให้ทำงานเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ระยะเวลาที่ยาวนานจะเป็นการพัฒนาความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือด เช่น การฝึกวิ่ง ปั่นจักรยาน หรือว่ายน้ำ ระยะเวลา 20-30 นาที เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Schoenfeld (2010) ที่สรุปไว้ว่าการฝึกที่มีความเข้มข้นสูง เช่น การฝึกในช่วงที่มีน้ำหนักมากและการทำซ้ำหลายครั้งสามารถ

กระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการฝึกที่มีความเข้มข้นต่ำ การฝึกที่มีจำนวนครั้งทำซ้ำในช่วง 8-12 ครั้งเป็นการฝึกที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ

หลักการย้อนกลับ (Reversibility Principle) หรือการหยุดซ้อม (Detraining) เกิดขึ้นเมื่อนักกีฬาหยุดการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกาย ขาดการใช้งาน ฝึกซ้อมไม่ต่อเนื่อง บาดเจ็บ รวมทั้งการขาดสารอาหาร ระดับสมรรถภาพของร่างกายจะลดต่ำลงสู่สภาพก่อนการฝึก ซึ่งผลของการฝึกซ้อมจะมีการย้อนกลับภายในตัวเองถ้าการฝึกซ้อมไม่เป็นสิ่งที่ทำลายหรือหนักขึ้นจะส่งผลให้ระดับสมรรถภาพคงที่ (Plateau) และถ้าหยุดการฝึกซ้อมระดับสมรรถภาพก็จะลดต่ำลงเป็นลำดับขั้นจนกระทั่งเคลื่อนต่ำลงถึงระดับที่จำเป็นสำหรับการประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน (Israetel et al., 2015). เช่น หากได้รับการฝึกจนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าอกเพิ่มขึ้นที่สามารถยกบาร์เบลน้ำหนัก 50 กิโลกรัม จำนวน 12 ครั้ง แล้วขาดการฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ อาจส่งผลให้ไม่สามารถยกบาร์เบลน้ำหนัก 50 กิโลกรัม จำนวน 12 ครั้ง ได้ดังเดิม เป็นต้น

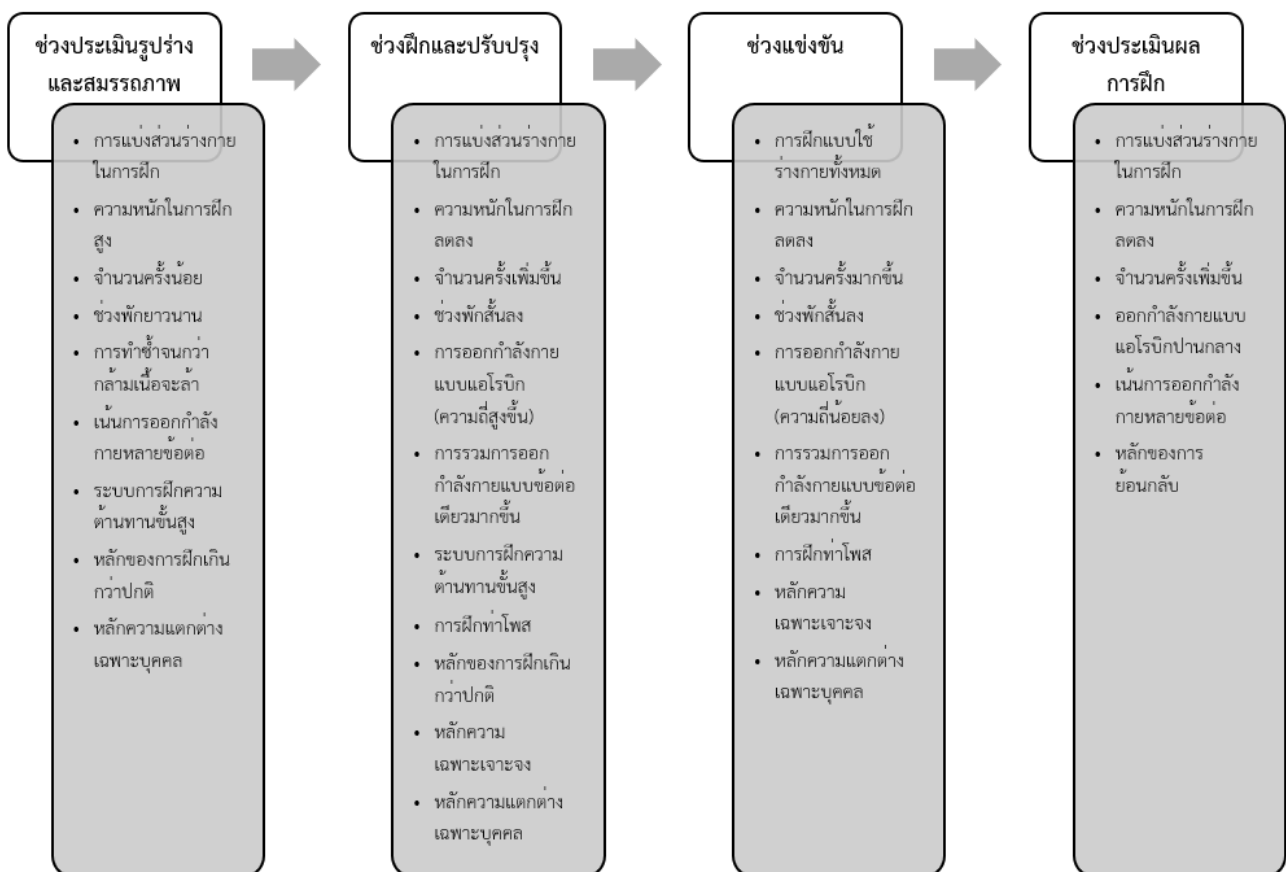
ทั้งนี้ ผลของการฝึกซ้อมจะมีอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่งและจะลดลงหลังจาก 2-3 วัน ของการหยุดฝึกซ้อม ซึ่งจะเป็นการลดทั้งกระบวนการเมตาบอลิซึม และความสามารถในการทำงานของร่างกาย ถึงแม้ช่วงเวลากการพักระหว่างการออกกำลังกายในแต่ละครั้งจะมีความจำเป็นสำหรับประโยชน์สูงสุดจากการออกกำลังกาย แต่การพักที่ยาวนานระหว่างการฝึกซ้อม (หลายวันหรือสัปดาห์) สามารถเป็นผลให้เกิดการลดลงของระดับสมรรถภาพ การรักษาระดับสมรรถภาพให้คงอยู่จึงจำเป็นต้องมีการฝึกหรือออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งหลายการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการฝึกซ้อมความแข็งแรงและการฝึกซ้อมหยุดลง ระดับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงอย่างสัมพันธ์กับระยะเวลาในการฝึกซ้อม กล่าวคือ การลดลงของความแข็งแรงจะกินเวลานานถ้านักกีฬามีการฝึกซ้อมที่ยาวนานและมีความแข็งแรงในระดับสูง ในทางตรงกันข้าม หากนักกีฬามีระยะเวลาการฝึกซ้อมน้อยกว่า การลดลงสู่ระดับปกติจะเกิดขึ้นเร็วกว่า

อย่างไรก็ตาม การลดลงของระดับสมรรถภาพแต่ละด้านจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสมรรถภาพ เช่น หลังจากหยุดการฝึกความแข็งแรง การสูญเสียความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะมีการลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่หลังจากหยุดการปฏิบัติกรออกกำลังกายประเภทความทนทาน การสูญเสียความทนทานของกล้ามเนื้อจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการหยุดการฝึกความแข็งแรง 8 สัปดาห์ ความแข็งแรงของของกล้ามเนื้อจะมีการสูญเสียประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่หลังจากหยุดการฝึกความทนทาน 8 สัปดาห์ ความทนทานของกล้ามเนื้อมีการสูญเสียถึง 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ หลักการที่สำคัญมาน้อยไปกว่าหลักการอื่น ๆ คือ หลักการความแตกต่างเฉพาะบุคคล (Individualization Principle) ที่จะมีผลต่อการฝึกเฉพาะกายและพิदनส์ด้วย โดยความแตกต่างเฉพาะบุคคล (Individual Differences) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการฝึกความแข็งแรงในแต่ละบุคคลจะมีความแตกต่างกัน ความเข้มข้นในการฝึกซ้อมที่กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำหรับบุคคลหนึ่งอาจไม่เพียงพอให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำหรับอีกบุคคล ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อของแต่ละบุคคล เช่น นักกีฬาที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อแบบหดตัวเร็ว (Fast Twitch Muscle Fiber or Type II Muscle Fiber) จำนวนมาก ย่อมตอบสนองต่อการฝึกความแข็งแรงได้ดีกว่านักกีฬาที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อแบบหดตัวช้า (Slow Twitch Muscle Fiber or Type I Muscle Fiber) จำนวนมาก เป็นต้น ดังนั้น การกำหนดการฝึกความแข็งแรงโดยคำนึงถึงความแตกต่างเฉพาะบุคคลจะช่วยให้นักกีฬาประสบความสำเร็จในการฝึกซ้อมและช่วยป้องกันการบาดเจ็บได้ (Schoenfeld, 2020).

สำหรับการฝึกซ้อมของนักกีฬาเฉพาะกายและพิदनส์นั้นให้ความสำคัญกับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนัก ซึ่งช่วยพัฒนากล้ามเนื้อทั่วร่างกายให้พร้อมสำหรับการแข่งขันมากที่สุด ดังนั้น หลักการฝึกซ้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่เข้ามามีบทบาทที่ส่งเสริมการดำเนินการตามแผนที่กำหนดขึ้นใน 4 ช่วงเวลาให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด โดยที่ช่วงประเมนรูปร่างและสมรรถภาพนั้น หลักการฝึกหนักเกินปกติ (Overload Training Principle) จะถูกนำเข้ามามีบทบาทมากที่สุดเพื่อลดปริมาณไขมันและเพิ่มมวลปราศจากไขมันด้วยการเพิ่มความหนัก (Intensity) ของแรงต้านหรือเพิ่มจำนวนครั้งในการยก และเพิ่มระยะเวลา (Duration) ของการฝึกและพัฒนาช่วงฝึกและปรับปรุง หลักความเฉพาะเจาะจง (Specific Training Principle) และความแตกต่างเฉพาะบุคคล (Individual Differences) จะถูกนำเข้ามามีบทบาทมากที่สุดควบคู่กับหลักการฝึกหนักเกินปกติ (Overload Training Principle) เนื่องมาจากว่า

ในช่วงนี้นั้น การฝึกและพัฒนาของนักกีฬาต้องเข้มข้นขึ้นเพื่อให้เกิดพัฒนาการตามช่วงเวลา แต่รูปแบบและวิธีการต้องเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น เช่น ในนักกีฬายกน้ำหนักกล้ามเนื้อหลังที่เล็กและแคบ ดังนั้นการฝึกและพัฒนาช่วงนี้ให้ความสำคัญกล้ามเนื้อหลังมากกว่าส่วนอื่น ๆ เพียงแต่ส่วนอื่น ๆ ฝึกเพื่อรักษาสภาพเพียงเท่านั้น หรือระยะเวลา (Duration) ของการฝึกและพัฒนากล้ามเนื้อหลังจะต้องมากกว่าส่วนอื่น ๆ นั่นเอง ช่วงการแข่งขัน หลักความเฉพาะเจาะจง (Specific Training Principle) ความแตกต่างเฉพาะบุคคล (Individual Differences) จะถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องมาจากว่า ช่วงเวลาของการแข่งขันนักกีฬาจำเป็นต้องแสดงความสามารถสูงสุดในการแสดงท่าทางทั้ง 7 ท่าทาง รวมถึงท่าอิสระ และท่าชุดประกอบเพลงได้อย่างมั่นใจ ไม่กังวลใจ ดังนั้น การแสดงท่าทางต่าง ๆ นั้นอยู่บนหลักการข้างต้น เช่น ในนักกีฬายกน้ำหนักสามารถแสดงขนาดและความคมชัดของกล้ามเนื้อฝั่งใดฝั่งหนึ่งได้มากกว่า เป็นไปได้ว่า มุมข้อต่อของร่างกายที่แสดงออกมานั้นน่าจะแตกต่างกัน เช่น ท่าทางด้านหน้าเพื่อแสดงกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า (Front Double Biceps) นักกีฬายกน้ำหนักมีความคมชัดของกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้าฝั่งขวาดีกว่าฝั่งซ้าย ดังนั้น การเพิ่มหรือลดมุมข้อต่อข้อศอกของข้างที่ต้อยกว่าจึงเป็นวิธีการที่ช่วยเหลือและสนับสนุนได้ ทั้งนี้ ความแตกต่างเฉพาะบุคคลจึงเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในช่วงเวลานี้ หรือช่วงเวลาก่อนหน้านี้ ช่วงประเมินผลการฝึก หลักการย้อนกลับ (Reversibility Principle) หรือการหยุดซ้อม (Detraining) จะเข้ามามีบทบาทในช่วงเวลานี้ เนื่องจากเสร็จสิ้นจากช่วงเวลาแข่งขันแล้ว การหยุดซ้อมเพื่อให้ร่างกายได้พักฟื้นจึงมีส่วนสำคัญ ไม่เพียงแต่ร่างกายยังรวมถึงจิตใจอีกด้วย แต่การการหยุดซ้อมในช่วงนี้ ไม่ใช่การหยุดโดยไม่มีกิจกรรม แต่เป็นการลดระดับความหนักและระยะเวลาลงในการฝึกซ้อม อย่างไรก็ตาม หากการหยุดฝึกซ้อมในช่วงเวลานี้เป็นการหยุดแบบไม่มีกิจกรรมเลยนั้นหลักการย้อนกลับจะเข้ามามีบทบาททันทีตามที่กล่าวไปข้างต้น



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของแต่ละช่วงของการฝึกซ้อม

ที่มา: (ดัดแปลงจาก Alves, Ragami C., et al., 2020)

4. บทสรุป

การนำวิทยาศาสตร์การกีฬาไปใช้ในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส เป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับร่างกายมนุษย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกซ้อมและการพัฒนากล้ามเนื้อในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส โดยหลักการทางวิทยาศาสตร์การกีฬามีหลายด้านที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น กายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวกลศาสตร์ โภชนาการ จิตวิทยา และเวชศาสตร์การกีฬา ซึ่งล้วนมีบทบาทในการปรับปรุงผลการฝึกซ้อมและการพัฒนากล้ามเนื้อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หากกล่าวโดยสรุปนั้นสามารถกล่าวได้ว่า นักกีฬาเพาะกายและฟิตเนสมีจุดมุ่งหมายเพื่อฝึกและพัฒนามวลที่ปราศจากไขมันและลดปริมาณไขมันลงเพื่อให้เกิดรูปร่างที่ใหญ่ขึ้น ชัดเจนขึ้น สวยงามขึ้น และการสร้างสัดส่วนที่สมดุล ดังนั้น หลักการทางวิทยาศาสตร์การกีฬามีหลายด้าน ๆ จึงเข้ามามีบทบาทพร้อมกันโดยที่เปลี่ยนจากทฤษฎีไปสู่ปฏิบัติการโดยอาศัยหลักการในการฝึกซ้อม

การฝึกและพัฒนาในกีฬาเพาะกายและฟิตเนส มักจะใช้หลักการฝึกหนักเกินปกติ (Overload Training Principle) เป็นหลักสำคัญอันดับแรก การเพิ่มภาระในการฝึกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ โดยการเพิ่มน้ำหนัก จำนวนครั้ง หรือจำนวนชุดในการฝึกเมื่อกล้ามเนื้อมีความคุ้นเคยกับภาระเดิมแล้ว สำหรับโปรแกรมการฝึกในกีฬาควรคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ความถี่ (Frequency) ความเข้มข้น (Intensity) ระยะเวลา (Duration) และรูปแบบการฝึก (Volume) โดยการฝึกจะถูกจัดในลักษณะที่กล้ามเนื้อได้รับการกระตุ้นเพียงพอ การฟื้นฟูเป็นส่วนสำคัญ การพักระหว่างการฝึก และการทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อจะช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและเร่งการฟื้นฟูได้เช่นกัน การควบคุมโภชนาการเป็นอีกปัจจัยสำคัญในการฝึกกีฬาประเภทนี้ เนื่องจากโปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่ช่วยในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ โดยควรบริโภคโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอ รวมถึงการทานคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ดีเพื่อให้ร่างกายมีพลังงานเพียงพอในการฝึก การฝึกในกีฬานี้ต้องการความมุ่งมั่นและการตั้งเป้าหมายที่ชัดเจนเพื่อกระตุ้นให้เกิดความต่อเนื่องในการฝึก และสามารถจัดการกับอาการเหนื่อยล้าหรือภาวะล้า (Overtraining) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาสมรรถภาพและการวางแผนที่ดีเพื่อให้การฝึกมีประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

จากการรวบรวมข้อมูลที่น่าสนใจเสนอข้างต้น ผู้ประพันธ์ขอเสนอแนะโปรแกรมการฝึกที่นักกีฬาเพาะกายและฟิตเนสโดยแบ่งออกตามช่วงเวลาในการฝึก 4 ช่วง ดำเนินการฝึกทั้งสิ้น 5 วันต่อสัปดาห์ เฉลี่ย 60-70 นาที (Alves, et al., 2020) ดังนี้

ช่วงประเมินรูปร่างและสมรรถภาพ ฝึกทั้งสิ้น 4-5 ท่าทางต่อกลุ่มกล้ามเนื้อ 3-6 เซ็ตต่อท่าทาง จำนวน 7-12 ครั้ง ความหนักปานกลางถึงสูง (80-85 %1RM) พักฟื้น 61-120 วินาทีระหว่างเซต (Hackett, et al., 2013).

ช่วงฝึกและปรับปรุง ฝึกทั้งสิ้น 4-5 ท่าทางต่อกลุ่มกล้ามเนื้อ 3-4 เซ็ตต่อท่าทาง จำนวน 10-15 ครั้ง ความหนักปานกลาง (70-80 %1RM) พักฟื้น 30-60 วินาทีระหว่างเซต อย่างไรก็ตามความแตกต่างของโปรแกรมการฝึกในช่วงนี้ยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ถึงเรื่องโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกควบคู่กับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักเพื่อให้เกิดผลสูงสุดในการลดมวลไขมัน (Hackett, et al., 2013).

ช่วงแข่งขัน ฝึกทั้งสิ้น 4-5 ท่าทางต่อกลุ่มกล้ามเนื้อ 3-4 เซ็ตต่อท่าทาง จำนวน 10-12 ครั้ง ความหนักปานกลาง (70-80 %1RM) พักฟื้น 30-60 วินาทีระหว่างเซต เพิ่มเติมเรื่องของโภชนาการที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น ลดการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตลง 3 วัน (น้อยกว่า 50 กรัมต่อวัน) และตามด้วยการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 2 วัน (มากกว่า 450 กรัมต่อวัน) ออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการเดินระยะเวลา 40-90 นาที และจะงดการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเลยในวันที่มีการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น (Alves, et al., 2020)

ช่วงประเมินผลการฝึก ระยะเวลา 1-4 สัปดาห์ ฝึกทั้งสิ้น 4-5 ท่าทาง (ใช้ท่าทางฝึกพร้อมกันหลายข้อต่อ) 3 เซ็ตต่อท่าทาง จำนวน 12-15 ครั้ง ความหนักต่ำ (60-70 %1RM) พักฟื้น 60-120 วินาทีระหว่างเซต ออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยความหนักต่ำถึงปานกลาง (Alves, et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม การฝึกในกีฬาเพาะกายไม่ใช่แค่การฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักเพียงอย่างเดียว แต่เป็นกระบวนการที่รวมทั้งการฝึก เทคนิคการฟื้นฟู การควบคุมโภชนาการ และจิตวิทยาในการฝึกที่มีความซับซ้อน การฝึกที่มีความรู้และเข้าใจพื้นฐานจะช่วยให้สามารถพัฒนากล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ดังนั้นวิทยาศาสตร์การกีฬาจึงมีบทบาทสำคัญกับกีฬาเพาะกายและ

ฟิตเนส เพราะช่วยให้เข้าใจถึงกระบวนการทางชีวภาพและกลไกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกายระหว่างการฝึกซ้อมและการแข่งขัน ช่วยให้ นักกีฬาสามารถฝึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บ และบรรลุเป้าหมายในการพัฒนากล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. เอกสารอ้างอิง

- ดิฐฐชัย จันทรศุมา. (2561). การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงยืนยันของฟิตเนสเซ็นเตอร์ที่มีประสิทธิผลในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. *วารสารวิชาการสถาบันการพลศึกษา*, 10(1), 65-76.
- ดิฐฐชัย จันทรศุมา. (2563). รูปแบบสมการเชิงโครงสร้างของฟิตเนสเซ็นเตอร์ที่มีประสิทธิผลในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ*, 12(1), 85-96.
- ดิฐฐชัย จันทรศุมา และธนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์. (2561). กลยุทธ์ส่วนประสมทางการตลาด 8 พี ในธุรกิจฟิตเนส. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม*, 28(3), 37-44.
- ดิฐฐชัย จันทรศุมา และธนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์. (2562). ปัจจัยของประสิทธิผลองค์กรในฟิตเนสเซ็นเตอร์: กรณีศึกษาฟิตเนสเซ็นเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม*, 29(1), 56-62.
- ธนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์, พชร ชินสีห์, วรเมธ ประจงใจ, นงนภัส เจริญพานิช, และ ชำนาญ ชินสีห์. (2564). คุณลักษณะของคลื่นไฟฟ้า กล้ามเนื้อขณะโพล 7 ทำบ่งคับมาตรฐานของนักกีฬาเพาะกายทีมชาติไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ*, 22(3), 291-302.
- ธนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์, วรเมธ ประจงใจ, พชร ชินสีห์, นงนภัส เจริญพานิช และ ชำนาญ ชินสีห์. (2564). การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ ของ 7 ท่าโพลบ่งคับมาตรฐานในนักกีฬาเพาะกายชายทีมชาติไทย. ใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- สนธยา สีสมาด และดุจดเดือน สีสมาด. (2551). *การฝึกด้วยน้ำหนัก การประยุกต์วิทยาศาสตร์และสรีรวิทยาลู่เทคนิคการปฏิบัติ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย. (10 เมษายน 2563). *About us*. สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย. <http://tbpa.or.th/about-us/>.
- สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย. (10 เมษายน 2563). *Committee*. สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย. <http://tbpa.or.th/committee/>.
- สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนสแห่งประเทศไทย. (10 เมษายน 2567). *Recent Updates*. สมาคมกีฬาเพาะกายและฟิตเนส แห่งประเทศไทย. <http://tbpa.or.th/committee/>.
- Alves, R. C., Prestes, J., Enes, A., de Moraes, W. M. A., Trindade, T. B., de Salles, B. F., Aragon, A. A., and Souza-Junior, T. P. (2020). Training programs designed for muscle hypertrophy in bodybuilders: A narrative review. *Sports*, 8(11), 149. <https://doi.org/10.3390/sports8110149>.
- Bagchi, D., Nair, S., and Sen, C. K. (2013). *Nutrition and Enhanced Sports Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength*. Elsevier.
- Bartlett, R. (2014). *Introduction to Sports Biomechanics: Analysing Human Movement Patterns* (3rd ed.). Taylor & Francis.
- Bauer, A. (2018). *WBPF Rules Book Bodybuilding, Fitness Physique, Athletic Physique, Sport Physique, Model Physique and Mixed Pairs: World Bodybuilding & Physique Sport Federation*.
- Bompa, T. O., and Buzzichelli, C. (2019). *Periodization-: theory and methodology of training*. Human kinetics. <https://doi.org/10.5040/9781718225435>.

- Bushman, B., and Battista, R. (eds.). (2014). *ACSM's Resource for the Personal Trainer* (4th ed.). Lippincott William & Wilkins.
- Coratella, G., Tornatore, G., Caccavale, F., Longo, S., Esposito, F., and Cè, E. (2021). The activation of gluteal, thigh, and lower back muscles in different squat variations performed by competitive bodybuilders: implications for resistance training. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 772. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020772>.
- France, R. C. (2019). *Introduction to Sports Medicine and Athletic Training* (3rd ed.). Cengage.
- Hackett, D. A., Johnson, N. A., and Chow, C. M. (2013). Training practices and ergogenic aids used by male bodybuilders. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1609-1617.
- Haff, G. G. (2010). Sport Science. *Strength and Conditioning Journal*, 32(2), 33-45.
- Haff, G. G., and Triplett, N. T. (eds.). (2016). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Helms, E. R., Fitschen, P. J., Aragon, A. A., Cronin, J., and Schoenfeld, B. J. (2015). Recommendations for natural bodybuilding contest preparation: resistance and cardiovascular training. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(3), 164-78. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318271272a>.
- Ilijnaitė, V., Šiupšinskas, L., and Berškienė, K. (2024). The Quality of Functional Movements and the Back Squat in Amateur and Professional Bodybuilders. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 19(11), 1455. <https://doi.org/10.26603/001c.124998>.
- Iraki, J., Fitschen, P., Espinar, S., and Helms, E. (2019). Nutrition recommendations for bodybuilders in the off-season: A narrative review. *Sports*, 7(7), 154. <https://doi.org/10.3390/sports7070154>.
- Israetel, M. I. K. E., Hoffman, J., and Smith, C. W. (2015). *Scientific principles of strength training*. Np (in Eng.).
- Keogh, J. W., and Winwood, P. W. (2017). The epidemiology of injuries across the weight-training sports. *Sports medicine*, 47(3), 479-501. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0575-0>.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., and Katch, V. I. (eds.). (2014). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.
- McGinnis, P. M. (2021). *Biomechanics of Sport and Exercise* (4th ed.). Human Kinetics.
- Peters, M. A., and Phelps, L. (2001). Body image dissatisfaction and distortion, steroid use, and sex differences in college age bodybuilders. *Psychology in the Schools*, 38(3), 283-289. <https://doi.org/10.1002/pits.1018>.
- Piatkowski, T. M., Obst, P. L., White, K. M., and Hides, L. (2022). The relationship between psychosocial variables and drive for muscularity among male bodybuilding supplement users. *Australian Psychologist*, 57(2), 148-159. <https://doi.org/10.1080/00050067.2021.2020074>.
- Riebe, D., Ehrman, J. K., Ligouri, G., & Magal, M. (eds.). (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (10th ed.). Wolters Kluwer.
- Rossow, L. M., Fukuda, D. H., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., and Stout, J. R. (2013). Natural bodybuilding competition preparation and recovery: a 12-month case study. *International journal of sports physiology and performance*, 8(5), 582-592. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.5.582>.

- Santonja, R. (2019). *IFBB rules section 2: men's bodybuilding: International federation of bodybuilding & fitness (IFBB)*.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>.
- Schoenfeld, B. J. (2020). *Science and development of muscle hypertrophy*. Human Kinetics.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 35(11), 1073-1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>.
- Siewe, J., Marx, G., Knöll, P., Eysel, P., Zarghooni, K., Graf, M., Herren, C., Sobottke, R., & Michael, J. (2014). Injuries and overuse syndromes in competitive and elite bodybuilding. *International journal of sports medicine*, 35(11), 943-948. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1367049>.
- Steele, I. H., Pope Jr, H. G., & Kanayama, G. (2019). Competitive bodybuilding: fitness, pathology, or both?. *Harvard review of psychiatry*, 27(4), 233-240. <https://doi.org/10.1097/HRP.0000000000000211>.
- Weinberg, R., & Gould, D. (2018). *Foundations of Sport and Exercise Psychology* (7th ed.). Human Kinetics.