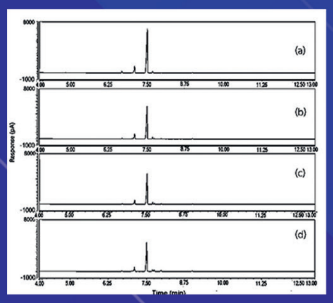
วารสารวิจัย

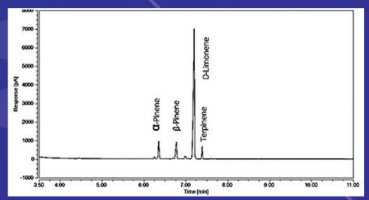
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

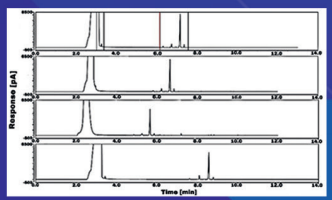
ISSN 1906-1889

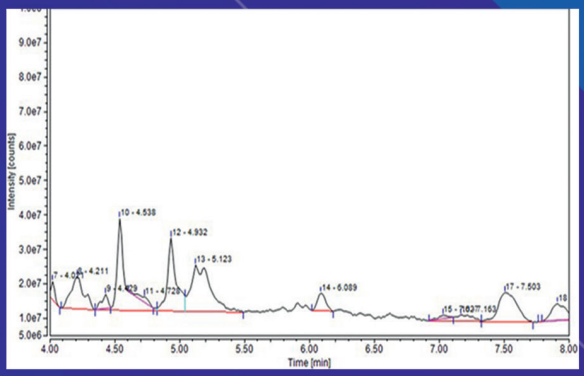
Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

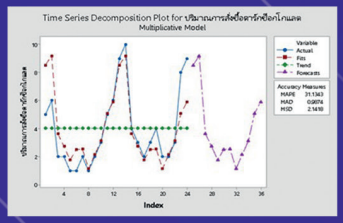
ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565 Vol. 15 No. 1 January - June 2022

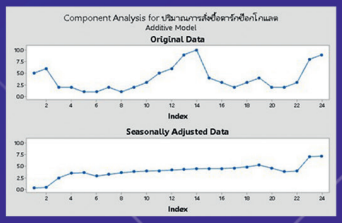












จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตัวเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่กังวลต่อการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนประเมินเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัยความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565 Vol.15 No.1 January - June 2022

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผย แพร่ผลงานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

ผู้จัดพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่ ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็ปไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่ มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

สำนักงาน สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5
เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510
โทรสาร 0-3835-8142
E-mail : journal2rmutto@gmail.com

ชลกิจการพิมพ์
47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565
Vol. 15 No. 1 January - June 2022
ISSN 1906-1889

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2565) ซึ่งได้ย่างก้าวเข้าสู่ปีที่ 15 จัดได้ว่าเป็นวารสารที่อายุก่อตั้งมายาวนานพอสมควร โดยมีบทความวิจัยตีพิมพ์ไปแล้วมากกว่า 300 เรื่อง ทั้งนี้ได้ก่อประโยชน์ทั้งในทางด้านวิชาการและความก้าวหน้าของนักวิจัยที่ได้ส่งเรื่องมาลงตีพิมพ์ ทั้งในส่วนของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ได้ตีพิมพ์เพื่อจบการศึกษา และนักวิจัยคณาจารย์ที่ได้ขอตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้น ทั้งนี้ทางบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำและดำเนินการของวารสารขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ช่วยกันตรวจแก้ไขเพื่อให้บทความวิจัยที่ตีพิมพ์มีคุณภาพที่ดี และขอขอบคุณทีมงานวารสารฯ ทุกท่านของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ได้ช่วยกันทำงานวารสารให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

จึงเรียนมาและขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการ
วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลของวัสดุอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกระชายแดง

Effect of Organic Growing Media on Growth, Total Phenolic Content and Antioxidants Activity of *Boesenbergia pandurata*

สมหมาย ปะติตังโข[1]* และ ครุปกรณ์ ละเอียดอ่อน[2]

Sommai Patitungkho[1]* and Karupakorn La-aedon[2]

[1] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 31000

[1] Department of Chemistry, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University 31000

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 31000

[2] Department of General Science, Faculty of Education, Buriram Rajabhat University 31000

*E-mail: dr.sommai@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ปริมาณสารฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของกระชายแดงที่ปลูกในวัสดุอินทรีย์ต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 ดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 2 ดินร่วนปนทราย : มูลวัว : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 3 ดินร่วนปนทราย : มูลสุกร : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 4 ดินร่วนปนทราย : ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 2:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 5 ดินร่วนปนทราย : แกลบ อัตรา 2:1 โดยปริมาตร และกรรมวิธีที่ 6 ดินร่วนปนทราย (ชุดควบคุม) ผลการศึกษาพบว่า กระชายแดงมีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ความสูงของกระชายระยะ 15 วัน และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลา 90 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีที่ปลูกในมูลสุกรผสมแกลบอัตราส่วน 1:1 จะมีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 17.50 ซม. ส่วนกรรมวิธีที่ปลูกในดินร่วนปนทรายมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.66 ซม. จำนวนหน่อต่อกอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กรรมวิธีที่ปลูก ดินร่วนปนทราย มูลวัวและแกลบ อัตรา 2:1:1 มีจำนวนหน่อมากที่สุดเท่ากับ 3.66 หน่อและมีน้ำหนักหลังปลูกเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 49.03 กรัมต่อกระถาง ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีที่ปลูกในมูลไก่ผสมแกลบอัตราส่วน 1:1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 8,749.00 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด 82% ส่วนกรรมวิธีที่ปลูกในดินร่วนปนทรายผสมแกลบอัตรา 1:1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 5,599.07 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และเมื่อปลูกในดินร่วนปนทราย ทำให้พืชมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดเท่ากับ 71.73% ถ้าต้องการปลูกเพื่อใช้ประโยชน์นั้นควรใช้วัสดุปลูกจากมูลไก่ผสมดินร่วนปนทราย อัตราส่วน 2:1:1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด

คำสำคัญ : ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก กระชายแดง วัสดุปลูกอินทรีย์

Abstract

This research aimed to study on growth, total phenolic contents, and antioxidant activity of red fingerroot (Krachai-Dang) grown in different organic materials. The experimental design was completely randomized design. Treatments consisted of: treatment 1 sandy loam soil : chicken manure : rice husk at the ratio of 2:1:1 by volume, treatment 2 sandy loam : cow dung : rice husk at

the ratio of 2:1:1 by volume, treatment 3 loam sand : pig manure : rice husk at the ratio of 2:1:1 by volume, treatment 4 loam sand : granular organic fertilizer at the ratio of 2:1 by volume, treatment 5 sandy loam : rice husk at the ratio of 2:1 by volume, and treatment 6 sandy loam soil (control). The results showed that there was no statistically significant difference for plant height at 15 and 30 days after planting (DAP) ($p > 0.05$) but at 90 DAP plant height was statistically different ($p < 0.05$). The treatment of pig manure mixed with rice husk at the ratio of 1:1 had the highest average height of 17.50 cm. The treatment that was grown in sandy loam had the lowest average height of 12.66 cm. The number of shoots per bunch was not statistically different ($p > 0.05$). Sandy loam: cow dung: rice husk at the ratio of 2:1:1 gave the highest number of shoots (3.66 shoots) and average shoot weight of 49.03 grams per pot. The total phenolic compounds and their antioxidant capacity were statistically different ($p < 0.05$). Plants grow in chicken manure mixed with rice husk at the ratio of 1:1 had the highest total phenolic content of 8749.00 mgGAE/g DW and the best antioxidant activity of 82.05%. While planting in sandy loam mixed with rice husk at the ratio of 1:1 gave the least total phenolic content of 5599.07 mgGAE/g DW. The least of antioxidant activity was the treatment planted in sandy loam soil at 71.73%. In case of cultivation for use, the planting material from chicken manure mixed with sandy loam at the ratio of 2:1:1 should be used because it gave the highest total phenolic compound content and had the best antioxidant activity.

Keywords : antioxidant activity, total phenolic compounds, Krachai-Dang, organic substrate

1. บทนำ

กระชายแดงหรือกระชายป่าเป็นพืชในวงศ์ Zingiberacceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Boesenbergia panduratada* Roxb. เป็นพืชสมุนไพรและเครื่องเทศที่พบในพื้นที่ป่า อาจมีชื่ออื่นอีกคือ กระชายป่า ขิงแคลง ขิงแดง ขิงทราย (ภาคอีสาน) ขิงละแอน (ภาคเหนือ) เป็นพืชล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน รูปร่างกลมรี รากเรียวยาวออกเป็นกระจุก เนื้อในของรากจะมีสีส้ม กลิ่นหอมเฉพาะตัว เจริญเติบโตได้ดีในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดีย ศรีลังกา จีนตอนใต้ (Eng-Chong et al., 2012) มีลำต้นสั้น ลักษณะผิวเหง้าของกระชายจะมีลักษณะเป็นผิวด้าน สีน้ำตาลอ่อน เหง้าจะมีกลิ่นหอม (Delin and Larsen, 2000) โดยทั่วไปจะนำไปใช้ประโยชน์ในการปรุงอาหารและส่วนประกอบยาสมุนไพรหรือเภสัชวิทยา เหง้ากระชายนี้จะมีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น terpinene geraniol camphor β-ocimene 1, 8-cineole myrcene borneol terpineol geranial (Miksusanti, et al., 2008) และพบมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ชาลโคน (Chalcone) ฟลาวานอน (flavanon) และ ฟลาโวน (flavones) (Chayadi et al., 2014) สรรพคุณกระชายที่ได้รับความสนใจกว่าด้านอื่นคือ เป็นยาบำรุงกำลังและมีฤทธิ์ต่อระบบสืบพันธุ์โดยมีผลต่อน้ำหนักของอัณฑะและเส้นผ่านศูนย์กลางของ seminiferous tubule เพิ่มขึ้น (Sudwan et al., 2007) นอกจากนี้กระชายยังมีฤทธิ์ด้านเภสัชวิทยาในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Chiang et al., 2017; Nurrachma et al., 2018) และยังมีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Shindo et al., 2006) มีฤทธิ์ต้านเชื้อไวรัสเอดส์หรือภาวะภูมิบกพร่อง (Pongpaichit et al., 2005; Cheenpracha et al., 2006) มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารกลุ่มชาลโคนที่แยกได้จากรากกระชาย (Isa et al., 2012; Chiang et al., 2017) และมีฤทธิ์แก้ปวดมวนในท้อง สามารถแก้ท้องอืดเฟ้อและแก้ลมจุกเสียด สามารถนำไปทำน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์บรรเทาอาหารหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อของระบบทางเดินอาหาร

การปลูกกระชายในวัสดุอินทรีย์เป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตอาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภค และวัสดุอินทรีย์ที่มีในท้องถิ่นมีหลายชนิด ได้แก่ ปุ๋ยคอก ใบอ้อย ฟางข้าว แกลบ ทะลายปาล์ม เป็นต้น สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตหรือองค์ประกอบทางเคมี ซึ่ง Kowwilaisang and Aninbon (2018) วิจัยพบว่าชนิดปุ๋ยอินทรีย์มีอิทธิพล

ต่อองค์ประกอบผลผลิต และสารฟีนอลิกรวมในถั่วลิสง โดยปุ๋ยมูลค้างคาวหมักทำให้สารฟีนอลิกในเมล็ดสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยมูลค้างคาวหมักสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตในถั่วลิสง อีกทั้งมีแนวโน้มว่าจะสามารถช่วยเพิ่มสารฟีนอลิกในเมล็ดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lesing (2015) พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 31.95 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุดอีกทั้งยังทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงขึ้น ดังนั้นการปลูกกระชายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปลูกในวัสดุอินทรีย์ ซึ่งการผลิตพืชในระบบอินทรีย์ที่เน้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจาก ปุ๋ยอินทรีย์สามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นระยะเวลานาน ปุ๋ยอินทรียจะช่วยทำให้ดินนั้นมีสภาพร่วนซุยไม่อัดตัวกันแน่นทึบ ทำให้ดินมีสภาพการระบายน้ำ ระบายอากาศดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถหาได้จากท้องถิ่นจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต ช่วยให้ดินมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังรายงานการพัฒนาปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ของมะขาม ที่เหลือทิ้งจากการแกะเนื้อมะขามไปใช้ในการแปรรูป พบว่า ปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติทางเคมี และค่าอินทรียวัตถุในดินที่ดี (Chattrakul, 2012) เช่นเดียวกันกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ คุณภาพสูงในดินชุดชุมพวง ทำให้ผลผลิตคะน้าต่อไร่สูงขึ้น (Srihabun et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยน้ำหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่าอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Hemwong and Vityakon (2019) พบว่าการใส่สารอินทรีย์พร้อมปลูกมีผลทำให้การเจริญเติบโตของอ้อยดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และ Ratneetoo (2009) พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกติดต่อกันจะทำให้คุณภาพของดินดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพธาตุอาหารพืชในดินเนื่องจากปุ๋ยคอกเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนและกำมะถัน นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยคอกอย่างต่อเนื่องจะทำให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้น และทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น ส่วนด้านชีวภาพของดิน ปุ๋ยคอกเป็นแหล่งพลังงานและสารอาหาร ของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับ Li et al (2008) พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้การสังเคราะห์สารฟีนอลิกสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะในปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี โดยปริมาณไนโตรเจนที่พืช ได้รับจะมีความสัมพันธ์กับการสร้างสารฟีนอลิกในพืช การสังเคราะห์สารฟีนอลิกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น และยังเป็นการช่วยปรับปรุงสภาพดินให้มีคุณภาพและรักษาสภาพแวดล้อมดินในระยะยาว (Kesan, 2007) ดังนั้นการปลูกกระชายแดงในวัสดุอินทรีย์ที่มีในท้องถิ่นเพื่อศึกษาเจริญเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระชายแดง ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการเพาะปลูกกระชายแดงเพื่อเป็นอาหารสุขภาพหรือพัฒนาเป็นพืชสมุนไพรเศรษฐกิจต่อไป

2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมวัสดุปลูกและการปลูกกระชาย

การทดลองนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยนำวัสดุปลูกตามกรรมวิธีที่กำหนดไว้มากองรวมกันในบริเวณร่ม แล้วรดน้ำผสมสารเร่งซุปเปอร์ พด 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน รดน้ำให้ชุ่มแล้วใช้ผ้าพลาสติกคลุม หมักทิ้งไว้เป็นเวลา หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน แล้วจึงตวงใส่กระถางปลูกขนาด 12 นิ้ว ให้เหลือขอบกระถาง 1 นิ้ว แล้วเลือกต้นพันธุ์ที่มีตาอย่างน้อย 3 ตา หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเหง้ากระชายแดงแบบคละกัน มาปักลงในในกระถางพลาสติกขนาด 12 นิ้ว โดยปักลึก 1 นิ้ว กระถางละ 20 กรัม แล้วจึงกลบด้วยวัสดุเพาะ นำกระถางไปจัดวางเรียงให้ห่างกัน 30 เซนติเมตร แล้วรดน้ำให้ชุ่มตลอดอายุการเก็บเกี่ยว โดยนำแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) มี 6 กรรมวิธี สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 กระถาง กรรมวิธีที่ 1 ดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 2 ดินร่วนปนทราย : มูลวัว : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที 3 ดินร่วนปนทราย : มูลสุกร : แกลบ อัตรา 2:1:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 4 ดินร่วนปนทราย : ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 2:1 โดยปริมาตร กรรมวิธีที่ 5 ดินร่วนปนทราย : แกลบ อัตรา 2:1 โดยปริมาตร และ กรรมวิธีที่ 6 ดินร่วนปนทราย (ชุดควบคุม)

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุปลูก

วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้สัดส่วนปุ๋ยต่อน้ำเท่ากับ 5:10 โดยน้ำหนัก แล้ววัดด้วย pH meter ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black method (Walkley and Black, 1937) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) วิเคราะห์ โดยวิธีการย่อยด้วย conc. H_2SO_4 แล้วกลั่นด้วยวิธี Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (Available P) วิเคราะห์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) วิเคราะห์โดยการสกัดด้วย 1.0 M NH_4OAc pH 7 (Jackson, 1958)

(a) (b) (c)

Figure 1 Planting in a pot and preparation for extraction (a) Krachai root collection for analysis (b) cutting krachai for heat treatment (c) Extraction of Krachai with ethyl alcohol

2.3 การเตรียมสารสกัดกระชายแดง

ชั่งน้ำหนักนำเหง้าของกระชายแดงที่แห้งแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อเตรียมทำการเข้าตู้อบ ทำการอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (ประมาณ 12 ชั่วโมง) เมื่ออบเสร็จแล้วนำเหง้าของกระชายมาทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

นำชิ้นส่วนของเหง้ากระชายแดงที่อบเสร็จมาทำการปั่นให้ละเอียดให้เป็นผง แล้วนำผงของกระชายแดงมาสกัดโดยใช้ปริมาณ 5 กรัม ทุก ๆ สิ่งทดลองสำหรับทำการทดลอง นำไปแช่เอทานอล ปริมาณเอทานอลที่ใช้ 20 มิลลิลิตร นำเข้าตู้มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบ 48 ชั่วโมง นำสารสกัดกระชายแดงมาทำการกรองสาร แล้วนำสารสกัดกระชายแดงที่ผ่านการกรองเข้าตู้แช่เพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในกระชายแดงโดยใช้คุณสมบัติ reducing property ของสารประกอบฟีนอลิก ตามวิธีของ Loypimai et al. (2009) โดยดูดตัวอย่างสารสกัดกระชายแดงมา 1.0 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Forlin- Ciocalteu ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 นาที จนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) แล้วค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด

2.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสะด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) radical scavenging activity assay ตามวิธีของ Loypimai et al. (2009) โดยการเตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมล หลีกเลี่ยงการถูกแสง ดูดสารละลายตัวอย่างที่สกัดจากกระชายแดงมา 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.0 มิลิลิตร

เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องนาน 30 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย microplate reader ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ วัดซ้ำ 3 ครั้ง ใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารละลายมาตรฐาน รายงานผลเป็นค่า %radical scavenging คำนวณด้วยสมการ

$$\text{Scavenging (activity \%)} = \frac{(Ac - As)}{Ac} \times 100$$

Ac = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

As = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.6 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

บันทึกความสูงของต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการทดลอง

3.1 องค์ประกอบทางเคมีวัสดุปลูก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีวัสดุปลูกพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6.36-7.86 มีปริมาณอินทรียวัตถุ ระหว่าง 9.20-51.08% ไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.54-3.16% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ระหว่าง 112.10-193.76 มิลิลกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 66.06-98.86 มิลิลกรัม/กิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Some chemical properties of substrates

Treatment	pH	OM (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Sandy loam : Chicken manure : Husk (2:1:1)	6.36^{c}	38.50^{c}	2.46^{c}	146.86^{c}	81.06^{c}
Sandy loam : Cow manure : Husk (2:1:1)	7.63^{a}	31.00^{d}	2.00^{d}	166.40^{b}	89.20^{b}
Sandy loam : Pig manure : Husk rice (2:1:1)	6.93^{b}	41.60^{b}	2.72^{b}	166.70^{b}	88.63^{b}
Sandy loam : Organic pellet (2:1)	7.86^{a}	51.08^{a}	3.16^{a}	193.76^{a}	93.86^{a}
Sandy loam : Husk rice (2:1)	7.56^{a}	9.20^{d}	.54^{e}	112.93^{d}	66.60^{d}
Sandy loam	7.16^{b}	9.82^{e}	.57^{e}	112.10^{d}	66.06^{d}
C.V. (%)	2.85	3.05	5.23	1.92	2.56

Means in the same column with the same letters are not significantly different by DMRT 95%

3.2 ความสูงของต้นกระชายแดง

จากการศึกษาความสูงของต้นกระชายแดงโดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอด ซึ่งมีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยพบว่าความสูงต้นกระชายระยะ 15 วัน และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลา 90 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีที่ 3 ดินร่วนปนทราย มูลสุกรผสมแกลบอัตราส่วน 2:1:1 จะมีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 17.50 เซนติเมตร ส่วนกรรมวิธีที่ 6 ปลูกในดินร่วนปนทรายมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 12.66 เซนติเมตร (Table 2)

Table 2 Effect of substrate on plant height of Krachai-Dang evaluated at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 Days

Treatment	Plant heights (cm)					
	15 Day	30 Day	45 Day	60 Day	75 Day	90 Day
Sandy loam : Chicken manure : Husk (2:1:1)	1.23	3.50	6.36[a]	11.33[a]	15.00[a]	17.16[a]
Sandy loam : Cow manure : Husk (2:1:1)	1.13	3.50	5.16[b]	9.00[b]	12.83[b]	15.23[b]
Sandy loam : Pig manure : Husk rice (2:1:1)	1.36	3.33	6.30[a]	11.66[a]	15.66[a]	17.50[a]
Sandy loam : Organic pellet (2:1)	1.36	3.50	5.16[b]	8.66[b]	13.16[b]	16.13[b]
Sandy loam : Husk rice (2:1)	1.43	3.33	4.33[c]	7.33[c]	11.83[c]	12.83[c]
Sandy loam	1.13	3.63	4.66[bc]	7.66[c]	12.66[c]	12.66[c]
C.V. (%)	11.67	8.52	6.65	6.09	3.29	3.65

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by DMRT 95%

3.3 จำนวนหน่อต่อกอ

จำนวนหน่อต่อกอของกระชายแดงในช่วงระยะเวลา 45 วันแรก พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) จำนวนหน่อเฉลี่ยระหว่าง 2.33-3.00 หน่อต่อกอ ช่วงระยะเวลา 60-90 วัน พบว่า จำนวนหน่อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อครบเวลา 90 วัน มีจำนวนหน่อเฉลี่ยระหว่าง 3.00-3.66 หน่อต่อกอ (Table 3)

Table 3 Effect of substrate on number of shoots per tiller evaluated at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days

Treatment	Number of shoots/tiller					
	15 Day	30 Day	45 Day	60 Day	75 Day	90 Day
Sandy loam : Chicken manure : Husk (2:1:1)	0.80[a]	1.46[a]	2.33[b]	3.00	3.00	3.00
Sandy loam : Cow manure : Husk (2:1:1)	0.76[a]	1.53[a]	3.00[a]	3.33	3.66	3.66
Sandy loam : Pig manure : Husk rice (2:1:1)	0.76[a]	1.36[a]	2.66[b]	3.00	3.00	3.00
Sandy loam : Organic pellet (2:1)	0.80[a]	1.00[b]	3.00[b]	3.33	3.33	3.33
Sandy loam : Husk rice (2:1)	0.56[b]	1.00[b]	2.66[b]	3.00	3.00	3.00
Sandy loam	0.53[b]	1.00[b]	2.33[b]	3.00	3.00	3.33
C.V. (%)	6.38	7.01	10.07	12.93	10.54	12.69

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by DMRT 95%

3.4 น้ำหนักสดของหัวพันธุ์กระชายแดงก่อนและหลังปลูก

ก่อนปลูกนำกระชายแดงไปชั่งน้ำหนักรวม 20 กรัม แล้วนำไปปลูกลงในกระถาง เมื่อเวลาผ่านไป 90 วัน พบว่ากระชายมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ กรรมวิธีที่ 2 ปลูกในดินร่วนปนทราย มูลวัวผสมแกลบ จะมีน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 49.03 กรัมต่อกระถาง ส่วนกรรมวิธีที่ 6 ปลูกในดินร่วนปนทรายจะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 33.70 กรัมต่อกระถาง (Table 4)

Table 4 Fresh weight before and after planting of Krachai-Dang

Treatment	Fresh weight before planting (g/pot)	Fresh weight after planting (g/pot)
Sandy loam : Chicken manure : Husk (2:1:1)	20	37.50[c]
Sandy loam : Cow manure : Husk (2:1:1)	20	49.03[a]
Sandy loam : Pig manure : Husk rice (2:1:1)	20	35.63[cd]
Sandy loam : Organic pellet (2:1)	20	41.73[b]
Sandy loam : Husk rice (2:1)	20	34.43[d]
Sandy loam	20	33.70[d]
F-test	-	*
C.V. (%)	-	4.00

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by DMRT 95%

3.5 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำกระชายแดงไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า กรรมวิธีที่ 1 ดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 8749.00 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ส่วนร้อยละการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 82.05 ส่วนที่พบน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ปลูกในดินร่วนปนทราย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 5633.60 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 71.73 (Table 5)

Table 5 Effect of substrate on antioxidant and phenolic compound at 90 days

Treatment	Total Phenolic compound (mg GAE/g DW)	%Scavenging activity
Sandy loam : Chicken manure : Husk (2:1:1)	8749.00[a]	82.05[a]
Sandy loam : Cow manure : Husk (2:1:1)	6770.54[b]	77.32[ab]
Sandy loam : Pig manure : Husk rice (2:1:1)	6551.00[b]	81.61[a]
Sandy loam : Organic pellet (2:1)	6821.59[b]	80.09[a]
Sandy loam : Husk rice (2:1)	5599.07[c]	72.90[c]
Sandy loam	5633.60[c]	71.73[c]
C.V. (%)	5.76	3.21

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by DMRT 95%

4. อภิปรายผล

จากการทดลองปลูกกระชายแดงในวัสดุอินทรีย์ที่ต่างกัน ที่ระยะเวลา 90 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ดินร่วนปนทราย : มูลสุกร: แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 มีความสูงมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 17.50 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 1 ดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 จะมีความสูงเท่ากับ 17.16 เซนติเมตร ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีนั้นมีผลต่อความสูงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมูลสุกรและมูลไก่ เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โบรอน โมลิบดินัมและคลอรีน นอกจากนี้ยังมีฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดต่าง (Naruchit et al., 2015) เช่น ฮอร์โมนออกซินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการพัฒนาคุณภาพของเนื้อเยื่อโดยเฉพาะกากระตุ้นการเกิดราก ยับยั้งการเกิดตาข้าง ฮอร์โมนจิบเบอเรลลินช่วยกระตุ้นการออกดอกและการงอกของเมล็ด ฮอร์โมนไซโตไคนิน

กระตุ้นการแบ่งเซลล์และการเจริญตาข้าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pojanagaroon (2006) เมื่อใช้มูลไก่รองก้นหลุมก่อนปลูกกระชายดำ มีผลทำให้กระชายดำมีการเจริญเติบโตดีและ สีเนื้อมีความเข้มสม่ำเสมอ เหมาะที่จะนำไปใช้ในการแปรรูป ซึ่งส่วน Innunchai and Kurima (2020) ได้

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compound) ที่ปลูกในวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า กรรมวิธีที่ 1 ดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 มีปริมาณมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 8749.00 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 ดินร่วนปนทราย : มูลวัว : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 มีปริมาณเท่ากับ 7,364.53 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ซึ่งปริมาณจะสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.05% และ 81.61% ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณฟนอลิกมาก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก็จะมากขึ้นตามด้วย เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Kim et al., 2005) นอกจากนี้ในกระชายยังมีสารพิโนเซมบริน (Pinocembrin) พิโนสโตรบิน (Pinostrobin) และ (Cardamonin) ซึ่งเป็นสารอยู่ในกลุ่มฟาโวนอยด์จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี (Tewrakul et al., 2009) และยังมีความสามารถในการต้านไวรัสที่เป็นสาเหตุภาวะภูมิบกพร่อง (HIV) ได้อีกด้วย (Kait et al., 2006) ดังนั้นการปลูกกระชายแดงในวัสดุอินทรีย์มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มสารประกอบฟีนอกลิกได้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ (Sereme et al., 2016) สำหรับการทดลองในพืชผัก พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่สามารถเพิ่มสารฟีนอลิกได้เช่นเดียวกัน (El-Moniem et al., 2012) เนื่องจากปุ๋ยเหล่านี้จะช่วยให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี และส่งผลต่อโครงสร้างดิน โดยเพิ่มคาร์บอนและไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น 25-31% (Dayegamiye et al., 2010) เมื่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง จะเกิดกระบวนการมินอรัลไรเซชันของไนโตรเจนได้ดี เหมาะสำหรับการช่วยส่งเสริมการเจริญของพืช (Cordovil et al., 2005) ทำให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกได้ดี สอดคล้องกับ Taokaenchan et al. (2018) พบว่า อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในพืชหลายชนิด เช่น การใช้ปุ๋ยมูลวัวทำให้จิงจูฉ่ายสังเคราะห์สารฟีนอลิกเพิ่มมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยมูลไก่และมูลค้างคาว ส่วนปุ๋ยมูลไก่จะมีการผลต่อเจริญเติบโตและน้ำหนักผลผลิตสดมากที่สุด สอดคล้องกับ Lesing (2015) พบว่า การใส่มูลไก่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณอิทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้น และยังทำให้คุณภาพผลผลิตและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของจิงจูฉ่ายเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Kowwilaisang and Aninbon (2018) พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลค้างคาวหมักมีแนวโน้มว่าทำให้สารฟีนอลิกในเมล็ดสูงที่สุด รองลงมา คือ การใช้ปุ๋ยเคมีและการไม่ใส่ปุ๋ย ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยมูลค้างคาวหมักสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตในถั่วลิสง อีกทั้งมีแนวโน้มว่าจะสามารถช่วยเพิ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดได้ หรือ การใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินทำให้เกิดการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน อีกทั้งยังช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช ส่งผลให้เพิ่มผลผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิตด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้สูงขึ้น ช่วยกระตุ้นการสร้างสารประกอบฟีนอลิกได้ เช่น แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ (Theunissen et al., 2010) แต่การที่พืชจะสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกได้ดีหรือไม่นั้น ยังขึ้นกับความสัมพันธ์ของธาตุอาหารด้วย สอดคล้องกับ Ibrahim et al. (2011) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ phenyl alanine lyase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก จะมีความสัมพันธ์แบบตรงกันข้ามกับปริมาณไนโตรเจนที่พืชได้รับ กล่าวคือ หากพืชได้รับปริมาณไนโตรเจนที่สูงจะทำให้การสังเคราะห์สารฟีนอลิกลดลง ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าปุ๋ยเคมี จะช่วยทำให้พืชสร้างสารฟีนอลิกได้สูงกว่า ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตและเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเภสัชวิทยาที่มีต่อมนุษย์ในอนาคตต่อไปได้

5. สรุปผล

เมื่อพิจารณาความสูงของต้นกระชายแดง พบว่า ต้นกระชายมีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา คือ ระยะ 15 วัน และ 30 วัน แต่เมื่อระยะเวลา 90 วัน พบว่า (1) กรรมวิธีที่ปลูกในมูลสุกรผสมแกลบ อัตราส่วน 1:1 มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 17.50 เซนติเมตร (2) จำนวนหน่อต่อกอ พบว่า กรรมวิธีที่ปลูก ดินร่วนปนทราย มูลวัวและแกลบ อัตรา 2:1:1 มีจำนวนหน่อมากที่สุดเท่ากับ 3.66 หน่อและมีน้ำหนักหลังปลูกเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 49.03 กรัมต่อกระถาง (3) ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในกระชายแดง พบว่ากระชายแดงปลูกในดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 จะมีสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดเท่ากับ 8749.00 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 82.05% ดังนั้น ถ้าต้องการปลูกกระชายแดงควรปลูกในกรรมวิธีดินร่วนปนทราย : มูลไก่ : แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 จะมีความเหมาะสมที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

Bray, R. H. and L.T, Kurtz. 1945. **Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil**. Soil Science. 9: 39-45.

Chahyadi, A., Hartati, R., Wirasutisna, K. R. and Elfahmi. 2014. **Boesenbergia pandurata Roxb., An Indonesian Medicinal Plant : Phytochemistry, Biological Activity, Plant Biotechnology**. Procendia Chem. 13: 13-37.

Chattrakul, A. 2012. **Research report of development of compost products from Tamarind waste**. Faculty of Agricultural Technology. Petchabun Rajabhat University, Petchabun.

Cheenpracha, S., Kararai, C., Ponglimanont, C., Subhadhirasakul, S. and S. Tewtrakul. 2006. **Anti-HIV-1 protease activity of comounds from Boesenbergia pandurata**. Bioorganic and Medicinal Chemistry. 14(6): 1710-1714.

Chiang, M., Kurmoo, Y. and T. J. Khoo, 2017. **Chemical and Cell Based Antioxidant Capacity of Methanolic Extracts of Three Commonly Edibla Plants from Zingiberaceas Family, Free Radic**, Antioxidant. 7(1): 57-62.

Cordovil, C. M. D. S., Coutinho, J., Goss, M. and F. Cabral 2005. **Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one pool exponential model**. Soil Use Manage. 21: 65-72.

Dayegamiye, A., Drapeau, A. and C. Nduwamungu. 2010. **Fresh and composted paper sludges sustain soil productivity**. International Journal Agronomy. 2010: 1-10.

El-Moniem, A., Naguib, M., El-Baz, F. K., Salama, Z. A., Hanaa, H. A. E. B., Ali, H. F. and A. A. Gaafar, 2012. **Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica olaracea*, var.Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers**, Journal Saudi Soc. Agricultural Science. 11: 135-142.

Eng-Chong, T., Yean-Kee, L., C, Chin-Fei, H., Choon-Han, W., Sher-Ming, C. T., Li-Ping, F., Gen-Teck, N., Khalid, N. A., Rahman, S. A., Karsani, S., Othman, R., and R. Yusof. 2012. **Review Article *Boesenbergia rotunda* : From Ethnomedicine to Drug Discovery**. Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine. 25p. Hindawi Publishing Corporation.

Hemwong, S. and P. Vityakon. 2019. **Effects of Organic Materials Managements on Soil Fertility, Growth and Yield of Sugarcane**. Prawarun Agriculture Journal. 16(2): 361-373

Ibrahim M.H., Jaafar. H. Z., Rahmat, A. and Z. A. Rahman. 2011. **Effects of nitrogen fertilization on synthesis of primary and secondary metabolites in three varieties of Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Blume)**. International. Journal Molecules Science. 12: 52-54.

Jackson, M. L. 1958. **Soil chemical analysis**. Prentice Hall, New Jersy.

Jones, J. B. Jr., 2001. **Laboratory Guide for Conducting Soil tests and Plant Analysis**. Boca Raton : CRC Press.

Kesan, J. P. 2007. **Agricultural Biotechnology and Intellectual Property Seeds of Change**. CAB International, Wallingford.

Kiat, S., Richad, P., Rohana, Y., Halijah,I., Norzulaani. K. and A. Noorsaadah, 2006. **Inhibitory activity of Cyclo hexrnyl Chacone derivatives and flavonoids of fingerroot, *Boesenbergia rotunda* (L.) towards dengue-2 virus NS3 protease**, Bioorganic Medical Chemistry Letters. 16: 3337-3340.

Kim, J. H., Chen,F., Wang, X., Chung, H. Y. and Z. Jan. 2005. **Evaluation of antioxidant activity of vetiver (*Vetiveria zizaniodes* L.) oil and identification of its antioxidant constituents**, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(20): 7691-7695.

Kowwilaisang, N. and C. Aninbon, 2018. **Influence of Organic Fertilizer Types on Yield Components and Total Phenolic Compounds in Peanut**. Thai Science and Technology Journal (TSTJ). 28(2): 265-273.

Lesing, S. 2015. **Effect of Organic Fertilizer on Growth and Yield Quality of White Mugwort. Master of Science**, Thammasat University.

Li, J., Zhu, Z. and J. Gerendas, 2008. **Effects of nitrogen and sulfur on total phenolics and antioxidant activity in two genotypes of leaf mustard**, Journal Plant Nutrition. 31: 1642-1655.

Loypimai, P., Moongngam, A. and P. Chottanom. 2009. **Effects of Ohmic Heating on Lipase Activity, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Rice Bran**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3(4): 3642-3652.

Nurrachma, M. Y., Fadliyah, H. and E. Meiyanto. 2018. **Fingerroot Boesenbergia pandurata : A Prospective Anticancer Therapy**. Indonesia Journal Cancer Chemoprevent. 9(2): 102-109.

Pongpaichit, S., Subhadhirassakul., S. and C. Wattanapiromsakul. 2005. **Antifungal activities of extracts from Thai medicinal plants against opportunistic fulgal pathogens associated with AIDS patients**. Mycoses. 48(5): 333-338.

Pojangaroon, S. 2006. **Possibility for Krachai-Dam (*Kaempferia paruiflora* W. ex Baker) Commercial Production**. Thai Agricultural Research Journal. 24(3): 263-287. (in Thai)

Ratneetoo, B. 2009. **Organic Fertilizer Improves Deteriorated Soil**. Princces of Naradhivas University Journal. 1(2): 1-15. (in Thai)

Shindo, K.., Kato, M., Kinoshita, A., Kobayashi, A. and Y. Koike. 2006. **Analysis of antioxidant activities contained in the *Boesenbergia rotunda*. Schult. Rhizome**. Bioscince Biotechnol Biochem. 70(9): 2281-2284.

Srihabun, P., S, Saelim,S., Potinam, P. and S. Teamthaisong. 2013. **High quality organic fertilizer for vegetable growing on Chum Phuang soil series, case study of Chinese kale**. Available : http://www. r05.ldd.go.th. Accessed March 28, 2013.

Sereme, A., Dabire, C., Koala, M., Somda, M. K. and A. S. Raore. 2016. **Influence of organic and mineral fertilizers on the antioxidants and total phenolic compounds level in tomato (*Solanum lycopersicum*) var. mongal F1**. Journal Experimental Biology Agricultural Science. 4: 414-420.

Sudwan, P., Saenpet, K., Aritajat, S., and N. Sitasuwan. 2007. **Effect of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. On sexual behavior of male rats**. Asian Journal Androl. 9(6): 849-855.

Supinrach,S., Supinrach, I. and R. Sriwanchai. 2016. **Effect of Media on Growth and Flowering of China Pink (*Dianthus chinensis*)**. Songklanakarin journal. 3 (Suppl.II): 77-82. (in Thai)

Taokaenchan, N., Areesrisom, P., Suthon. W. and. W. Manoonya. 2018. **Effect of organic fertilizers on growth and total phenolic content of *Artermisia lactiflora***. Agricultural Science Journal, 49: 132-138. (in Thai)

Tewtrakul, S., Sana, S., Chatchanok, K., Chanita, P. and C, Sarot. 2009. **Anti-flammatory effects of compounds from *Kaempferia parviora* and *Boesenbergia pandurate***. Food Chemistry. 115: 534-538.

Theunissen, P., Ndakidemi, A. and C. P. Laubscher. 2010. **Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production**. International Journal of Physical Science. 5(13): 1964-1973.

Walkley, A. J. and I. A. Black. 1937. **Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method**. Soil Science. 37, 29-38.

(Received: 20/Sep/2021, Revised: 19/May/2022, Accepted: 24/May/2022)

การตรวจหาสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผัก จากตลาดสดและห้างสรรพสินค้าในเขตอำเภอเมืองจันทบุรี

Organophosphate and Carbamate Insecticides Residues Detected in Vegetables from Fresh Markets and Department Stores in Muang Chanthaburi District

ชวัลรัตน์ สมนึก* นฤมล อิ่มศรี สุจิตรา ปินะถา และ หิรัญ หิรัญรัตนพงศ์

Chawanrat Somnuek*, Naruemon Imsri, Suchittra Pinatha and Hirun Hirunrattanapong

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,

Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi

**E-mail: chawanrat.s@rbru.ac.th; โทร. 086-8299550*

บทคัดย่อ

การใช้สารกำจัดแมลงสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ แต่การใช้สารกำจัดแมลงที่มากเกินไปทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในผักและผลไม้ รวมถึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาสารกำจัดแมลงตกค้างในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักจากตลาดสด และห้างสรรพสินค้าในเขตอำเภอเมืองจันทบุรี โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างผัก จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ คะน้า ผักกาดขาว ผักกาดหอม ต้นหอม มะเขือเทศ ถั่วฝักยาว สะระแหน่ แตงกวา พริกขี้หนู และผักบุ้ง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ. 2564 มาตรวจสอบด้วยชุดทดสอบ GT-Test Kit พบว่า ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบทั้งหมด 120 ตัวอย่าง พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย จำนวน 39 ตัวอย่าง (ร้อยละ 32.50) พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับที่ปลอดภัย จำนวน 61 ตัวอย่าง (ร้อยละ 50.83) และไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างในผัก จำนวน 20 ตัวอย่าง (ร้อยละ 16.67) เมื่อเปรียบระหว่างตลาดสดและห้างสรรพสินค้า พบว่า ผักจากตลาดสด มีร้อยละการตกค้างของสารกำจัดแมลงในระดับที่ไม่ปลอดภัยสูงกว่าในห้างสรรพสินค้า โดยผักที่พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยจำนวนมากที่สุด คือ พริกขี้หนู รองลงมาคือ ต้นหอม แตงกวา และผักกาดหอม ตามลำดับ

คำสำคัญ : สารกำจัดแมลง ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต ตลาดสด ห้างสรรพสินค้า

Abstract

The use of insecticides can increase agricultural productivity. However, excessive use of insecticides can lead to chemical residues in vegetables and fruits, including affecting the health of consumers. This research aims to determine organophosphate and carbamate pesticide residues in vegetables from the fresh market and department stores in Mueang Chanthaburi District. Ten vegetables (Chinese kale, Chinese cabbage, lettuce, spring onion, tomato, yardlong bean, peppermint, cucumber, bird chilli, and morning glory) in fresh markets and department stores were randomized in February to March 2021. The insecticides residues were examined by using the GT-Test Kit. The results found that the overall of 120 samples were tested, 32 samples (32.50%) were found the unsafe level of the insecticides residues, and 61 samples (50.83%) were found the insecticides residues in safe level, and the rest 20 samples (16.67%) were not detected any insecticides residues. The residues

from fresh markets and the department stores were compared, it was found that the markets had a higher unsafe level of insecticides residues than those in department stores. The vegetables with the most unsafe levels of insecticides residues were bird chilli, followed by spring onions, cucumber and lettuce respectively.

Keywords : Insecticides, Organophosphate, Carbamate, Markets, Department stores

1. บทนำ

สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ที่นิยมเรียกกันว่า “สารกำจัดแมลง” หมายถึง สารเคมีที่เป็นพิษ ซึ่งแสดงผลในการกำจัดหรือป้องกันแมลงได้ โดยอาจจะเป็นสารเคมีที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นหรือเป็นสารเคมีที่ได้จากธรรมชาติ การใช้สารกำจัดแมลงเป็นวิธีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชและสัตว์ที่นิยมแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลผลิตสูงและทันต่อเวลา เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและใช้ได้ทุกเวลาที่ต้องการโดยคุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งสารเคมีเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์ โดยจะตกค้างในสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นอากาศ ดิน น้ำ ผลิตผลทางการเกษตร รวมถึงสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศและสุขภาพมนุษย์ในที่สุด (Subbamre, 2014) สารกำจัดแมลงทุกชนิดมีอันตรายต่อมนุษย์ในระดับที่มากน้อยต่างกัน ทั้งอันตรายโดยตรงต่อผู้ใช้และปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม การใช้สารกำจัดแมลงอย่างถูกต้องอาจช่วยแก้ปัญหา และลดอันตรายลงได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าจะไม่ทำให้เกิดพิษภัยต่าง ๆ

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตเป็นกลุ่มสารที่พบการเกิดพิษได้บ่อยและมีอัตราการเสียชีวิตค่อนข้างสูง โดยมีสาเหตุมากจากการสัมผัสขณะทำงาน การทำร้ายตัวเอง และการปนเปื้อนในอาหาร เป็นสารในกลุ่มที่สามารถหาซื้อได้ง่ายและเกษตรกรยังไม่มีความรู้ความเข้าใจต่อการใช้สารที่เพียงพอ ทำให้เกิดการใช้อย่างไม่เหมาะสม โดยสารทั้งสองกลุ่มนี้มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส ทำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ปวดศีรษะ ตาพร่ามัว อ่อนเพลีย ปวดท้อง หากร่างกายได้รับในปริมาณที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดอาการชักและเสียชีวิตได้ (Occupational and Environmental Disease, 2010) ซึ่งจากข้อมูลการเข้ารับบริการในระบบ “หลักประกันสุขภาพแห่งชาติ” หรือ “กองทุนบัตรทอง” ในช่วงปีงบประมาณ 2562 ได้รายงานผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศ ในจำนวนนี้เป็นผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาโดยมีสาเหตุจากการได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จำนวน 3,067 ราย เสียชีวิต 407 ราย (National Health Security Office (NHSO), 2019) แสดงให้เห็นว่าสารกำจัดแมลงที่ประชาชนอาจได้รับจากการใช้โดยตรงหรืออาจเกิดจากการตกค้างปนเปื้อนในพืชสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจ็บป่วยได้

ในช่วงปี พ.ศ. 2537-2542 มีการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตคาร์บาเมตและไพรีทรอยด์ในผักและผลไม้ พบว่าสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ตรวจพบมากที่สุด คือ สารคลอไพรีฟอส (Chlorpyrifos) และยังตรวจพบสารที่เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นสารที่มีประกาศห้ามใช้ไม่ให้มีการผลิต นำเข้า ส่งออกและมีไว้ในครอบครอง นอกจากนี้ยังพบว่าผักจากจังหวัดทางภาคเหนือ และภาคตะวันออก มีสารตกค้างสูงทั้งในระดับที่ปลอดภัยและไม่ปลอดภัย (Phakakasama *et al*. (2016) และตั้งแต่นั้นมายังคงมีการตรวจพบการตกค้างของสารกำจัดแมลงในผักและผลไม้อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาชนิดและกลุ่มของพืชผักที่อาจมีการตกค้างของสารกำจัดแมลงกลุ่มของออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตเพื่อเป็นข้อมูลในการป้องกันตนเองและเฝ้าระวังจากการได้รับอันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนและการตกค้างของสารกำจัดแมลง โดยทำการเก็บตัวอย่างผักที่มักตรวจพบการตกค้างของสารกำจัดแมลงจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักบุ้ง คะน้า ผักกาดหอม แตงกวา ต้นหอม พริกขี้หนู สะระแหน่ มะเขือเทศ และผักกาดขาว ทั้งที่จำหน่ายตามตลาดสดและในห้างสรรพสินค้าในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี มาตรวจสอบการตกค้างของสารด้วยชุดทดสอบจีที (GT-Test Kit)

2. วิธีการทดลอง

เก็บตัวอย่างผักที่นำมาศึกษา จำนวน 10 ชนิด ชนิดละ 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักบุ้ง คะน้า ผักกาดหอม แตงกวา พริกขี้หนู ต้นหอม สะระแหน่ มะเขือเทศ และผักกาดขาว โดยสุ่มเลือกตัวอย่างจากร้านค้าต่าง ๆ ในตลาดสด 3 แห่ง (ตลาดสด S, ตลาดสด B และตลาดสด J) และสุ่มตัวอย่างผักที่ไม่มีตรารับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์จากชั้นวางจำหน่ายสินค้าในห้างสรรพสินค้า 3 แห่ง (ห้างสรรพสินค้า M, ห้างสรรพสินค้า R และห้างสรรพสินค้า L) ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ. 2564 มาทำการตรวจสอบสารกำจัดแมลงตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตด้วยชุดทดสอบจีที (GT-Test Kit) โดยการหั่นผักให้ละเอียดและผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วตักตัวอย่างชั่งใส่หลอดทดสอบปริมาณ 5 กรัม เติมน้ำยาสกัดตามคู่มือ จากนั้นสังเกตสีที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดเปรียบเทียบสีที่เกิดระหว่างหลอดควบคุม หลอดตัดสินและหลอดตัวอย่าง (Thoophom, 1998)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากตัวอย่างผักที่นำมาตรวจสอบทั้งหมด 120 ตัวอย่าง พบผักที่มีสารกำจัดแมลงตกค้างทั้งหมด 100 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 83.33 โดยแบ่งออกเป็นพบการตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย จำนวน 39 ตัวอย่าง และพบการตกค้างในระดับที่ปลอดภัย จำนวน 61 ตัวอย่าง นอกนั้นไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างจำนวน 20 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 16.67 เมื่อจำแนกตามชนิดของผัก พบว่า ผักที่พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยจำนวนมากที่สุด คือ พริกขี้หนู จำนวน 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ 6.67) รองลงมาคือ ต้นหอม จำนวน 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 4.17) ส่วนผักตัวอย่างที่ตรวจไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างมากที่สุด คือ ผักกาดขาว ผักกาดหอม มะเขือเทศ สะระแหน่ และผักบุ้ง โดยตรวจไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างชนิดละ 3 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 2.50 จากจำนวนผักแต่ละชนิดตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดแมลงตกค้างในผักชนิดต่าง ๆ (n=120)

ชนิดผัก	เกณฑ์การตัดสิน					
	ไม่พบการตกค้าง		พบตกค้างในระดับปลอดภัย		พบตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
คะน้า	1	0.83	8	6.67	3	2.50
ผักกาดขาว	3	2.50	6	5.00	3	2.50
ผักกาดหอม	3	2.50	5	4.17	4	3.33
ต้นหอม	1	0.83	6	5.00	5	4.17
มะเขือเทศ	3	2.50	6	5.00	3	2.50
ถั่วฝักยาว	2	1.67	7	5.83	3	2.50
สะระแหน่	3	2.50	6	5.00	3	2.50
แตงกวา	1	0.83	7	5.83	4	3.33
พริกขี้หนู	**0**	**0.00**	**4**	**3.33**	**8**	**6.67**
ผักบุ้ง	3	2.50	6	5.00	3	2.50
รวม	**20**	**16.67**	**61**	**50.83**	**39**	**32.50**

นอกจากนี้จากผลการตรวจสอบจำแนกตามแหล่งที่มาของผักตัวอย่าง พบว่า ผักจากตลาดสด S ตรวจพบสารกำจัดแมลงในระดับไม่ปลอดภัยมากที่สุด คือ 13 ตัวอย่าง จากผักทั้งหมด 30 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 43.33 รองลงมาคือ ตลาดสด B และตลาดสด J ตามลำดับ โดยการตรวจสอบผักในตลาด J ไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างมากที่สุดคือ จำนวน 8 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 26.67 ส่วนห้างสรรพสินค้า พบว่า ห้างสรรพสินค้า R พบสารกำจัดแมลงในระดับ

ไม่ปลอดภัยมากที่สุด คือ 7 ตัวอย่าง จากผักทั้งหมด 10 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 70.00 รองลงมา คือ ห้างสรรพสินค้า T และห้างสรรพสินค้า M ตามลำดับ โดยห้างสรรพสินค้า M ตรวจสอบไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างมากที่สุดคือ จำนวน 7 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 70.00 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตกค้างของสารกำจัดแมลงตามแหล่งที่มาของผักตัวอย่าง (n=120)

แหล่งที่มาของผัก	จำนวน	ไม่ตกค้าง	ตกค้างในระดับปลอดภัย	ตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย
	ตัวอย่าง	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
ตลาดสด S	30	2 (6.67)	15 (50.00)	**13 (43.33)**
ตลาดสด B	30	2 (6.67)	**19 (63.33)**	9 (30.00)
ตลาดสด J	30	**8 (26.67)**	13 (43.33)	9 (30.00)
ห้างสรรพสินค้า M	10	**7 (70.00)**	2 (20.00)	1 (10.00)
ห้างสรรพสินค้า R	10	0	3 (30.00)	7 (70.00)
ห้างสรรพสินค้า T	10	1 (10.00)	**9 (90.00)**	0
รวม	120	20 (16.67)	61 (50.83)	39 (32.50)

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการสำรวจของ Thai-PAN (2016) ที่พบผักและผลไม้มีสารกำจัดแมลงตกค้างเกินมาตรฐานสูงถึงร้อยละ 46.4 โดยยังพบว่าผักและผลไม้ซึ่งได้รับตรา Q จากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) พบสารเคมีตกค้างมากที่สุด สูงถึงร้อยละ 57.1 นอกจากนั้นผักและผลไม้อินทรีย์ที่ได้รับการรับรอง Organic Thailand ซึ่งไม่ควรตรวจพบการตกค้างของสารเคมีกลับพบการตกค้างสูงเกินมาตรฐานถึงร้อยละ 25 ของจำนวนตัวอย่างด้วย เมื่อพิจารณาจากชนิดของผักยังพบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยในพริกสูงที่สุด คือ ร้อยละ 100 ซึ่งสอดคล้องกับผลการเฝ้าระวังของ National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (TIS) (2016) ที่พบว่า พริกสดมีปริมาณสารพิษตกค้างทางการเกษตรเกินมาตรฐานมากขึ้นในทุกปี โดยสำนักข่าวอิศรา พบว่าตัวอย่างพริกที่สำรวจมีสารเคมีตกค้างมากถึง 23 ชนิดด้วยกัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Poophalee *et al*. (2016) ที่ตรวจหาสารกำจัดแมลงตกค้างในผักที่จำหน่ายที่ตลาดและห้างสรรพสินค้า ในอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบผักที่มีสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย ร้อยละ 16.00 ผักที่พบการตกค้างในระดับที่ปลอดภัย ร้อยละ 16.00 และผักที่ไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้าง ร้อยละ 45.10 โดยผักที่พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยมากที่สุด คือ พริกขี้หนู รองลงมา คือ กะเพรา ผักที่ไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้างมากที่สุดคือ ผักบุ้งจีน แตงกวา และผักกาดหอม ตามลำดับ (Isranews, 2016)

ปรกชล อู๋ทรัพย์ ผู้ประสานงานเครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดแมลง หรือไทยแพน (Thai-PAN) ได้แถลงผลการตรวจสารกำจัดแมลงตกค้างในผักและผลไม้ ประจำปี 2562 จากการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ (25 มีนาคม - 5 เมษายน 2562) ณ ห้างโมเดิร์นเทรดชั้นนำ เช่น บิ๊กซี แมคโคร ท็อปส์ เดอะมอลล์ และเทสโก้โลตัส รวมไปถึงตลาดสดในจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ อีก 15 แห่ง ได้แก่ กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ ขอนแก่น ยโสธร สระแก้ว จันทบุรี ราชบุรี และสงขลา โดยแบ่งเป็นผัก 15 ชนิด ชนิดละ 12 ตัวอย่าง (ยกเว้นกระเทียมจีนที่เก็บเพียง 10 ตัวอย่าง) รวม 178 ตัวอย่าง เช่น กวางตุ้ง คะน้า กะเพรา พริก กะหล่ำดอก ผักชี และมะเขือเปราะ เป็นต้น และผลไม้อีก 9 ชนิด ชนิดละ 12 ตัวอย่าง รวม 108 ตัวอย่าง เช่น ส้ม ชมพู่ ฝรั่ง องุ่น มะละกอสุก แก้วมังกร แอปเปิล มะม่วงสุก และกล้วยหอม รวมทั้งสิ้นเป็นผักและผลไม้จำนวน 287 ตัวอย่าง พบผักจำนวน 178 ตัวอย่าง ที่มีสารกำจัดแมลงตกค้างเกินกว่ามาตรฐาน ร้อยละ 40.00 พบสารกำจัดแมลงตกค้างแต่ไม่เกินมาตรฐาน ร้อยละ 16.00 และไม่พบสารเคมีตกค้าง ร้อยละ 44.00 ในผักที่พบสารกำจัดแมลงตกค้างเกินมาตรฐานในตัวอย่างมากที่สุด คือ กวางตุ้ง พบสารกำจัดแมลงตกค้างเกินมาตรฐาน 10 ตัวอย่าง รองลงมา คือ คะน้า กะเพรา ผักชี พริก และกะหล่ำดอก ตามลำดับ (ThaiPublica, 2019)

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้แตกต่างจากการสำรวจของสำนักสนับสนุนและส่งเสริมอาหารปลอดภัย สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ที่ตรวจสารกำจัดแมลงตกค้างในผัก จำนวน 113,315 ตัวอย่าง จากทั่วประเทศในปีงบประมาณ 2555 โดยใช้ GT-Test Kit ผลการตรวจพบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยเพียง ร้อยละ 2.85 ผลการศึกษานี้ยังแตกต่างจากการเฝ้าระวังสารกำจัดแมลงตกค้างในผักของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ในผัก 7 ชนิด ได้แก่ คะน้า ถั่วฝักยาว ผักบุ้ง ตำลึง แตงกวา กะหล่ำปลี และผักกาดขาว รวมทั้งหมด 1,593 ตัวอย่าง จากทั่วประเทศระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 - มีนาคม พ.ศ. 2558 ด้วยชุดทดสอบยาฆ่าแมลงในอาหาร GT-Test Kit พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยเพียงร้อยละ 0.4 ทั้งนี้ความแตกต่างที่พบอาจมาจากชนิดของผักตัวอย่าง แหล่งพื้นที่ และช่วงเวลาในการสุ่มเก็บตัวอย่างที่มีความแตกต่างกัน ส่วน Phakakasama *et al*. (2016) ได้มีการตรวจหาสารกำจัดแมลงตกค้างในผักจากตลาดสดและจากห้างสรรพสินค้าในจังหวัดสมุทรปราการ โดยตรวจหาสารกำจัดแมลงตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักตัวอย่างเพียง 5 ชนิดที่จำหน่ายในจังหวัดสมุทรปราการ พบว่า คะน้า พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 80.00 รองลงมา คือ ถั่วฝักยาว พริกสด แตงกวา และมะเขือเปราะ ตามลำดับ

ทั้งนี้ ในปัจจุบันการทำเกษตรอินทรีย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรเริ่มให้ความสนใจ เนื่องจากผู้บริโภคเริ่มหันมาสนใจสุขภาพ ประกอบกับการพบข้อมูลการตรวจพบสารเคมีตกค้างในพืชผลทางการเกษตรจำนวนมากเป็นเหตุผลให้ผู้บริโภคหันมาซื้อผลผลิตที่เป็นเกษตรอินทรีย์กันมากขึ้น ซึ่งมีปริมาณการตกค้างของสารพิษน้อยลงจนถึงไม่พบการตกค้างของสารพิษ ดังเช่น ผักผลไม้ที่ได้ตรารับรองคุณภาพ GAP, GMP พบการตกค้างเหลือร้อยละ 26 ส่วนผักและผลไม้ที่ได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของรัฐ Organic Thailand นั้น ไทยแพนพบการตกค้างของสารพิษ 3 ตัวอย่าง จาก 6 ตัวอย่าง ในขณะที่ตรารับรองเกษตรอินทรีย์อื่น เช่น USDA, EU, Bioagricert, มกท. (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์) สุ่มไม่พบสารพิษตกค้างเกินมาตรฐาน (ThaiPBS News, 2019)

4. สรุปผล

การตรวจสอบตัวอย่างผัก 10 ชนิดที่จำหน่ายตามตลาดสดและห้างสรรพสินค้า ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี พบการตกค้างของสารกำจัดแมลงในสถานที่จำหน่ายผักทั้ง 2 แหล่ง โดยส่วนใหญ่พบการตกค้างของสารกำจัดแมลงแต่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 50.83 รองลงมา คือ พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 32.50 และไม่พบสารกำจัดแมลงตกค้าง คิดเป็นร้อยละ 16.67 ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามชนิดของผัก พบว่า พริกขี้หนู พบสารกำจัดแมลงตกค้างในระดับไม่ปลอดภัยมากที่สุด รองลงมา คือ ต้นหอม แตงกวา และผักกาดหอม ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

Israneews. 2016. **Maximum pesticide residues in chili, Thai Pan indicated "Agriculture Ministry reforms the Q seal of the MSC."** https://www.israneews.org/content-page/item/46704-news_46704.html. Accessed 6 Dec. 2021. (in Thai)

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (TIS). 2016. **Pesticide Residue : Maximum Residue Amount**. https://www.acfs.go.th/standard/ download/MAXIMUM-RESIDUE-LIMITS.pdf. Accessed 5 Dec. 2021. (in Thai)

National Health Security Office (NHSO). 2019. **Pesticide Impacts**. https://www.hfocus.org/content/2019/08/17468. Accessed 3 Dec. 2021. (in Thai)

Occupational Disease Department, Ministry of Public Health. 2010. **Guide farmers disease-free for farmers and village health volunteers**. Printing Agriculture Cooperatives of Thailand: Bangkok. (in Thai)

Phakakasama, P., Saisin, S. and Sutin, S. 2016. **Detection of Organophosphate and Carbamate Pesticides Residues in Vegetables in Samutprakarn Province**. Association of Private Higher Education Institutions of Thailand. 5(1): 22-29. (in Thai)

Poophalee, T., Wongwattanasatean, O., Apasrithonhsakul, S. and Supantee, M. 2016. **Prevalence of pesticide residues in vegetables from the market. and department stores in Muang District, Maha Sarakham Province**. Thai Journal of Pharmacy Practice. 8(2): 399-408. (in Thai)

Subbamre, R. 2014. **Pesticides and Health Effects**. Bangkok: Odeon Store.

Thai-PAN. 2016. **Painful truth problem of pesticide residues in fruits and vegetables in 2016**. https://thaipan.org/highlights/570. Accessed 2 Dec. 2021. (in Thai)

ThaiPBS News. 2019. **The results of the pesticide residue test "Vegetables - Fruits" year 2019 exceeded the standard 41 percent**. https://news.thaipbs.or.th/content/281193. Accessed 2 Dec. 2021. (in Thai)

ThaiPublica. 2019. **"Thai-PAN" opens results of pesticide residues in vegetables and fruits in 2019, indicating that 41.3% is still above the "Orange - Cantonese" standard, the most, raising questions from the government How are banned chemicals still found?** https://thaipublica.org/2019/06/thai-pan-26-6-2562/. Accessed 2 Dec. 2021. (in Thai)

Thoophom, K. 1998. **Handbook of GT-Test Kit for Residues of Pesticides**. Bangkok: Division of Food, Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. (in Thai)

(Received: 8/Dec/2021, Revised: 9/Jun/2022, Accepted: 16/Jun/2022)

การตรวจการคงอยู่และการถ่ายโอนน้ำหอม โดยเทคนิค Dynamic headspace Gas chromatography-flame ionization detector (HS-GC-FID) สำหรับการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

Forensic Application of Headspace Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (HS-GC-FID) to the Examination of Persistence and Transfer of Fragrance

ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง[1] ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี[1] อรทัย เขียวพุ่ม[2] ปิยาภา จันทร์มล[1] และ รักษ์ชนก อินทรสุขศรี[1]

Sirirat Choosakoonkriang[1], Supachai Supalaknari[1], Orathai Kheawpum[2] Piyapa Junmon[1] and Rakchanok Intrarasuksri[1]

[1] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ [2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

[1] Department of Chemistry, [2] Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University,
Nakorn Pathom, Thailand, 73000

E- mail: Sirirat_157@yahoo.com Tel. 087-6647041

บทคัดย่อ

การถ่ายโอนน้ำหอมสามารถใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการจำลองสถานการณ์และยืนยันการสัมผัสกับวัตถุหรือบุคคล งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค Dynamic headspace gas chromatography-flame ionization detector (DHS-GC-FID) ตรวจวัดน้ำหอมบนผ้าฝ้ายสีขาวและที่ถูกถ่ายโอนจากการสัมผัส โดยน้ำหอมถูกหยดลงบนผ้าฝ้ายที่สะอาดเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงก่อนวิเคราะห์ด้วย DHS-GC-FID ผลการวิจัยพบ α-pinene, β-pinene, d-limonene และ terpinene เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำหอม การศึกษาการคงอยู่ของน้ำหอมพบปริมาณหายไปถึง 90% ภายหลังเก็บไว้ 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามยังคงตรวจพบน้ำหอมแม้เก็บผ้าไว้นาน 24 ชั่วโมง (< 5%) การศึกษาพลศาสตร์การถ่ายโอนน้ำหอมกับเวลาของการสัมผัสกับผ้าที่หยดน้ำหอม เมื่อเวลาที่ผ้าสัมผัสกันนานขึ้น (10 - 60 นาที) ตรวจพบจำนวนองค์ประกอบของน้ำหอมมากขึ้นบนผ้าชิ้นที่มาสัมผัส ผลการศึกษาแสดงองค์ประกอบในน้ำหอมที่ระเหยได้ง่ายจะติดอยู่บนผ้าได้ไม่นานและมีโอกาสน้อยที่จะถ่ายโอนไปยังผ้าที่นำมาสัมผัส ผลการทดลองแสดงว่าการใช้วิธีนี้ในการตรวจยืนยันการถ่ายโอนของน้ำหอมอาจช่วยพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ : แก๊สโครมาโทรกราฟี น้ำหอม นิติวิทยาศาสตร์

Abstract

Transferred trace fragrances can properly be used in forensic reconstruction scenarios and can help to identify contacts between objects or people. The aim of this work was to study the application of Dynamic Headspace Gas Chromatography equipped with flame Ionization detector (DHS-GC-FID) to the detection of perfume traces on fabrics and the transfer of perfume from fabric contact. Perfume were deposited on white cotton swatches and kept at room temperature for 1, 3, 6, 12 and 24 hours before analyzing by DHS-GC-FID. The most often found fragrance ingredients were α-pinene, β-pinene, d-limonene and terpinene. The persistence of perfume on cotton cloths was

investigated. Approximately 90% losses in the contents of all perfume components were observed in the samples collected at 1 hours after deposition. However, the perfume components on the cloths kept for 24 hours were still detected (< 5%). The dynamics of perfume transfer as a factor of perfume contact time was also studied by placing another cotton swatch in contact with the one with perfume deposition. The longer contact time (10 - 60 minutes) contributed to a higher number of perfume components being transferred onto the contact cotton swatch. The results suggested that when the perfume component was more volatile the less persistence of it on the fabric would be and the perfume components was less likely to be transferred onto another swatch. This study demonstrates the capability of the method used to identify the fragrance transfer that may be applicable in cases of forensic examination.

Keywords : Gas Chromatography, Perfumes, Forensic Science

1. บทนำ

ในกระบวนการยุติธรรม พยานหลักฐานสามารถนำมาซึ่งการพิสูจน์ความจริงของคดีนั้น ๆ พยานหลักฐานแบ่งออกเป็นประเภทได้หลายลักษณะ เช่น พยานบุคคล คือ บุคคลที่มาเบิกความต่อศาลด้วยวาจา พยานเอกสาร คือ ข้อความใด ๆ ในเอกสารที่มีการอ้างเป็นพยาน พยานวัตถุ คือ วัตถุสิ่งของที่คู่ความอ้างเป็นพยาน พยานผู้เชี่ยวชาญ คือ พยานบุคคลซึ่งเป็นผู้มีความรู้เชี่ยวชาญในศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่ง (Khmerwe, 2014) นิติวิทยาศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่ผสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้กับพยานหลักฐานประเภทพยานวัตถุ เพื่อประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม สามารถใช้ในการคลี่คลายปัญหา นำมาใช้พิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดีความต่าง ๆ เพื่อผลในการบังคับใช้กฎหมายและการลงโทษ (Techasomboon, 2017) การนำนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในกระบวนการยุติธรรมเริ่มขึ้นในต่างประเทศตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 18 เป็นต้น อาทิเช่น ใช้ลายนิ้วมือในการยืนยันตัวบุคคล ตรวจลักษณะที่แตกต่างกันของปลอกกระสุนปืนที่ยิงออกจากปืนแต่ละกระบอก และการใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุมาเปรียบเทียบกับลายพิมพ์ดีเอ็นเอของผู้ต้องสงสัย เป็นต้น ซึ่งวิธีการตรวจพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เหล่านี้ได้รับการพัฒนามาโดยตลอด และยังคงใช้อยู่อย่างต่อเนื่องเรื่อยมา (Srima, 2020) ปัจจุบันมีการนำนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในกระบวนการยุติธรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถพิสูจน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญคือพยานวัตถุ ซึ่งพยานวัตถุสามารถนำมาพิสูจน์ข้อเท็จจริงที่เกี่ยวพันกับประเด็นแห่งคดีอยู่ในวัตถุพยานเอง การศึกษาหาความสัมพันธ์ของพยานวัตถุที่ได้มีทฤษฎีที่สำคัญที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้กับการพิสูจน์หลักฐาน นั่นคือ Locard’s exchange principle หรือ Locard’s theory เป็นทฤษฎีซึ่งพัฒนาจากแนวความคิดที่ว่า “ทุกการสัมผัสจะมีการทิ้งร่องรอย” (Every contact leaves a trace) โดยมีการพิสูจน์และนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่าง ๆ โดยมีหลักการ คือ เมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น (Forensicchula, 2004)

น้ำหอมมีการใช้กันอย่างแพร่หลายโดยคนจำนวนมาก ทั้งชายและหญิงสวมใส่น้ำหอมในชีวิตประจำวันในหลาย ๆ ประเทศน้ำหอมถูกมองว่าเป็นส่วนที่ขาดไม่ได้ของชีวิตและการเพิ่มจำนวนผู้สวมใส่น้ำหอมในชีวิตประจำวันทั้งชายและหญิงมีมากขึ้น น้ำหอมประกอบไปด้วย น้ำมันหอมระเหย สารประกอบที่ให้กลิ่นหอม แอลกอฮอล์ และน้ำ โดยน้ำหอมให้กลิ่น ซึ่งกลิ่นเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่เบาลอยอยู่ในอากาศ เนื่องจากน้ำหอมเป็นสารเคมีหลายชนิดผสมกันจึงมีกลิ่นที่ผสานกัน โดยกลิ่นของน้ำหอมจะขึ้นอยู่กับการระเหยของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมจะแสดงกลิ่นออกมาในเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของน้ำหอมโดยกลิ่นสารประกอบของกลิ่นหอมที่พบได้ในธรรมชาติ เช่น อัลดีไฮน์และคีโตน โมเลกุลเหล่านี้มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงถูกนำมาใช้เป็นต้นแบบของสารสังเคราะห์ที่เป็นส่วนผสมในน้ำหอม (Katajit, 2018) เนื่องจากน้ำหอมมีส่วนประกอบที่ระเหยได้โดยธรรมชาติ

โดยสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำหอม ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะระเหยเร็วกว่าองค์ประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ เนื่องมาจากความสามารถในการกลายเป็นไอที่แตกต่างกัน ผิวหนังและเสื้อผ้าสามารถดูดซับน้ำหอมได้อย่างง่ายดายจากการใช้โดยตรง หรือการสัมผัสกับวัตถุที่มีกลิ่นหอมหรือสัมผัสกับอากาศที่มีสารเคมีที่เป็นส่วนผสมในน้ำหอม (Davidson, 2017; Kasting et al., 2007)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับการใช้งานทางนิติวิทยาศาสตร์ ที่มีเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยของ Rastogi et al. (1995) ได้ศึกษาการวิเคราะห์น้ำหอมในเครื่องสำอางด้วยเทคนิค Gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) โดยทำการศึกษาองค์ประกอบในเครื่องสำอางเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีที่อาจทำให้เกิดอาการแพ้ ซึ่งได้ศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างการตั้งสภาวะการทดลองที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบที่ระเหยง่าย และในงานวิจัยของ Gordon และ Coulson ในปี 2004 ได้ตรวจสอบแป้งรองพื้น ที่เป็นเครื่องสำอางที่พบบ่อย และง่ายต่อการถ่ายโอนไปยังเสื้อผ้าโดยวิเคราะห์รอยเปื้อนของแป้งรองพื้น ตัวอย่าง 53 ชนิด ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Gas-Chromatography (GC-FID) และการวิเคราะห์ X-ray ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX) พบว่า เครื่องสำอางที่เปื้อนบนผ้าแค่ 5 ตารางมิลลิเมตร ก็สามารถตรวจพบได้ และสามารถจำแนกชนิดได้ โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเหล่านี้ โดยเทคนิค FTIR, GC-FID และ SEM-EDX สามารถจำแนกความถูกต้อง คือ 98.3, 93.8 และ 82.0% ตามลำดับ และถ้าใช้เทคนิคทั้งสามนี้รวมกัน สามารถจำแนกได้ถึง 99.7% นอกจากนี้ในปี 2010 Snow และ Bullock ใช้เทคนิค Static headspace extraction-gas chromatography (SHE-GC) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ง่าย ศึกษาการตรวจวัดน้ำหอมได้มีการศึกษาวิธีการในการวิเคราะห์ของวิธี SHE-GC ให้มีค่า sensitivity เพิ่มขึ้น เพื่อขยายช่วงการใช้งานของ SHE-GC และเพื่อพัฒนาวิธีการให้เป็นระบบมากขึ้น

Gherghel et al. (2016) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหอมโดยใช้เทคนิค Gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) เพื่อการวิเคราะห์ร่องรอยของน้ำหอม มีการทดสอบพลวัตของการถ่ายโอนน้ำหอมเพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ผลการทดลองพบว่าเวลาที่ผ้าสัมผัสกับน้ำหอมมีผลต่อปริมาณน้ำหอมที่ตรวจวัดได้ นอกจากนี้เวลาที่ผ้าสัมผัสกับน้ำหอมส่งผลต่อองค์ประกอบของน้ำหอมที่เกิดการถ่ายโอน การศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าการสัมผัสสั้น ๆ เพียง 1 นาทีสามารถถ่ายโอนองค์ประกอบของน้ำหอมจำนวนมากได้ Gherghel et al. (2018) ได้พัฒนาการตรวจร่องรอยของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยวิธีการรวมกันของ headspace solid phase micro extraction (HS-SPME) และ chromatography - mass spectrometry (GC-MS) โดยศึกษาเวลาการสกัด และอุณหภูมิการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสาร VOC มีการตรวจสอบความถูกต้องของวิธี เช่น ช่วงการวิเคราะห์ขีดจำกัดของการตรวจวัดและการหาเชิงปริมาณ ความแม่นยำ เป็นต้น วิธีง่าย ๆ ที่มีความไวสูงและมีความทนทานนี้มีศักยภาพที่จะเป็นตัวแทนของวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจสอบน้ำหอมได้ ต่อมา Gherghel et al. (2019) ได้ทำการทดลองการถ่ายโอนน้ำหอมระหว่างผ้าสองชิ้นและนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค solid phase micro-extraction gas chromatography - mass spectrometry (SPME GC-MS) โดยศึกษาถึงระยะเวลาการคงอยู่ของน้ำหอมระยะเวลาในการสัมผัสและระยะเวลาการเสื่อมของน้ำหอมบนผ้าชิ้นแรกก่อนที่จะถ่ายโอนบนผ้าชิ้นที่สอง การทดลองพบว่าผ้าชิ้นที่สองสามารถตรวจพบน้ำหอมได้แม้เวลาสัมผัสระหว่างผ้าสองชิ้นจะสั้นเพียง 10 วินาทีและแม้ว่าน้ำหอมจะมีอายุมากขึ้นบนผ้าหลักนานถึง 48 ชั่วโมง

ปัญหาการก่อคดีข่มขืนในประเทศไทย ถือว่าเป็นคดีที่เกิดขึ้นและส่วนใหญ่จะยากต่อการจับตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษ โดยมีผลสำรวจในปี พ.ศ. 2552-2556 มีการจับกุมได้เพียง 2,400 คดี จากที่แจ้งความไว้ทั้งหมด 4,000 คดี อย่างไรก็ตามจากการสำรวจสถิติอาชญากรรมภาคประชาชน (crime victimization survey) มีผู้หญิงตกเป็นเหยื่อของการถูกข่มขืนมากถึง 31,886 ราย คิดเฉลี่ยเป็น 87 รายต่อ 1 วัน หรือในทุก ๆ 15 นาทีจะมีเหยื่อจากการข่มขืน 1 ราย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ไม่มีการแจ้งความกับตำรวจถึงประมาณ 87% (Aunahagate, 2014) ดังนั้นการหาพยานหลักฐานที่สามารถชี้ตัวผู้กระทำความผิดโดยปราศจากข้อสงสัยให้ศาลพิจารณาจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากการสัมผัสใกล้ชิด

ระหว่างเหยื่อและผู้ต้องสงสัยในระหว่างการข่มขืน การวิเคราะห์กลิ่นหอมมีศักยภาพที่จะเป็นเครื่องมือทางนิติวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมที่สามารถใช้ในการปะติดปะต่อเรื่องราวที่เกิดขึ้นและอาจระบุประเภทของการติดต่อและระยะเวลาตั้งแต่ติดต่อได้ อย่างไรก็ตามสิ่งนี้จำเป็นต้องได้รับจากการศึกษาทดลองเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหอมในรูปแบบของหลักฐาน

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักคือเพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Dynamic headspace gas chromatography-flame ionization detector (DHS-GC-FID) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ที่ช่วยในการวิเคราะห์น้ำหอมจากเสื้อผ้าและศึกษาการคงอยู่ของน้ำหอมภายหลังการถ่ายโอน โดยการถ่ายโอนน้ำหอมสามารถเลียนแบบการถ่ายโอนน้ำหอมระหว่างเสื้อผ้าหรือระหว่างบุคคลเพื่อประเมินความสามารถในการตรวจจับของน้ำหอมที่ถูกถ่ายโอนได้ นอกจากนี้การถ่ายโอนน้ำหอมเป็นกระบวนการที่ไม่หยุดนิ่ง การศึกษานี้จึงต้องการทดสอบสมมติฐานที่ว่าอายุของน้ำหอมเพิ่มขึ้นนำไปสู่การตรวจพบของสารเคมีที่มีมวลโมเลกุลที่หนักกว่าบนเสื้อผ้าชิ้นที่สอง และระยะเวลาที่ผ้าสัมผัสกัน จะมีอิทธิพลของปริมาณของน้ำหอมที่ตรวจพบไปยังผ้าชิ้นที่สองเพื่อใช้ในการระบุหรือตรวจสอบอ้างอิงตัวบุคคลจากวัตถุพยานประเภทกลิ่นหรือสารที่สามารถระเหยได้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

2. วิธีการทดลอง

2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID)) รุ่น TRACE 1300 จากบริษัท Thermo SCIENTIFIC ประกอบกับอุปกรณ์ฉีดสารตัวอย่างอัตโนมัติ ITEX Dynamic Headspace Tool for TriPlus™ RSH Autosampler คอลัมน์ที่ใช้ BPX-5 (30m × 0.25 i.d.; 5% phenyl/ 95% methyl polysilphenylene), เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคสเปคโทรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Flame ionization Detector/Mass spectrometer) รุ่น Trace 1310 GC จากบริษัท Thermo SCIENTIFIC ประกอบกับคอลัมน์ TraceGOLD TG-5MS GC Columns (30 m x 0.25 mm x 0.25 μm), ขวดสำหรับฉีดสารตัวอย่าง (Head-space Vial) , ผ้าฝ้าย 100 %, น้ำหอมแบรนด์จากต่างประเทศ (Sample A, B, C, D, E) และน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F, G, H, I, J) ซึ่งเลือกซื้อจากร้านจำหน่ายน้ำหอมตามท้องตลาดและร้านจำหน่ายน้ำหอมทางออนไลน์

2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์น้ำหอมด้วยเทคนิค In-Tube Extraction Dynamic Headspace Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (ITEX-DHS-GC-FID)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหอมเพื่อให้ได้สภาวะการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการแยกพีคของแต่ละองค์ประกอบ การทดลองโดยการเปลี่ยนอุณหภูมิของคอลัมน์เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือ อุปกรณ์ และมีประสิทธิภาพในการแยกพีค แสดงดังตารางที่ 1 ทำการวิเคราะห์โดยปิเปตตัวอย่างน้ำหอมปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดสำหรับฉีดสารตัวอย่าง (Head space-Vial) ขนาด 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID โดยตั้งอุณหภูมิอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างให้ระเหยกลายเป็นไอ (Incubator) ที่ 40°C เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิเข็มสำหรับฉีดสารตัวอย่าง 45°C ปริมาตรในการนำเข้าสารตัวอย่าง 500 ไมโครลิตร อุณหภูมิบริเวณฉีดสารตัวอย่าง (Injector) 250°C ตั้งอัตราการนำสารเข้า (Split ratio) ที่ 5:1 อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที แก๊สตัวพาที่ใช้คือฮีเลียม (Helium) และอุณหภูมิของตัวตรวจวิเคราะห์ (Detector) 300°C ทำการทดลองกับน้ำหอมทั้ง 10 ตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 1 สภาวะสำหรับการตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ใช้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID

สภาวะที่	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง
1	เริ่มต้นที่ 30°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 30°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 20°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 240°C เป็นเวลา 0.5 นาที
2	เริ่มต้นที่ 40°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 40°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 20°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 240°C เป็นเวลา 1 นาที
3	เริ่มต้นที่ 60°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 60°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 20°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 240°C เป็นเวลา 1 นาที
4	เริ่มต้นที่ 30°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 30°C ถึง 60°C ด้วยอัตรา 10°C/นาที และเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกครั้งจาก 60°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 20°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 240°C เป็นเวลา 1 นาที

2.3 ศึกษาองค์ประกอบในน้ำหอมด้วย GC-MS

นำน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศและน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่นที่เลือกมาศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำหอมแต่ละองค์ประกอบโดยเทคนิค GC-MS เพื่อให้ทราบถึงสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำหอม โดยวิเคราะห์โดยใช้ สภาวะการทดลอง อุณหภูมิบริเวณฉีดสารตัวอย่าง (Injector) 250°C ตั้งอัตราการนำสารเข้า (Split ratio) ที่ 5:1 ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สสำหรับพาสารตัวอย่างเข้าคอมลัมน์ไปจนถึงตัวตรวจวิเคราะห์ อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้ง Solvent Delay 3 นาที และตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 30°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 30°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 25°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 290°C เป็นเวลา 15 นาที ปริมาณสารที่ฉีดเข้าคอลัมน์มีปริมาตร 1 ไมโครลิตร ตั้งอุณหภูมิส่วนที่ไอของสารผ่านระหว่างเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟีกับเครื่องแมสสเปคโทรมิเตอร์ (Transfer Line) และบริเวณที่เกิดไอออน (Ion Source) ที่ 290°C วิธีที่ทำให้ไอของสารกลายเป็นไอออนคือ Electron Ionization (EI) ซึ่งตั้งค่าพลังงานอยู่ที่ 70 eV ค่ามวลต่อประจุ (m/z) ที่ใช้วิเคราะห์อยู่ในช่วง 10-400 amu. ตั้งค่าอัตราการวิเคราะห์ข้อมูลอยู่ที่ 2 spectra/s โดยเส้นสเปกตรัมจะเทียบกับโปรแกรม National Institute of Standards and Technology (NIST) รุ่น 2.3 เพื่อใช้เปรียบเทียบรูปแบบการแตกมวลของสารตัวอย่างกับข้อมูลของสารที่มีอยู่ในโปรแกรม

2.4 การวิเคราะห์การคงอยู่ของน้ำหอมด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID

ผ้าฝ้าย 100% ซึ่งถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจาก ผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่นิยมใช้สำหรับทำเครื่องแต่งกายในชีวิตประจำวัน โดยในการศึกษาครั้งนี้นำผ้ามาตัดเป็นชิ้นขนาด 3 x 3 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปวางบนกระจกนาฬิกาที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วปิเปตน้ำหอมตัวอย่างหยดลงไปบนผ้าปริมาตร 100 ไมโครลิตร โดยปริมาตรของน้ำหอม และพื้นที่ของผ้าที่ใช้จำลองมาจากการใส่น้ำหอมของบุคคลทั่วไป ซึ่งเป็นการฉีดน้ำหอมบริเวณข้อพับแขนหรือบริเวณซอกคอ ซึ่งการฉีดน้ำหอม 1 สเปรย์ คิดเป็นปริมาตรน้ำหอมประมาณ 300 ไมโครลิตร และมีพื้นที่สัมผัสประมาณ 3 x 9 เซนติเมตร แล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างผ้าที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับภายหลังการหยดน้ำหอม หลังจากนั้นนำชิ้นผ้าใส่ลงในขวด Head space แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3 นำ Chromatogram ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผล การทดลองต่อไป ทำการทดลองซ้ำกับตัวอย่างน้ำหอมทั้ง 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง

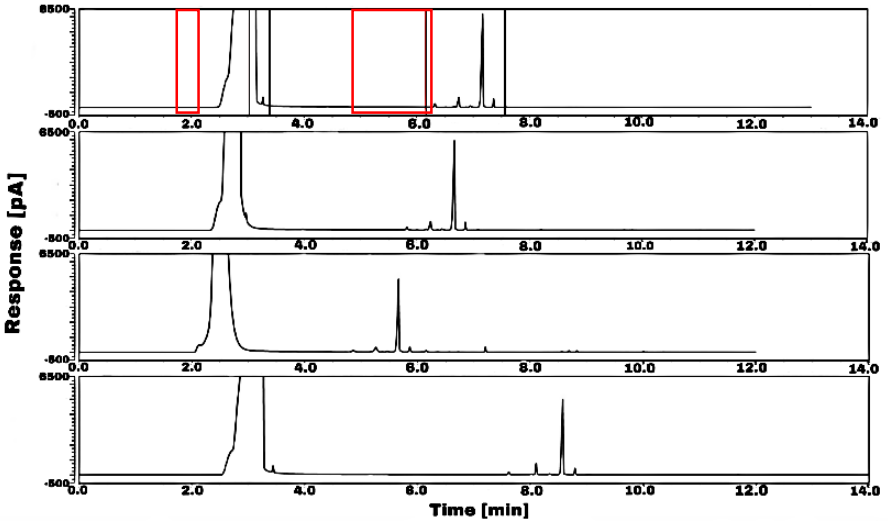
2.5 การวิเคราะห์การถ่ายโอนของน้ำหอมด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID

ตัดผ้าฝ้าย 100% ขนาด 3 x 3 เซนติเมตร มา 2 ชิ้น โดยชิ้นแรกนำไปวางบนกระจกนาฬิกาที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ปิเปตน้ำหอมตัวอย่างหยดลงไปบนผ้าปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นนำผ้าชิ้นที่สองมาวางทับบนผ้าชิ้นที่ 1 จากนั้นปิดทับด้วยกระจกนาฬิกาอีกหนึ่งชั้น วางวัตถุน้ำหนัก 1 กิโลกรัมทับบนกระจกนาฬิกา ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที, 30 นาที, และ 60 นาที เก็บตัวอย่างผ้าชิ้นที่สองใส่ลงในขวด Head space แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID โดยตั้งสภาวะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3 นำ Chromatogram ที่

ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป ทำการทดลองซ้ำกับตัวอย่างน้ำหอมทั้ง 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง

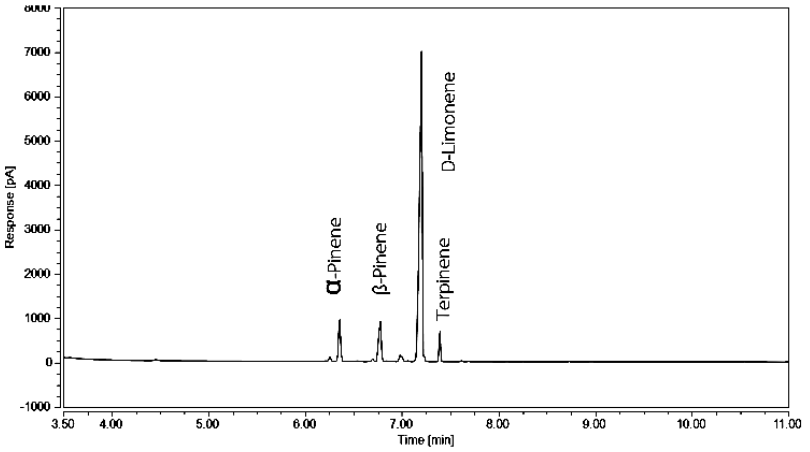
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เมื่อนำน้ำหอมมาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์น้ำหอม ได้ Chromatogram ของพีคต่าง ๆ ที่แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอม ดังแสดงในภาพที่ 1 แสดง Chromatogram ของตัวอย่างน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ (Sample A) โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง คือ เริ่มต้นที่ 30°C คงไว้ 1 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 30°C ถึง 240°C ด้วยอัตรา 20°C/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 240°C เป็นเวลา 0.5 นาที ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Chromatogram แสดงพีคของน้ำหอมเมื่อตั้งสภาวะอุณหภูมิคอลัมน์ที่สภาวะที่ (1) (2) (3) และ (4) ในตารางที่ 1 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลของ Chromatogram ของตัวอย่างน้ำหอมเมื่อตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ต่าง ๆ พบว่าเมื่อตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ในสภาวะการทดลองที่ 1 ให้ผลที่เหมาะสมที่สุด โดยสังเกตจากพีคแรกที่เวลา 3.301 นาที สามารถแยกออกจากพีคของตัวทำละลายชัดเจนและเมื่อเทียบกับสภาวะการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งเมื่อสังเกตจากพีคเมื่อเวลา 6-8 นาที (ภาพที่ 2) จะเห็นลักษณะของพีคที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างน้ำหอมชัดเจน ไม่ซ้อนทับกัน และใช้เวลาน้อยกว่าในการวิเคราะห์ เมื่อเทียบกันกับสภาวะการทดลองที่ 4 ดังนั้นสภาวะที่ 1 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะในการนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหอมต่อไป



ภาพที่ 2 Chromatogram ของน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ (Sample A) ที่ช่วงเวลา 3.50 - 11.00 นาที จากเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย Retention time (min) ขององค์ประกอบในน้ำหอม

Name	Average Retention Time (min) (n=3)	Standard Deviation
α-Pinene	6.327	0.022
β-Pinene	6.748	0.021
D-Limonene	7.169	0.026
Terpinene	7.364	0.021

เมื่อพิจารณาตัวอย่าง Chromatogram ของน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ (Sample A) จากเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ที่แสดงดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าพีคแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ สามารถทำการวิเคราะห์ภายในเวลา 11 นาที จาก Chromatogram ของน้ำหอมตัวอย่างนี้ พบพีคที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำหอมทั้งหมด อยู่ 4 พีค และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของน้ำหอมโดยใช้เทคนิค GC-MS โดยใช้การเปรียบเทียบกับการแตกมวลของพีคที่ Retention time ต่าง ๆ กับสารองค์ประกอบต่าง ๆ ในฐานข้อมูล MS ได้ผลการทดลองว่าองค์ประกอบหลักของน้ำหอมปรากฏพีคที่สูง ซึ่งทั้ง 4 องค์ประกอบนี้คือ α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, และ Terpinene (ตารางที่ 2) และเมื่อทำการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำหอมทั้ง 10 ตัวอย่าง ได้ผลการทดลองโดยแสดงเฉพาะองค์ประกอบหลักที่สำคัญเป็นองค์ประกอบในน้ำหอม ดังแสดงในตารางที่ 3

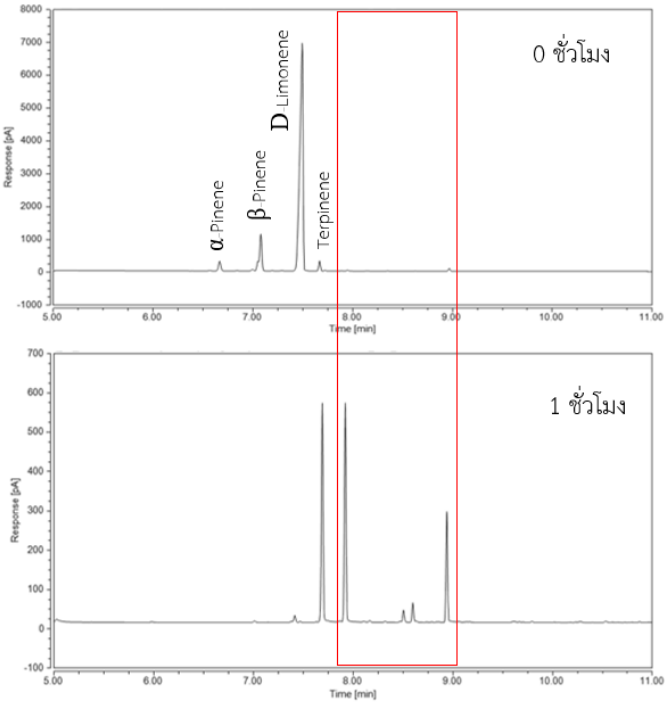
ตารางที่ 3 องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำหอมตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด

ชนิดน้ำหอม	องค์ประกอบที่สำคัญ
Sample A	α-Phellandrene, α-Pinene, Humulene, β-Pinene, trans- α-Bergamotene, D-Limonene, Terpinene
Sample B	α-Pinene, Santolina triene, β-Phellandrene, β-Pinene, β-Ocimene, D-Limonene, Terpinene
Sample C	Butanoic acid, α-Pinene, β-Phellandrene, β-Pinene, o-Cymene, Terpinene, Linalool, 3-Carene, Methyleugenol
Sample D	α-Pinene, 3-Carene, β-Pinene, o-Cymene, Terpinene, Linalool, Santolina triene
Sample E	α-Phellandrene, α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, Terpinene, o-Cymene
Sample F	α-Pinene, Santolina triene β-Pinene, D-Limonene, Terpinene, Linalool, 3-Carene, Methyleugenol
Sample G	α-Pinene, β-Pinene, o-Cymene, D-Limonene, Terpinene, trans-Rose oxide Methyleugenol

ชนิดน้ำหอม	องค์ประกอบที่สำคัญ
Sample H	Ethanolamine, 3-Carene, α-Pinene, α-Asarone, β-Myrcene, D-Limonene, Terpinene
Sample I	α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, Santolina triene
Sample J	α-Pinene, β-Phellandrene, β-Pinene, o-Cymene, D-Limonene, Terpinene

จากตารางที่ 3 พบว่าในน้ำหอมส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีองค์ประกอบพื้นฐานเดียวกันทั้ง 4 องค์ประกอบ นั่นคือ α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, และ Terpinene ผลการทดลององค์ประกอบหลักที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rastogi et al. (2001) ซึ่งพบสารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลักที่พบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหอมเป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ทั่วไปในครัวเรือนและสำนักงานนั่นเอง นอกจากองค์ประกอบทั้ง 4 แล้วจะมีพีคของสารที่เป็นองค์ประกอบอื่น ๆ ปรากฏขึ้นหลายสิบพีคซึ่งขึ้นอยู่กับตามกลิ่นและส่วนผสมที่แตกต่างกันของน้ำหอมแต่ละชนิด น้ำหอมแต่ละกลิ่นจึงมีองค์ประกอบที่หลากหลายและมีองค์ประกอบที่เฉพาะ ซึ่งในน้ำหอมแต่ละแบรนด์จะให้กลิ่นของน้ำหอมมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งแต่ละพีคที่มีความเฉพาะเจาะจงกับน้ำหอมแต่ละตัว ผลการทดลองนี้อาจจะมีประโยชน์ในการยืนยันชนิด ยี่ห้อของน้ำหอมได้ และสามารถใช้พิสูจน์น้ำหอมแบรนด์แท้และน้ำหอมปลอมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teodoro et al. (2017) โดยเมื่อนำน้ำหอมไปศึกษาด้วยเทคนิค paper spray mass spectrometry พบว่าที่ตำแหน่งของพีคที่ปรากฏที่ Retention time เดียวกันจะสามารถระบุได้ว่าเป็นสารเคมีตัวเดียวกันแต่ปริมาณหรืออัตราส่วนที่ผสมในน้ำหอมจะแตกต่างกันและจะปรากฏที่พื้นที่ใต้พีคที่ไม่เท่ากัน และเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Rastogi et al. (1995) ที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมในเครื่องสำอางด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟฟี

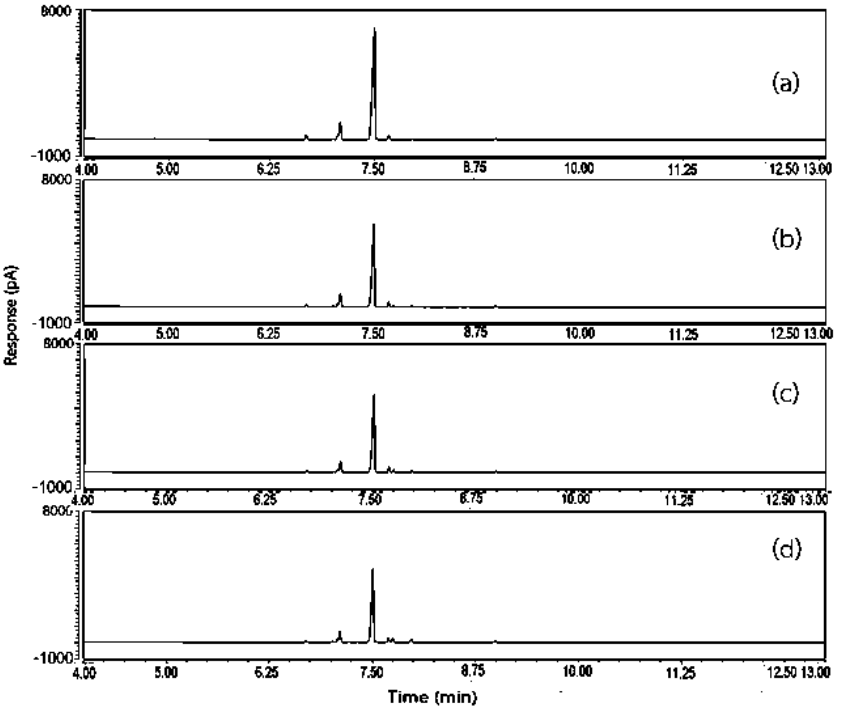
ในการทดลองวิเคราะห์การคงอยู่ของน้ำหอม ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID โดยการฉีดน้ำหอมลงบนผ้าฝ้ายแล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างผ้าที่เวลา 0 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับเพื่อ นำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ได้ผล Chromatogram ดังตัวอย่างของน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ (Sample A) แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Chromatogram ของน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ (Sample A) เมื่อฉีดลงบนผ้าแล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างผ้ามาวิเคราะห์ที่เวลา 0 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง

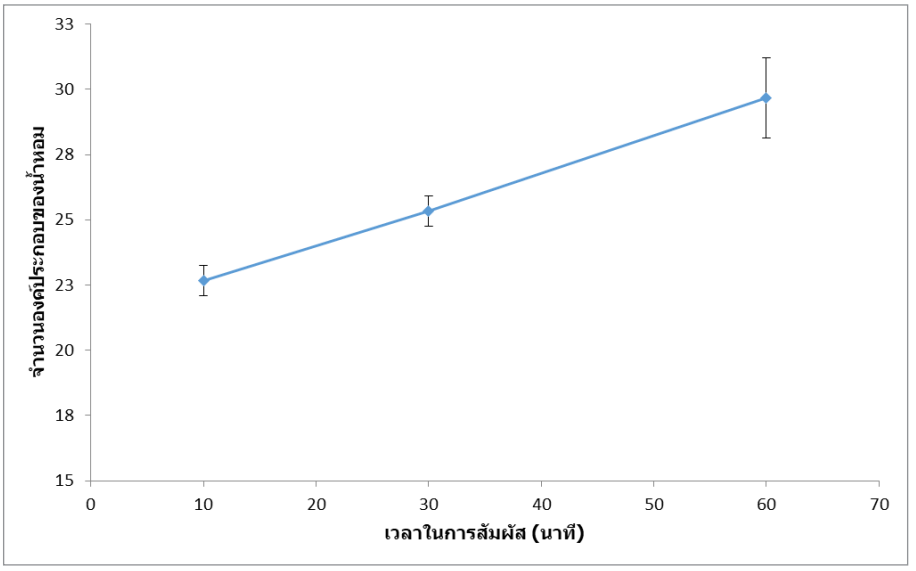
จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพีคที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำหอมทั้ง 4 พีคคือ α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene และ Terpinene ที่แสดงใน Chromatogram ที่เวลา 6.00-8.00 นาที แสดงพื้นที่พีคที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อปล่อยทิ้งไว้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารประกอบทั้ง 4 มีปริมาณหายไปประมาณมากกว่า 90% และภายหลังจากปล่อยทิ้งไว้นาน 3 ชั่วโมง ปริมาณสารดังกล่าวหายไปมากกว่า 95% และเมื่อพิจารณา Chromatogram ที่เวลา 7.30 - 9.00 นาที ในภาพที่ 3 ยังคงตรวจพบองค์ประกอบอื่น ๆ ของน้ำหอมจำนวนหนึ่ง ที่เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ซึ่งคาดว่าจะเป็นสารองค์ประกอบที่มีความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอได้ช้ากว่าสารกลุ่มแรก อย่างไรก็ตามยังคงตรวจพบองค์ประกอบอื่น ๆ ของน้ำหอมจำนวนหนึ่ง ที่มีความสูงของพีคต่ำมาก แม้จะเก็บผ้าไว้ที่อุณหภูมิห้องนานถึง 24 ชั่วโมง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Chromatogram ของน้ำหอมที่เวลาเริ่มต้น ซึ่งเมื่อทดสอบกับน้ำหอมตัวอย่างอื่น ๆ ทั้งหมด 10 ตัวอย่างก็พบผลการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gherghel et al. (2018) ที่ได้ทำการวิเคราะห์สารประกอบของน้ำหอมที่ระเหยง่าย ซึ่งผลการทดลองตรงกันคือมีส่วนประกอบของน้ำหอมที่ระเหยไปเมื่อปล่อยผ้าทิ้งไว้ทำให้องค์ประกอบบางตัวไม่สามารถตรวจพบได้ ทั้งนี้อุณหภูมิในการปล่อยให้น้ำหอมระเหยก็มีผลต่อชนิดขององค์ประกอบนั้น ๆ

การวิเคราะห์การถ่ายโอนของน้ำหอมด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID โดยการฉีดน้ำหอมลงบนชิ้นผ้าฝ้ายขนาด 3 x 3 เซนติเมตร (ผ้าชิ้นที่ 1) จากนั้นนำผ้าฝ้ายอีกชิ้นหนึ่ง (ชิ้นที่ 2) ที่มีขนาดเท่ากันมาวางทับกันแล้วกดทับให้แนบสนิทด้วยขวดที่มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างผ้าชิ้นที่สองมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ที่เวลา 10 นาที 30 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ ได้ผลการทดลองแสดง Chromatogram ดังตัวอย่างของน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) แสดงในภาพที่ 4

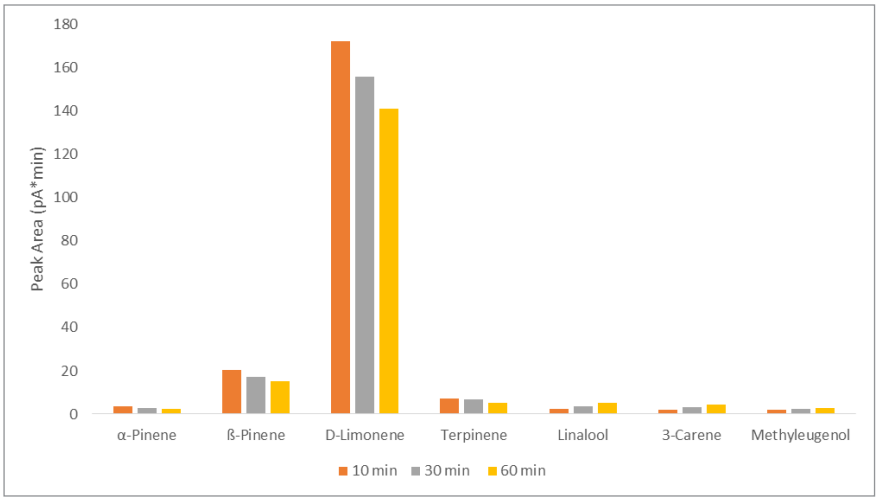


ภาพที่ 4 Chromatogram ของน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) ที่วิเคราะห์จากผ้าชิ้นที่ 1 (a) ที่เวลา 0 ชั่วโมง และ Chromatogram ของน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) ที่วิเคราะห์จากผ้าชิ้นที่ 2 ภายหลังวางทับบนผ้าชิ้นที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ คือ (b) ที่เวลา 10 นาที (C) ที่เวลา 30 นาที และ (d) ที่เวลา 60 นาที ตามลำดับ

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณา Chromatogram ของน้ำหอมบนผ้าชิ้นที่สอง พบพีคขององค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมที่ถูกถ่ายโอนมายังผ้าชิ้นที่สอง ที่ retention time ต่าง ๆ จากภาพที่ 4 แสดงตัวอย่าง Chromatogram ภาพที่ 4 (a) พบพีค α-Pinene ที่เวลา 6.687 นาทีและ D-Limonene ที่เวลา 7.252 นาที บนผ้าชิ้นที่ 1 แต่ที่เวลาเดียวกันบนผ้าผืนที่ 2 ภาพที่ 4 (b) พบพีคดังกล่าวแสดงถึงการถ่ายโอนจากผ้าชิ้นที่ 1 ไปยังผ้า ชิ้นที่ 2 เมื่อผ้าสัมผัสกันนาน 10 นาที และเมื่อเวลาในการสัมผัสนานขึ้นเป็น 60 นาที ภาพที่ 4 (d) ก็ยังคงพบพีคทั้งคู่นี้ เมื่อพิจารณาปริมาณการถ่ายโอนของน้ำหอมพบว่า ปริมาณของน้ำหอมบนผ้าชิ้นที่ 2 มีพื้นที่ใต้พีคลดลงเมื่อเทียบกับพื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบนั้น ๆ บนผ้าชิ้นที่ 1 ในทุกองค์ประกอบในน้ำหอม เนื่องจากการถ่ายโอนมีบางส่วนเท่านั้นที่ถูกถ่ายโอนไป ซึ่งเมื่อพิจารณาจากจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดพบว่าการถ่ายโอนนั้นไม่ครบทุกองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่นสำหรับน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น F ที่เวลา 0 ชั่วโมง บนผ้าชิ้นที่ 1 พบพีคซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมทั้งหมด 50 พีค แต่เมื่อพิจารณา Chromatogram ของน้ำหอมบนผ้าชิ้นที่ 2 พบว่าเมื่อผ้าสัมผัสกับผ้าชิ้นที่ 1 นาน 10 นาที พบพีคองค์ประกอบของน้ำหอมเพียง 23 องค์ประกอบ หรือคิดเป็น 46% ที่ถ่ายโอนจากชิ้นที่ 1 ไปชิ้นที่ 2 และเมื่อเวลาในการสัมผัสกันของผ้านานขึ้นจาก 10 นาทีเป็น 60 นาที ก็จะพบจำนวนองค์ประกอบของน้ำหอมที่เพิ่มขึ้นเป็น 30 องค์ประกอบ จำนวนที่เพิ่มคิดเป็น 14% แสดงดังตัวอย่างการพลอตกราฟระหว่างจำนวนองค์ประกอบของน้ำหอมที่เกิดขึ้นบนผ้าชิ้นที่สองของน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) กับเวลาในการสัมผัสกันของผ้าในภาพที่ 5 ผลการศึกษานี้แสดงว่าเมื่อองค์ประกอบของน้ำหอมที่ระเหยได้ง่ายก็จะคงติดอยู่บนผ้าได้น้อยและองค์ประกอบนี้มีโอกาสน้อยที่จะถ่ายเทไปยังแผ่นผ้าตัวอย่างที่นำมาสัมผัส และยังปรากฏกระบวนการระเหยหายไปขององค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมเกิดขึ้นเมื่อน้ำหอมถูกฉีดทิ้งไว้บนผ้านานขึ้น สังเกตได้จากพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างองค์ประกอบในน้ำหอม ภาพที่ 5 และ 6 พื้นที่ใต้พีคจะลดลงแม้เวลาในการสัมผัสกับผ้าชิ้นแรกนานขึ้น ผลการศึกษานี้ที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gherghel et al. (2018) ที่พบว่ากระบวนการการถ่ายโอนของน้ำหอมบนผ้าขึ้นกับแรงกดและเวลาที่ผ้าสัมผัสกัน



ภาพที่ 5 กราฟระหว่างจำนวนองค์ประกอบของน้ำหอมที่ถ่ายเทลงบนผ้าชิ้นที่สอง (จำนวนพีค) ของน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) กับระยะเวลาเมื่อผ้าชิ้นที่สองสัมผัสกับผ้าชิ้นที่ 1 (mins) (n=3)



ภาพที่ 6 กราฟแท่งแสดงพื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบในน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น (Sample F) ที่วิเคราะห์จาก Chromatogram ขององค์ประกอบต่างๆบนผ้าชิ้นที่ 2 ภายหลังวางทับบนผ้าชิ้นที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์กราฟแท่งแสดงพื้นที่ใต้พีค ซึ่งแสดงถึงปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำหอมที่ถูกถ่ายโอนบนผ้าชิ้นที่ 2 ภายหลังสัมผัสกับผ้าชิ้นที่ 1 ที่เวลาต่าง ๆ (ภาพที่ 6) พบว่าสำหรับพีคบางองค์ประกอบอาทิเช่น α-Pinene, ß-Pinene D-Limonene และ Terpinene เป็นต้น เมื่อระยะเวลาในการที่ผ้าสัมผัสกันเพิ่มขึ้นจาก 10 นาที ไปเป็น 30 นาที และ 60 นาที พบว่าปริมาณขององค์ประกอบในน้ำหอมที่ถ่ายโอนมีค่าลดลง (ภาพที่ 6) เหตุผลของการลดลงอาจเนื่องจากเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นพื้นผิวของชิ้นส่วนผ้าสัมผัสกันนานขึ้นปริมาณการถ่ายเทเพิ่มขึ้น แต่มีกระบวนการระเหยไปขององค์ประกอบนั้น ๆ ในน้ำหอมที่เกิดขึ้นพร้อมกันไปด้วย กระบวนการระเหยเกิดขึ้นเร็ว เพราะโมเลกุลเหล่านี้มีจุดเดือด และความดันไอที่อุณหภูมิที่เท่ากันไม่สูงมาก อย่างไรก็ตามในบางองค์ประกอบ อาทิเช่น Linalool 3-Carene และ Methyleugenol เป็นต้น เมื่อระยะเวลาในการที่ผ้าสัมผัสกันเพิ่มขึ้นจาก 10 นาที ไปเป็น 60 นาที พบว่าปริมาณขององค์ประกอบในน้ำหอมที่ถ่ายเทมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นอาจเป็นเพราะเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นพื้นผิวของชิ้นส่วนผ้าสัมผัสกันนานขึ้นปริมาณการถ่ายเทเพิ่มขึ้น แต่มีกระบวนการระเหยไปขององค์ประกอบนั้น ๆ ในน้ำหอมที่เกิดขึ้นพร้อมกันแต่องค์ประกอบเหล่านี้มีการระเหยได้ช้าเมื่อเทียบกับกระบวนการถ่ายโอนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นนั่นเอง ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้มีจุดเดือดและความดันไอที่อุณหภูมิที่เท่ากันที่สูงกว่าโมเลกุลของ α-Pinene, ß-Pinene D-Limonene และ Terpinene นั่นเอง ดังภาพที่ 6 โดยเมื่อใช้เทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ตรวจวิเคราะห์กับน้ำหอมทั้ง 10 ตัวอย่างก็ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของคุณ Gherghel et al. (2018) ศึกษาโดยพบว่าชนิดของผ้าระยะเวลาในการที่ปล่อยให้ผ้าสัมผัสกันและอุณหภูมิส่งผลต่อการโอนถ่ายน้ำหอม

4. สรุป

การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาการตรวจวิธีการคงอยู่และการถ่ายโอนน้ำหอม โดยเทคนิค ITEX Dynamic Headspace Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (ITEX-DHS-GC-FID) โดยศึกษาจากตัวอย่างน้ำหอมแบรนด์ต่างประเทศ 5 ตัวอย่างและน้ำหอมแบรนด์ท้องถิ่น 5 ตัวอย่างจากการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบหลักของน้ำหอมที่พบบ่อยได้แก่ α-pinene, ß-pinene, d-limonene และ terpinene ซึ่งพบองค์ประกอบเหล่านี้ทั้งหมดในน้ำหอมถึง 6 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาน้ำหอมแต่ละยี่ห้อจะมีองค์ประกอบที่เฉพาะดังนั้นเมื่อพิจารณาจาก Chromatogram ที่ได้จะพบพีคที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่แตกต่างและมีความสูงของพีคที่ไม่เท่ากัน จากการศึกษาพบว่าเทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำหอม ยืนยันชนิดยี่ห้อของน้ำหอม และพิสูจน์น้ำหอมแบรนด์แท้และน้ำหอมปลอมได้

นอกจากนี้จากการศึกษาการคงอยู่ของน้ำหอมบนผ้าฝ้ายตัวอย่าง พบว่าน้ำหอมเมื่อถูกหยดลงผ้ากระบวนการระเหยของน้ำหอมเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองพบพีคที่เป็นองค์ประกอบในน้ำหอมมีพื้นที่ใต้พีคที่ลดลงและเมื่อเวลาปล่อยผ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานขึ้นการระเหยของน้ำหอมยังดำเนินต่อไป พีคของน้ำหอมส่วนใหญ่เริ่มต้นระเหยและปริมาณหายไปประมาณ 90% ภายหลังจากปล่อยทิ้งไว้แค่ 1 ชั่วโมง องค์ประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะสามารถระเหยไปได้เร็วแต่โมเลกุลขนาดใหญ่จะระเหยไปได้ช้าอย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำหอมที่ถูกฉีดไว้บนผ้าที่อุณหภูมิห้องแม้ผ่านไปนานถึง 24 ชั่วโมง ยังคงตรวจพบองค์ประกอบของน้ำหอมจำนวนหนึ่ง ดังนั้น ITEX-DHS-GC-FID สามารถตรวจองค์ประกอบของน้ำหอมบนเสื้อผ้าได้ และจากการศึกษาการถ่ายโอนน้ำหอมบนผ้าฝ้ายสองผืน โดยศึกษาจากระยะเวลาการสัมผัสกันของผ้าทั้งสองชิ้นพบว่ากระบวนการการถ่ายโอนน้ำหอมเป็นกระบวนการพลศาสตร์ มีทั้งกลไกการถ่ายเทองค์ประกอบในน้ำหอมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพื้นผิวของชิ้นส่วนผ้าสัมผัสกันนานขึ้นเมื่อเวลาที่ผ้าทั้งสองชิ้นสัมผัสกันนานขึ้น โดยพบว่าเมื่อเวลาที่ผ้าสัมผัสกันนานขึ้นจำนวนพีค หรือองค์ประกอบของน้ำหอมที่พบก็เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาพบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิค ITEX-DHS-GC-FID ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก วิเคราะห์ได้รวดเร็ว ไม่ต้องเตรียมตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำหอมที่มีปริมาณน้อยบนผ้าผ้ายตัวอย่างและองค์ประกอบของน้ำหอมที่ถูกถ่ายโอนเมื่อผ้าทั้งสองชิ้นมีการสัมผัสกัน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หาหลักฐานเพื่อใช้ในการยืนยันตัวผู้กระทำความผิด เมื่อมีการสัมผัสกันของผู้ต้องสงสัยและเหยื่อ โดยเฉพาะในคดีข่มขืน หรืออาจจะมีการสัมผัสหรือถ่ายโอนกับวัสดุหรือสิ่งของในสถานที่เกิดเหตุ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนสอบสวนกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย โครงการหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขานิติวิทยาศาสตร์ จากกองทุนส่งเสริมและพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์ สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สัญญาเลขที่ SC-FS-2563-01

6. เอกสารอ้างอิง

Aunahagate, I. 2014. **Rape to death: some observations**. Retrieved from https://tdri.or.th/2014/07/rape-and-execute. (In Thai)

Davidson, A. R. 2017. **A study of the potential evidential value of perfumes, antiperspirants and deodorants in forensic science**. Doctoral thesis, Staffordshire University, UK.

Forensicchula. 2004. **Important person, Edmond Locard**. Retrieved from http://www.forensicchula.net/FMJ/journal/topic/locard.pdf. (In Thai)

Gherghel, S., R. M. Morgan, J. F. Arrebola-Liébanas, R. Romero-González, C. S. Blackman, A. Garrido-Frenich and I. P. Parkin. 2018. **Development of a HS-SPME/GC–MS method for the analysis of volatile organic compounds from fabrics for forensic reconstruction applications**. Forensic science international, 290, 207-218.

Gherghel, S., R. M. Morgan, J. F. Arrebola-Liébanas, C. S. Blackman and I. P. Parkin. 2019. **Fragrance transfer between fabrics for forensic reconstruction applications**. Science & Justice, 59(3), 256-267.

Gherghel, S., R. M. Morgan, C. S. Blackman, K. Karu and I. P. Parkin. 2016. **Analysis of transferred fragrance and its forensic implications**. Science & Justice, 56(6), 413-420.

Gordon, A., and S. Coulson. 2004. **The evidential value of cosmetic foundation smears in forensic casework**. Journal of Forensic Science, 49(6), JFS2004176-2004179.

Katajit, P. 2018. **Chemistry of perfume**. Retrieved from https://www.scimath.org/article-chemistry/item/7851-2018-02-22-02-20-01. (In Thai)

Khmerwe. 2014. **Chapter 2 Evidence**. Retrieved from http://khmerwe.blogspot.com/2014/11/44.html. (In Thai)

Rastogi, S., S. Heydorn, J. Johansen and D. Basketter. 2001. **Fragrance chemicals in domestic and occupational products**. Contact dermatitis, 45(4), 221-225.

Rastogi, S. C. 1995. **Analysis of fragrances in cosmetics by gas chromatography-mass spectrometry**. Journal of High Resolution Chromatography, 18(10), 653-658.

Snow, N., and G. Bullock. 2010. **Novel techniques for enhancing sensitivity in static headspace extraction-gas chromatography**. Journal of Chromatography A, 1217(16), 2726-2735.

Srima, S. 2020. **The role of forensic science in the judicial process**. Retrieved from https://library.parliament.go.th/th/radioscript/bthbathnitiwithyasastrkabkrabwnkaryutithrrm. (In Thai)

Teodoro, J., H. Pereira, D. Correia, M. Sena, E. Piccin and R. Augusti. 2017. **Forensic discrimination between authentic and counterfeit perfumes using paper spray mass spectrometry and multivariate supervised classification**. Analytical Methods, 9(34), 4979-4987.

Techasomboon, S. 2017. **Forensic Science and enhancement of justice**. Retrieved from http://www.dsdw2016.dsdw.go.th/doc_pr/ndc_2560-2561/PDF/8546p. (In Thai)

(Received: 8/Sep/2021, Revised: 9/Jun/2022, Accepted: 16/Jun/2022)

การลดปริมาณการส่งมอบสินค้าล่าช้าด้วยการวางแผนและจัดการการผลิต กรณีศึกษา บริษัท ฮิลล์ ไทรบ์ โกโก้ คอฟ จำกัด

Reducing The Number of Delayed Deliveries Through Production Planning and Management: A Case Study of Hill Tribe Cocoa Cof Co., Ltd.

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา จิตรากานต์ ปัญญาวงค์ ณัฐชยา คำปิ่นคำ และ เอกรัตน์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต

Chaiwat Kittidecha, Jittakarn Punyawong, Natchaya Kampinkam, and Ekkarat Rattanadilok Na Phuket

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology lanna, Chaingmai, 50300

E-mail: chaiwatkit@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อลดจำนวนการส่งมอบล่าช้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลยอดขายสินค้าแปรภาพโกโก้ย้อนหลัง 2 ปี (พ.ศ. 2562 - พ.ศ. 2563) จำนวน 10 ผลิตภัณฑ์ เพื่อจัดกลุ่มสินค้าและวัตถุดิบในภาพแบบเอบีซี ทำวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มสินค้าและวัตถุดิบที่เป็นกลุ่มเอและบีเท่านั้น เลือกภาพแบบการพยากรณ์ยอดขายที่เหมาะสม กำหนดสต็อกความปลอดภัย และจัดตารางการผลิตหลักในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 รวมทั้งศึกษาการวางผังคลังสินค้าและวัตถุดิบ ผลการศึกษาพบว่า สามารถจัดผลิตภัณฑ์กลุ่มเอคือ ดาร์กช็อกโกแลต โกโก้บัตเตอร์ ผลิตภัณฑ์กลุ่มบีคือ ผงโกโก้ ไวท์ช็อกโกแลตและช็อกโกแลตมิลด์ ส่วนกลุ่มซีคือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ 5 ผลิตภัณฑ์ กลุ่มสินค้าทั้งกลุ่มเอและบีใช้ภาพแบบการพยากรณ์แบบอิทธิพลฤดูกาลเป็นภาพแบบที่เหมาะสมที่สุด ค่าสต็อกความปลอดภัยเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ในเดือนสิงหาคมมีจัดตารางการผลิตหลักสำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มเอและบีทำให้สามารถส่งมอบสินค้าได้ตรงเวลาทั้งหมด 3 คำสั่งซื้อ ส่วนวัตถุดิบกลุ่มเอคือ เมล็ดโกโก้ ค่าสต็อกความปลอดภัยเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อเดือน ต้นทุนการควบคุมวัสดุคงคลังเท่ากับ 117 บาทต่อปี วัตถุดิบกลุ่มบีคือ กากเมล็ดโกโก้ ซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิต จึงกำหนดใช้การตรวจสอบปริมาณทุก ๆ เดือน และในการปรับปรุงผังคลังสินค้าและวัตถุดิบ ได้เสนอผังการวางตำแหน่งให้เหมาะสมและสะดวกต่อการขนย้ายโดยสินค้ากลุ่มเอ 2 ชนิดมานำเก็บในในตู้แช่เย็น สินค้ากลุ่มบีและซีวางบนชั้นวางของ

คำสำคัญ : การพยากรณ์ยอดขาย ตารางการผลิตหลัก ค่าสต็อกความปลอดภัย

Abstract

This research aims to reduce the number of delayed deliveries by company's case study. Using data on sales of cocoa products in total 10 items for the past 2 years (2019-2020), group products, and raw materials in ABC Analysis, analyze only group A and B, choose an appropriate forecasting model, set safety stock, and schedule the main production in August 2021, including studying the layout of warehouses and raw materials. The results show that Group A products are dark chocolate and cocoa butter, Group B products are cocoa powder, white chocolate, and chocolate milk and Group C products are 5 remainder items. All of group A and B use the Seasonal forecasting model. The safety stock is 1kg per week. In August, the master production schedule has been set, enabling on-time delivery of all 3 orders. Group A's raw material is cocoa beans. The safety stock is 3 kg per month. The inventory control cost is 117 baht per year. Group B raw material is cocoa bean

residue which is a by-product of the production process. There is enough quantity to meet the demand, so it is required to check the quantity every month. To improve warehouse layout and raw materials, a layout has been proposed for suitable placement and ease of transport. A's products were stored in fridge while B's products and B's products were stored on shelves.

Keywords : Sales Forecasting, Master Production Schedule, Safety Stock

1. บทนำ

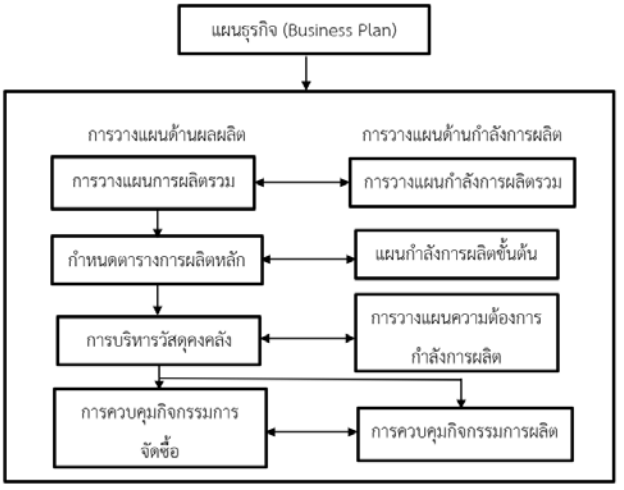
ปัจจัยหลักที่สนับสนุนการสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าประกอบด้วย คุณภาพ สินค้าที่ถูกต้องตามความต้องการของลูกค้า บริการ และการส่งมอบที่ตรงต่อเวลา แต่เนื่องจากความผันผวนของอุปสงค์ หรือความต้องการของลูกค้าในตลาด จึงทำให้ยากต่อการคาดการณ์ความต้องการสินค้าและระดับสินค้าคงคลัง ดังนั้นจึงเกิดปัญหาความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน (Ounmee, 2017) การศึกษาภาพแบบการพยากรณ์ยอดขายที่เหมาะสมถูกนำมาใช้มากในการคาดการณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า ตัวอย่างเช่น การพยากรณ์ปริมาณการใช้อุปกรณ์บรรทุกสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้าบริษัทการบินไทย จำกัด (มหาชน) (Pongpreeda, 2014) การศึกษาภาพแบบการพยากรณ์และการจัดการปริมาณวัสดุคงคลังให้เหมาะสมกรณีศึกษากล่องบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ 1) วิธีการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 2) วิธีการพยากรณ์แบบถ่วงน้ำหนัก 3) วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล 4) วิธีการพยากรณ์แบบวินเตอร์ 5) วิธีการพยากรณ์แบบแยกส่วน แบบพหุบวกและแบบพหุคูณ (Pumkasron and Uraichot, 2015) การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์แบริ่ง โดยใช้ 1) วิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลสองชั้น 2) วิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบเส้นตรง 3) วิธีการบอกซ์และเจนกินส์ (Supanakorn, 2011) การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเพื่อหาปริมาณการผลิตเสาปูนคอนกรีตเสริมเหล็ก 1) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 2) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Thippo et al., 2018) นอกจากการศึกษาภาพแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมแล้ว การวิเคราะห์ความสำคัญของวัสดุคงคลังแบบเอบีซีเป็นสิ่งที่ต้องทำเพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาวัสดุคงคลังที่ได้แก่ สินค้า วัตถุดิบ หรือชิ้นส่วนประกอบ ซึ่งมีหลากหลายรายการถูกนำมาจัดความสำคัญเช่น การประยุกต์ใช้ในการจัดสินค้าคงคลังกลุ่มเครื่องปรุงรสและอาหารแห้งของห้างสรรพสินค้า (Arree et al., 2020) หรือนำเทคนิคเอบีซี กับการคาดการณ์แบบการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ด้วยการวางแผนในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก (Wanlisut, 2018) ใช้ร่วมกับเทคนิคการจำลองสถานการณ์ในการออกแบบผังคลังสินค้าของโรงงานผลิตบล็อกแก้ว (Bunterngchit, 2018) หรือนำมาประยุกต์ใช้ในภาคการบริการในโรงพยาบาลฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (Jansa, 2020)

การจัดตารางการผลิตหลักโดยกำหนดระดับค่าสต็อกเผื่อความปลอดภัยเป็นแผนการที่สำคัญที่เชื่อมโยงระหว่างความต้องการของลูกค้ากับการผลิตสินค้าซึ่งจะกำหนดสินค้าแต่ละรายการที่ต้องผลิต ปริมาณการผลิต และช่วงเวลาที่ต้องผลิต ส่วนสต็อกเผื่อความปลอดภัยคือระดับผลิตภัณฑ์คงคลังที่สำรองไว้เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอนและจะถูกนำมาใช้ในกรณีที่เกิดความต้องการอย่างฉุกเฉินหรือมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ (Lalitaporn, 2013) ถูกนำมาใช้เพื่อลดปัญหาการส่งมอบสินค้าไม่ทันกำหนดเช่นเดียวกัน การจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตขวดพลาสติกแบบที่มีการพิมพ์สี (Pushpakom, 2014) การวางแผนการจัดการโรงงานกล่องขนม สำหรับปริมาณการสั่งผลิตที่ไม่แน่นอนในแต่ละครั้ง (Sottiwan and Munkongtum, 2017) การปรับปรุงการจัดตารางการผลิตแบบมุ่งเน้นกระบวนการโรงงานผลิตชิ้นส่วนทางอากาศยาน (Noiplod and Rattanaamornpin, 2013) เป็นต้น นอกจากการวางแผนและจัดการการผลิตที่กล่าวมาแล้วนั้น การจัดการคลังสินค้าก็เป็นตัวช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ มีการวางตำแหน่งของสินค้าและวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการขนย้าย ลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษา เช่น การจัดผังพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้าของบริษัทชิ้นภาพโลหะ (Thongpoon, 2021) การจัดวางผังคลังบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมน้ำนมถั่วเหลือง (Meethom and Supattarobol, 2021) และออกแบบคลังโรงงานผลิตบล็อกแก้ว (Jansa, 2020)

บริษัทฮิลล์ ไทรบ์ โกโก้ คอฟ จำกัด อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ เป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายต้นกล้าโกโก้รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากเมล็ดโกโก้ มีการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า 2 แบบ คือ 1) คำสั่งซื้อของร้านค้าหรือเฟรนไชส์ในโรงงานนิคมอุตสาหกรรม และ 2) คำสั่งซื้อออนไลน์บนเว็บไซต์ ที่ผ่านมาพบว่ามีการส่งมอบสินค้าล่าช้าอยู่พอสมควร โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าล่าช้าคือความผันผวนของฤดูกาลและเกิดจากการจัดการสินค้าและวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้บางช่วงเวลาวัตถุดิบมีไม่เพียงพอต่อการผลิต พบว่ามีความต้องการสินค้าสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี และมีการส่งมอบสินค้าที่ไม่ตรงต่อเวลามากในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งระยะเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ล่าช้าของบริษัทมีระยะเวลาช้าที่สุดไม่เกิน 3 วัน ทั้งนี้ทางบริษัทได้กำหนดข้อตกลงกับลูกค้าไว้ในกรณีที่มีการส่งมอบล่าช้า โดยทางบริษัทจะทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าฟรีครั้งละ 50 บาท ถึง 100 บาท หรือแถมผลิตภัณฑ์อย่างอื่น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการนำข้อมูลคำสั่งซื้อสินค้าย้อนหลังในอดีตมาวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีจัดกลุ่มภาพแบบเอบีซี ในการจำแนกความสำคัญของสินค้าและวัตถุดิบ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลหาภาพแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม คำนวณค่าสต็อกความปลอดภัยของสินค้า จัดทำตารางการผลิตหลักของสินค้า กำหนดระบบการควบคุมวัสดุคงคลังและค่าใช้จ่ายให้เหมาะสม รวมถึงการจัดวางผังคลังสินค้าและวัตถุดิบเพื่อลดจำนวนการส่งมอบสินค้นที่ล่าช้า

2. วิธีการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้นำแนวทางการวางแผนด้านผลผลิต (ด้านซ้าย) ของแผนธุรกิจในการวางแผนและการบริหารสินค้าคงคลังมาใช้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนธุรกิจ (Lalitaporn, 2013)

จากภาพที่ 1 ในแผนธุรกิจจะแบ่งเป็น 2 ด้านหลัก ๆ คือ 1) การวางแผนด้านผลผลิต และ 2) การวางแผนด้านกำลังการผลิต โดยทั้ง 2 ด้านมีการเชื่อมโยงกันในแต่ละขั้นตอนย่อยเช่น การวางแผนการผลิตรวมและการวางแผนกำลังการผลิตรวม เป็นต้น ในการวิจัยนี้เน้นในด้านการวางแผนกำลังการผลิต โดยขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์ความสำคัญของผลิตภัณฑ์แบบเอบีซี (หัวข้อ 2.1) จากนั้นคัดเลือกเฉพาะผลิตภัณฑ์กลุ่มเอและบีมาหาภาพแบบการพยากรณ์ยอดขายที่เหมาะสม ทำการพยากรณ์ยอดขายในปี 2564 (หัวข้อ 2.2) ซึ่งคือการทำขั้นตอนการวางแผนกำลังการผลิตรวม กำหนดค่าสต็อกเผื่อความปลอดภัย จัดตารางการผลิตหลักในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 (หัวข้อ 2.3) จากนั้นกำหนดภาพแบบการบริหารวัตถุดิบ การวางผังคลังสินค้าและวัตถุดิบ (หัวข้อ 2.4) ซึ่งคือการทำขั้นตอนการบริหารวัสดุคงคลัง

2.1 การวิเคราะห์ความสำคัญของวัสดุคงคลังแบบเอบีซี (ABC Classification)

เป็นหลักการในการจำแนกสินค้าคงคลังออกตามจำนวนเงินของสินค้าคงคลังที่หมุนเวียนในรอบปี เพื่อให้สามารถจัดการกับสินค้าประเภทต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่จำแนกพัสดุคงคลังออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสภาพการของการมีสินค้าคงคลัง แต่ละบริษัทก็จะมีวิธีการ และแนวทางเป็นของตนเอง ตัวอย่างเช่นกลุ่มเอ มีมูลค่ารวมประมาณ 75-80% ของมูลค่าพัสดุคงคลังทั้งหมด กลุ่มบี มีมูลค่ารวม ประมาณ 20-30% และกลุ่มซี มีมูลค่ารวมประมาณ 5-10% (Lalitaporn, 2013)

2.2 การการพยากรณ์ (Forecasting)

เป็นการใช้วิธีการเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อคาดคะเนอุปกรณ์ของสินค้า และบริการในอนาคตของลูกค้าทั้งช่วงระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาว ในการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้กำหนดภาพแบบการพยากรณ์ไว้ 3 วิธีคือ 1) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่อนข้างคงที่ 2) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมที่มีองค์ประกอบแนวโน้ม 3) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมที่มีองค์ประกอบฤดูกาล โดยวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จำนวน 3 ค่าคือค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE)

2.3 การจัดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling : MPS)

แผนการผลิตที่แสดงถึงปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำการผลิตและเวลาที่จะต้องผลิตให้เสร็จสำหรับผลิตภัณฑ์รายการใดรายการหนึ่งหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยจะต้องพิจารณาถึงปริมาณและเวลาในการส่งมอบพร้อมทั้งวัสดุคงคลังในมือ ปัจจัยป้อนเข้าพื้นฐานคือ ผลิตภัณฑ์คงคลังต้นงวด ค่าพยากรณ์ และใบสั่งของลูกค้าที่ได้ทำการยืนยันแล้ว การกำหนดสต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety Stock: ss) คือ ระดับผลิตภัณฑ์คงคลังที่สำรองไว้เพื่อรองรับกับความไม่แน่นอน ซึ่งสามารถกำหนดขึ้นได้จากการพิจารณานโยบายการคำนวณทางสถิติหรือโดยการใช้ประสบการณ์จากผู้บริหาร ดังสมการที่ 1 (Lalitaporn, 2013)

$$ss = \sqrt{\bar{d} \times \overline{LT}} \qquad (1)$$

โดยที่ ss = ค่าสต็อกเพื่อความปลอดภัย

$\bar{d}$ = อัตราความต้องการโดยเฉลี่ยเวลา

$\overline{LT}$ = ช่วงเวลานำโดยเฉลี่ย

2.4 การควบคุมวัสดุคงคลัง (Inventory Control)

วัสดุคงคลังคือวัสดุทุก ๆ รายการที่องค์กรถือครองไว้เพื่อรองรับการดำเนินการทางธุรกิจไม่ว่าจะเป็นเพื่อการผลิตหรือเพื่อการจำหน่าย แต่การมีวัสดุคงคลังมากเกินไปก็ทำให้ต้นทุนจมมากเกินไปและมีค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง แต่ถ้ามีน้อยเกินไปก็อาจทำให้ธุรกิจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้น การควบคุมวัสดุคงคลังจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบรอบเวลาการสั่งคงที่เป็นการควบคุมวัสดุคงคลังที่มีการทบทวนระดับวัสดุคงคลังเป็นรอบเวลาที่คงที่และจะทำการออกใบสั่งวัสดุให้เพียงพอที่จะทำให้ระดับวัสดุคงคลังกลับไปเท่ากับระดับที่ได้กำหนดไว้แล้วช่วงเวลาในการออกใบสั่งแต่ละครั้งจะเท่า ๆ กัน แต่ขนาดรุ่นของการสั่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการใช้ในแต่ละรอบซึ่งสามารถกำหนดรอบเวลาการสั่งที่ประหยัดและต้นทุนการถือครองวัสดุคงคลังต่อปีดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3 (Lalitaporn, 2013)

$$T_0 = \sqrt{\frac{2P}{DhC}} \qquad (2)$$

$$TC = \frac{P}{T_0} + \frac{DT_0}{2}hC \qquad (3)$$

โดยที่ T_0 = รอบเวลาการสั่งที่ประหยัด

TC = ต้นทุนรวมการควบคุมวัสดุคงคลังต่อปี

P = ต้นทุนการสั่งต่อครั้ง

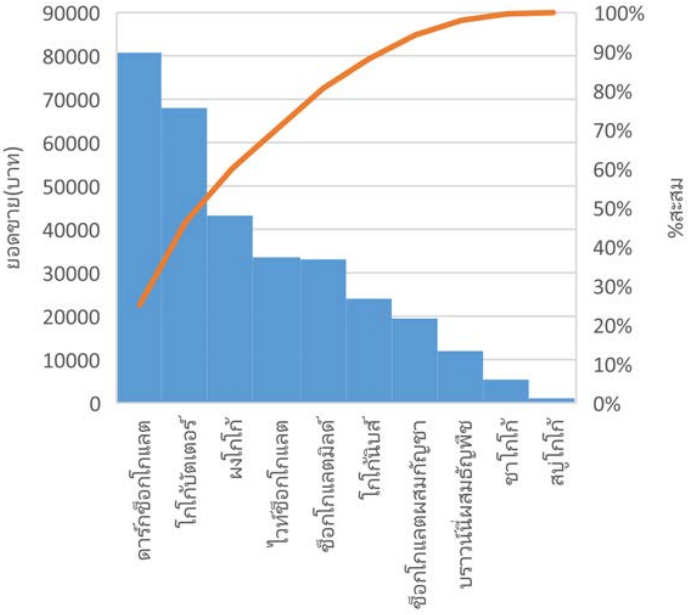
D = ความต้องการต่อปี

h = ต้นทุนรวมการถือครองวัสดุคงคลังมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปี

C = ต้นทุนวัสดุต่อหน่วย

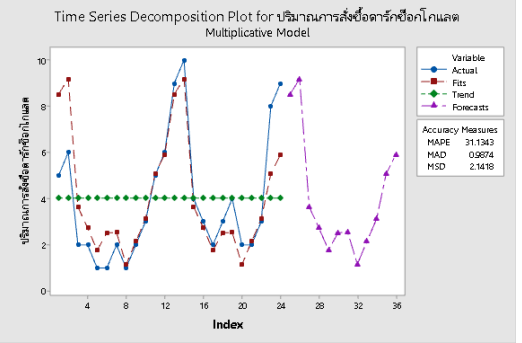
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการจำแนกความต้องการสินค้าตามปริมาณความต้องการสินค้าระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2563 พบว่าสินค้ากลุ่มเอ 2 ชนิดได้แก่ ดาร์กช็อกโกแลตและโกโก้บัตเตอร์ มูลค่ารวม 148,750 บาท คิดเป็น 46.38% สินค้ากลุ่มบี 3 ชนิดได้แก่ ผงโกโก้ ไวท์ช็อกโกแลต และช็อกโกแลตมิลด์ มูลค่ารวมทั้งหมด 109,950 คิดเป็น 34.28% และสินค้ากลุ่มซี 5 ชนิดที่เหลือคิดเป็น 19.34% ดังแสดงในภาพที่ 2

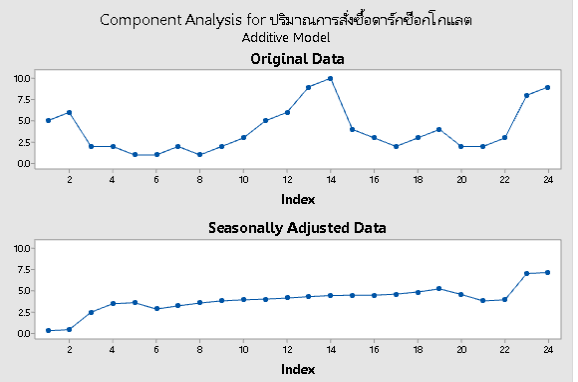


ภาพที่ 2 การจัดความสำคัญของสินค้าแบบเอบีซี

นำสินค้ากลุ่มเอและบีจำนวน 5 ผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ภาพแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยใช้ 3 วิธีคือ 1) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่อนข้างคงที่ 2) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมที่มีองค์ประกอบแนวโน้มและ 3) การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมที่มีองค์ประกอบฤดูกาล จากการสร้างกราฟอนุกรมเวลา (Time Series) พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 รายการมีลักษณะภาพแบบอิทธิพลฤดูกาล (Seasonal Model) โดยดาร์กช็อกโกแลต โกโก้บัตเตอร์และผงโกโก้ ใช้ตัวแบบฤดูกาลเชิงบวก (Additive Model) ส่วนของไวท์ช็อกโกแลตและช็อกโกแลตมิลด์ ใช้ตัวแบบฤดูกาลเชิงพหูคูณ (Multiplicative Model) ซึ่งจะมีค่า MAD, MSE และ MAPE ต่ำที่สุดดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงการพยากรณ์ยอดขายของดาร์กช็อกโกแลตและสามารถตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้ภาพแบบของฤดูกาลจากภาพที่ 4 ซึ่งพบว่ากราฟด้านบน Original Data และกราฟด้านล่าง Seasonally Adjusted Data มีภาพแบบของกราฟที่แตกต่างกัน ดังนั้นภาพแบบการพยากรณ์ด้วยอิทธิพลฤดูกาลจึงมีความเหมาะสม



ภาพที่ 3 การพยากรณ์ยอดขายของช็อกโกแลตในภาพแบบฤดูกาลเชิงบวก



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้การพยากรณ์ภาพแบบของฤดูกาล

นำผลการพยากรณ์ยอดขายในปี พ.ศ. 2564 มาวิเคราะห์หาค่าสต็อกเพื่อความปลอดภัยของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อนำใช้ในการจัดตารางการผลิตหลักต่อไป คำนวนค่าสต็อกเพื่อความปลอดภัยต่อช่วงเวลา 1 สัปดาห์ โดยอัตราความต้องการโดยเฉลี่ยเวลา 1 สัปดาห์ ($\overline{d}$) หาจากผลรวมยอดขายในปี 2560 หารด้วย 52 สัปดาห์ ส่วนช่วงเวลานำโดยเฉลี่ย ($\overline{\overrightarrow{LT}}$) กำหนดค่าจากระยะเวลาในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด คือ ดาร์กช็อกโกแลตและโกโก้บัตเตอร์ใช้เวลาผลิต 3 วัน ผงโกโก้ ไวท์ช็อกโกแลตและช็อกโกแลตมิลด์ ใช้ระยะเวลาในการผลิต 4 วัน หารด้วย 7 คิดในหน่วยสัปดาห์ โดยผลการคำนวณดังตัวอย่างของดาร์กช็อกโกแลตที่ใช้สมการที่ 1 มีดังนี้

$$ss = \sqrt{\frac{47.5}{52} \times \frac{3}{7}} = 0.63 \quad \text{กิโลกรัมต่อสัปดาห์}$$

ผลการคำนวนทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์มีค่าระหว่าง 0.46 - 0.77 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ดังนั้นจึงกำหนดค่าสต็อกความปลอดภัยของสินค้าเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานและการทำตารางการผลิตหลัก

การจัดตารางการผลิตหลักของสินค้าทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์ โดยนำข้อมูลการพยากรณ์ ใบสั่งของลูกค้า ในเดือนกรกฎาคม ค่าสต็อกความปลอดภัยเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ และการสั่งผลิตสินค้าซึ่งปกติจะสั่งครั้งละ 4 กิโลกรัม นำไปสู่การจัดตารางการผลิตหลักในเดือนสิงหาคม ปี 2564 ตัวอย่างแผนการผลิตหลักของดาร์กช็อกโกแลต ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการผลิตหลักของดาร์กช็อกโกแลต

ดาร์กช็อกโกแลต กลุ่ม A	กรกฎาคม หน่วยกิโลกรัม (แบบเดิม)				สิงหาคม หน่วยกิโลกรัม (แบบมีสต็อกความปลอดภัย)			
คงคลังต้นงวด = 2.00	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**
ค่าพยากรณ์ก่อนรับใบสั่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.35	0.35	0.35
ใบสั่งลูกค้า (ที่ยืนยันแล้ว)	2.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00
ประมาณการผลิตภัณฑ์คงคลังปลายงวด	0.00	0.00	0.00	1.00	4.65	4.30	1.30	4.95
ตารางการผลิตหลัก	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00

จากตารางที่ 1 ในเดือนกรกฎาคม สัปดาห์ที่ 1 มีใบสั่งของลูกค้าที่ยืนยันแล้วเท่ากับ 2 กิโลกรัม บริษัทสามารถส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันเวลาเนื่องจากมีระดับสินค้าคงคลังสุทธิ 2 กิโลกรัม และในสัปดาห์ที่ 4 มีใบซื้อของลูกค้าที่ยืนยันแล้วจำนวน 3 กิโลกรัม บริษัทจึงต้องเร่งผลิตสินค้าจำนวน 4 กิโลกรัม เพื่อส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ตรงเวลา ในเดือนสิงหาคมที่กำหนดตารางการผลิตหลักพบว่าสัปดาห์ที่ 1 มีการสั่งผลิตสินค้าจำนวน 4 กิโลกรัม ทำให้มีระดับปริมาณผลิตภัณฑ์คงคลังปลายงวดในสัปดาห์ที่ 3 เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในสัปดาห์ถัดไป โดยสัปดาห์ที่ 4 มีใบสั่งของลูกค้าที่ทำการยืนยันแล้วเท่ากับ 3 กิโลกรัม สามารถส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันเวลา และมีการสั่งผลิตสินค้าจำนวน 4 กิโลกรัมในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากมีระดับสินค้าคงคลังสุทธิน้อยกว่าค่าสต็อกเผื่อความปลอดภัย

ในเดือนสิงหาคมมีคำสั่งซื้อทั้งหมดจำนวน 3 คำสั่งซื้อ ซึ่งเมื่อใช้การกำหนดตารางการผลิตหลักสินค้าทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ครบทุกคำสั่งซื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับการส่งมอบในเดือนกรกฎาคมพบว่ามีการส่งล่าช้าจำนวน 1 คำสั่งซื้อซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากค่าปรับคือ 50 บาท จากนั้นคณะผู้วิจัยได้จัดการควบคุมวัสดุคงคลัง โดยนำข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายในปี พ.ศ. 2564 และข้อมูลรายการวัตถุดิบ (Bill of Material) นำมาจัดกลุ่มวัตถุดิบด้วยเทคนิคเอบีซีเช่นเดียวกับการจัดกลุ่มสินค้า พบว่าวัตถุดิบกลุ่มเอคือ เนื้อเมล็ดโกโก้ กลุ่มบีคือ กากเมล็ดโกโก้ และกลุ่มซีคือ นมผง และน้ำตาลทรายขาว จึงกำหนดระบบรอบเวลาการสั่งคงที่ให้กับเนื้อเมล็ดโกโก้ และระบบปริมาณการสั่งคงที่ให้กับกากเมล็ดโกโก้ สำหรับการคำนวณหารอบเวลาการสั่งที่ประหยัดของเมล็ดโกโก้จากสมการที่ 2 คณะผู้วิจัยไม่สามารถหาค่าต้นทุนการสั่งต่อครั้ง (P) แต่คาดการณ์ว่ามีค่าน้อยมากเนื่องจากบริษัทปลูกต้นโกโก้และเก็บเมล็ดโกโก้เอง โดยมีจำนวนต้นโกโก้ 750 ต้น ทำการเก็บเกี่ยวผลทุก ๆ 15 วัน หรือ 24 ครั้งต่อปี และจะไม่สามารถเก็บผลก่อน 15 วัน เพราะผลเมล็ดโกโก้จะสุกไม่ทัน ส่วนกระบวนการแปรภาพผลเมล็ดสดเป็นเมล็ดแห้งเริ่มจากหมักผลสด 4 วัน ตากให้แห้ง 3 วัน และคั่ว 1 วัน รวมเป็น 8 วัน ก่อนนำไปแปรภาพเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ดังนั้นจึงกำหนดค่ารอบเวลาการสั่งที่ประหยัด (T_0) เท่ากับ 15 วันหรือ 0.041 ปี ค่าปริมาณความต้องการใช้เมล็ดโกโก้แห้งทั้งหมด (*D*) เท่ากับ 229 กิโลกรัม ต้นทุนรวมการถือครองวัสดุคงคลัง (*h*) เท่ากับ 10 % ต่อปี ซึ่งกำหนดมาจากภายใต้ตัวเลขสมมุติฐานที่ไม่เกิน 25 % (Vermorel, 2013) ดังตารางที่ 2 โดยใช้พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าของบริษัทเอง ไม่มีการสร้างสต็อกสินค้าเพิ่มเติม ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าประกันภัย และไม่มีพัสดุหรือสินค้าในคลังที่ขาดหาย เสียค่าใช้จ่ายเฉพาะค่ายกขนเคลื่อนย้าย ค่าบริหารและควบคุม และค่าพัสดุเสื่อมเสีย ล้าสมัย ส่วนต้นทุนวัสดุต่อหน่วย (*C*) ผู้ประกอบการให้ข้อมูลประมาณการณ์ไว้เท่ากับ 120 บาทต่อกิโลกรัม

$$0.041 = \sqrt{\frac{2 \times P}{229 \times 0.10 \times 120}}$$

$$\therefore P = 2.3 \text{ บาทต่อครั้ง}$$

ตารางที่ 2 ข้อมูลอ้างอิงค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

รายการ	เปอร์เซ็นต์	รายการ	เปอร์เซ็นต์
ค่าเงินทุนสร้างสต็อก	0	ค่ายกขนเคลื่อนย้าย	1
ค่าภาษี	0	ค่าบริหารและควบคุม	4
ค่าประกันภัย	0	ค่าพัสดุเสื่อมเสีย ล้าสมัย	5
ค่าเช่าพื้นที่คลังสินค้า	0	ค่าพัสดุขาดจำนวน หาย	1

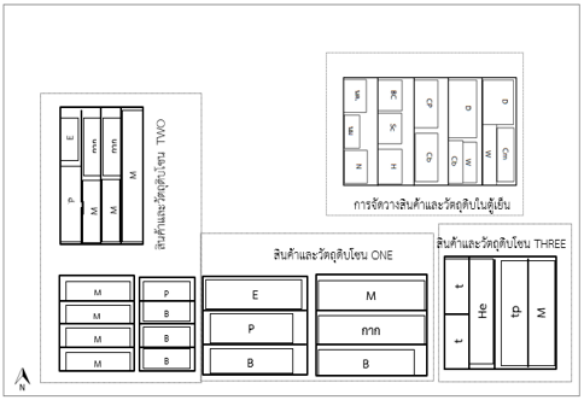
จากค่าต้นทุนการสั่งต่อครั้ง (*P*) ที่คำนวณได้นั้นมีค่าน้อยมากซึ่งสอดคล้องกับสภาวะจริงตามที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้นการกำหนดค่ารอบเวลาการสั่งที่ประหยัด (T_0) ของเมล็ดโกโก้เท่ากับ 15 วันจึงมีความเหมาะสมแล้ว ค่าสต็อกเผื่อความปลอดภัยของเมล็ดโกโก้เท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อเดือน และค่าต้นทุนรวมการควบคุมวัสดุคงคลังต่อปีเท่ากับ 117 บาทต่อปี โดยคำจากสมการที่ 3

$$TC = \frac{2.31}{0.041} + \frac{229 \times 0.041}{2} \times 0.10 \times 120$$

$TC = 117$ บาทต่อปี

ส่วนกากเมล็ดโกโก้เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตสินค้า เมื่อคำนวณปริมาณความต้องการใช้กากเมล็ดโกโก้เท่ากับ 107 กิโลกรัม ในขณะที่มีปริมาณกากเมล็ดโกโก้ที่ได้จากกระบวนการแปรภาพ 114 กิโลกรัม ดังนั้นจึงมีปริมาณกากเมล็ดโกโก้เพียงพอและจึงกำหนดให้ใช้การตรวจสอบปริมาณทุก ๆ เดือนแทนระบบปริมาณการสั่งคงที่

สุดท้ายในส่วนการปรับปรุงผังสินค้าและวัตถุดิบโซนตู้แช่จากเดิมที่มีสินค้าและวัตถุดิบปะปนกัน ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำผังการปรับปรุงโดยพิจารณาจากสินค้าและวัตถุดิบที่ต้องจัดเก็บในอุณหภูมิเย็นเป็นหลัก เริ่มจากการนำเมล็ดโกโก้และกากเมล็ดโกโก้จากเดิมที่อยู่ในตู้แช่เย็นออกมา แล้วนำไปใส่แทนที่สินค้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิประเภทผงโกโก้และโกโก้นิบส์ นำเมล็ดโกโก้มาเก็บในชั้นวาง โดยการจัดชั้นวางของให้คำนึงถึงน้ำหนักของวัตถุดิบโดยให้น้ำหนักเบาอยู่ชั้นบน ดังภาพที่ 5 การจัดวางสินค้าและวัตถุดิบมีความเป็นระเบียบมากขึ้น สามารถลดระยะเวลาในการหยิบจับหรือลำเลียงสินค้าให้กับบริษัทขนส่งได้สะดวกมากขึ้น



กลุ่ม	สินค้า	สัญลักษณ์สินค้า	วัตถุดิบ	สัญลักษณ์วัตถุดิบ
A	ดาร์กช็อกโกแลต	D	เมล็ดโกโก้	M
	โกโก้บัตเตอร์	Cb		
B	ไวท์ช็อกโกแลต	W	กากเมล็ดโกโก้	กาก
	ช็อกโกแลตมิลล์	Cm		
	ผงโกโก้	CP		
C	ช็อกโกแลตโฮมเมด	H	น้ำตาล	นต.
	บราวร์นีธัญพืช	BC	นมผง	นม
	ชาโกโก้	TC	ใบชา	t
	สบู่โกโก้	Sc	ใบกัญชา	He
	โกโก้นิบส์	N	เปลือกโกโก้ทำชา	tp
อื่นๆ	กล่องกระดาษ			B
	พลาสติกบรรจุ			P
	อุปกรณ์ตกแต่งบรรจุ			E

ภาพที่ 5 การจัดวางผังคลังสินค้าและวัตถุดิบหลังปรับปรุง

ผลการวิจัยพบว่าขั้นตอนการวางแผนกำลังการผลิตรวม สามารถหาการพยากรณ์ยอดขายที่เหมาะสมได้คือภาพแบบอิทธิพลฤดูกาล (Seasonal Model) เช่นเดียวกับงานวิจัยการพยากรณ์ปริมาณการใช้อุปกรณ์บรรทุกสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้าบริษัทการบินไทย จำกัด (มหาชน) (Pongpreeda, 2014) และการศึกษาภาพแบบการพยากรณ์และการจัดการปริมาณวัสดุคงคลังให้เหมาะสมกรณีศึกษากล่องบรรจุภัณฑ์ (Pumkasron and Uraichot, 2015)

ขั้นตอนการวางแผนกำลังการผลิตรวม กำหนดค่าสต็อกเผื่อความปลอดภัย ได้ตารางการผลิตหลักซึ่งทำให้การส่งมอบสินค้าทันตามความต้องการของลูกค้าสอดคล้องเช่นเดียวกับงานวิจัยการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตขวดพลาสติกแบบที่มีการพิมพ์สี (Pushpakom, 2014) และการวางแผนการจัดการโรงงานกล่องขนม (Sottiwan and Munkongtum, 2017) ส่วนขั้นตอนการบริหารวัสดุคงคลังโดยกำหนดการบริหารวัตถุดิบ การวางผังคลังสินค้าและวัตถุดิบที่สะดวกต่อการขนย้ายได้ผลที่ดีเช่นเดียวกับงานวิจัยการจัดผังพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้าของบริษัทขึ้นภาพโลหะ (Thongpoon, 2021) และออกแบบคลังโรงงานผลิตบล็อกแก้ว (Jansa, 2020) และโดยภาพรวมของงานวิจัยทั้งหมดซึ่งนำทฤษฎีการวางแผนและการควบคุมการผลิต (Production planning and control) ที่เรียบเรียงโดย Lalitaporn, 2013 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ผลกับวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กเช่นในกรณีศึกษานี้

4. สรุป

จากการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์กลุ่มเอคือ ดาร์กช็อกโกแลต โกโก้บัตเตอร์ กลุ่มบีคือ ผงโกโก้ ไวท์ช็อกโกแลตและช็อกโกแลตมิลด์ ทั้งหมดใช้ภาพแบบการพยากรณ์แบบอิทธิพลฤดูกาล ค่าสต็อกความปลอดภัยเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ในเดือนสิงหาคมมีจัดตารางการผลิตหลักทำให้สามารถส่งมอบได้ตรงเวลาทั้งหมด 3 คำสั่งซื้อ ลดค่าปรับในการส่งมอบสินค้าล่าช้าจำนวน 50 บาทซึ่งคิดจากค่าปรับที่ส่งมอบล่าช้าในเดือนกรกฎาคมจำนวน 1 คำสั่งซื้อ การจัดกลุ่มวัตถุดิบในส่วนของวัตถุดิบกลุ่มเอคือ เมล็ดโกโก้ ค่าสต็อกความปลอดภัยเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อเดือน ต้นทุนการควบคุมวัสดุคงคลังเท่ากับ 117 บาทต่อปี วัตถุดิบกลุ่มบีคือกากเมล็ดโกโก้ ซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิต จึงกำหนดให้ตรวจสอบปริมาณทุกเดือน และในการปรับปรุงผังคลังได้เสนอผังการวางตำแหน่งให้เหมาะสมและสะดวกต่อการขนย้าย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัท ฮิลล์ ไทรบ์ โกโก้ คอฟ จำกัด ที่ให้ความกรุณาในการเก็บข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

Arree W., W. Chammuangpak, P. Saelim and N. Sawisit. 2020. **Application of ABC classification analysis technique for inventory management of food categories: a case study XYZ department store**. RMUTSB Academic Journal (Humanities and Social Sciences), vol. 5(2), pp. 153-166, (in Thai)

Bunterngchit C. 2018. “Simulation-based application in warehouse layout design for reduce material handling time,” Kasem Bundit Engineering Journal, vol. 8(3), pp. 1-14. (in Thai)

Jansa R. 2020. **Development of inventory management system in Fang hospital, Chiang Mai province**. Journal of Nakornping Hospital, vol. 11(2), pp. 102-111. (in Thai)

Lalitaporn P. 2013. **Production planning and control**. Se-education public company limited, Bangkok. (in Thai)

Meethom W. and R. Supattarobol. 2021. **Package warehouse layout for soy milk industry**. RMUTT Journal of Engineering, vol. 19(1), pp. 1-12. (in Thai)

Noiplod S. and D. Rattanaamornpin. 2013. **Production scheduling improvement for the process focus: a case study of manufacturing aircraft parts**. TNI Journal of Engineering and Technology, vol. 1(2). (in Thai)

Ounmee T. 2017. **Forecasting and inventory planning to reduce the problem of delayed shipment: a case study of oflems manufacturer. .** M.S. thesis., Dept. Industrial Eng. Thammasat Univ., Bangkok, Thailand. (in Thai)

Pongpreeda N. 2014. **Development of the computer program for forecasting the quantity of unit load devices at Thai airways International public company Limited, Suvarnabhumi international airport**. M.S. thesis, Dept. Management and Innovation, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Pumkasron P. and P. Uraichot. 2015. **The study of forecasting models and appropriate Inventory management case study: carton packaging**. Thai Industrial Engineering Network Journal, vol. 1(1), pp.14-22, (in Thai)

Pushpakom P. 2014. Job shop scheduling for color printing of plastic bottle production. MUT Journal of Business Administration, vol.11(1), pp. 27-42. (in Thai)

Sottiwan T. and C. Munkongtum. 2017. **Management planning for food packaging, case of varies production capacity**. Academic Journal Bangkokthonburi University, vol. 6(1), pp. 17-23. (in Thai)

Supanakorn J. 2011. **Time series forecasting for production planning of bearing parts**. The Journal of KMUTNB, vol. 219(3), pp. 595-605, Sep. - Dec. (in Thai)

Thippo W., N. Sombutlay, W. Traiphop and W. Khawsaard. 2018. **Time series forecasting for production quantity of the appropriate concrete pole by linear programming**. in Proceeding of IE Network 2018, Ubon Ratchathani, pp. 1382-1386. (in Thai)

Thongpoon W. 2021. **Storage layout planning in warehouse a case study to metal forming product manufacturing in Chonburi**. Sripatum Chonburi Journal, vol. 17(3), pp. 167-179. (in Thai)

Vermorel E. 2013. **Inventory costs**. Retrieved from https://www.lokad.com

Wanlisut, C. 2018. **ABC developmentfor predicting mean absolute percentage error type by planning the production mixed model**. Industrial Technology Research journal Phranakhon Rajabhat University, vol.1(1), pp. 47-54. (in Thai)

(Received: 20/Dec/2021, Revised: 8/Jun/2022, Accepted: 15/Jun/2022)

วิธี ATR-FTIR และ GC-MS ในการตรวจหาไซบูทรามีนที่ปลอมปนในกาแฟลดน้ำหนัก
ATR-FTIR and GC-MS Methods For Detection of Sibutramine Adulterated in Slimming Products of Instant Coffee

สิตานันท์ ปารมีศรีจรรยา*[1] ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง[2] ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี[2] และ ปิยาภา จันทร์มล[2]

Sitanan Parameesrijanya*[1], Sirirat Choosakoonkriang[2], Supachai Supalaknari[2] and Piyapa Junmon[2]

[1] สาขานิติวิทยาศาสตร์ [2] ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

[1] Forensic Science program, [2] Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakorn Pathom

**E-mail: Parameesrijanya_s@silpakorn.edu โทร. 061-1519224*

บทคัดย่อ

ไซบูทรามีนจัดเป็นสารปนเปื้อนที่มักพบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการลดน้ำหนัก วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเอาเทคนิค Attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) และ Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) มาใช้ในการตรวจวัดไซบูทรามีนที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนัก โดยวิเคราะห์ตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนักจำนวน 20 ตัวอย่างที่ถูกซื้อมาจากตลาดท้องถิ่นและร้านค้าออนไลน์ การวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR ที่เลขคลื่น 4000-650 cm-1 สเปกตรัมแสดงพีคที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของสารไซบูทรามีนในตัวอย่าง ผลการทดสอบเบื้องต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR สามารถยืนยันโดยเทคนิค GC-MS โดยระบุมวลต่อประจุ (SIM Mode) ของไซบูทรามีนที่ 58, 72, 114 amu ที่เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.997 นาที นอกจากนี้ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์โดย GC-MS พบว่ามีการปนเปื้อนด้วยยาระบาย (Bisacodyl) เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 36.534 นาที และพบยาปฏิชีวนะ (Paromomycin) เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 6.089 นาที งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อตรวจหาสารไซบูทรามีนที่ปนเปื้อนในกาแฟสำเร็จรูปที่ใช้ในการลดน้ำหนักด้วย ATR-FTIR และ GC-MS จากผลการวิจัยพบว่าทั้งสองวิธีมีความสามารถในการตรวจหาสารไซบูทรามีนและอาจจะนำมาใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ : ไซบูทรามีน ลดน้ำหนัก ATR-FTIR GC-MS

Abstract

One of the most common adulterants: Sibutramine has been found in slimming products. This work aimed to study the application of attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS) to detect sibutramine in slimming products in the form of Instant coffee. Twenty instant coffee products were acquired from local markets and online stores. At wavenumber 4000-650 cm-1, ATR-FTIR analysis was performed. The mass spectra of the sample indicate a distinct peak for sibutramine. The screening test obtained by ATR-FTIR could be confirmed by GC-MS. The screening was performed on selected ion monitoring mode at 58, 72, and 114 amu (Sibutramine) at a retention time 23.997 minute. Furthermore, laxatives (Bisacodyl) were detected in samples evaluated by GC-MS at a retention time 36.534 minute, while antibiotic (Paromomycin) were detected at a retention time 6.089 minute. This is qualitative investigation using ATR-FTIR and GC-MS to discover sibutramine adulterated in instant

coffee slimming products. Both techniques are capable of detecting sibutramine in slimming Instant coffee, which could be useful in forensic examination.

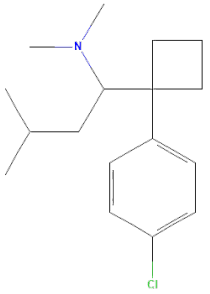
Keywords : sibutramine, slimming, ATR-FTIR, GC-MS

1. บทนำ

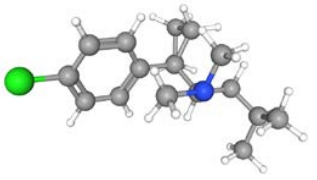
ภาวะน้ำหนักเกินหรือโรคอ้วนคือภาวะที่มีการสะสมของไขมันที่ผิดปกติซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมา ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้มีเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี โดยในแต่ละปีจะมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 4 ล้านคน ซึ่งเกิดจากการมีภาวะดังกล่าว ในปี พ.ศ. 2560 ทั่วโลกอัตราภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนยังคงเพิ่มขึ้นทั้งในผู้ใหญ่และเด็ก (World Obesity Federation, 2021) ปัจจุบันคนจำนวนมากให้ความสำคัญกับภาพลักษณ์และรูปร่างสุขภาพดีด้วยการออกกำลังกายและเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ แต่ด้วยภาวะเร่งรีบของการประกอบกิจกรรมในแต่ละวัน จึงทำให้เลือกรับประทานอาหารเสริมในรูปแบบกาแฟที่เป็นทางลัดในการรักษารูปร่าง เพราะโฆษณาชวนเชื่อว่าการดื่มกาแฟสามารถทำให้ลดน้ำหนักได้ ส่งผลให้มีการแข่งขันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมลดน้ำหนักมากขึ้นทำให้มีผู้ประกอบบางรายจึงมีการลักลอบใส่สารต้องห้ามลงในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารดังกล่าวนั่นคือ ไซบูทรามีน (Sibutramine) เป็นสารออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ลดความอยากอาหารไม่รู้สึกหิวและอิ่มเร็ว ลักษณะเป็นของแข็งจึงทำให้เป็นที่นิยมในการลักลอบใส่ในอาหารเสริมประเภทต่าง ๆ ผลข้างเคียงที่พบบ่อยทำให้ปากแห้งคอแห้ง ปวดศีรษะ เวียนหัว ท้องผูก ระบบขับถ่ายรวน นอนไม่หลับรู้สึกไม่สบายตัว ความดันสูง เกิดอาการใจสั่นหัวใจเต้นเร็ว ในบางครั้งอาจมีผลข้างเคียงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Department of mental health, 2019) ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศในยุโรปจึงประกาศยกเลิกการใช้สารไซบูทรามีน รวมทั้งประเทศไทยได้มีการเรียกเก็บยาที่มีการปลอมปนของสารไซบูทรามีนออกจากท้องตลาดและยกเลิกทะเบียนยาไซบูทรามีน (Food and drug administration public and consumer affairs division, 2021) สำหรับผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนักที่มีการจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมักมีการผสมสารที่กระตุ้นการทำงานของระบบเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันในร่างกาย มีการลักลอบเติมตัวยาควบคุมหรือสารต้องห้าม เช่น เติมสารกลุ่ม Diuretics ที่มีฤทธิ์ขับปัสสาวะ หรือ ผสมสารไซบูทรามีน จากการสำรวจของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พบว่ามีการปลอมบนในตัวอย่างกาแฟและอาหารเสริมประเภทแคปซูลที่โฆษณาสรรพคุณในการควบคุมน้ำหนัก ซึ่งไม่ได้รับการรับรองเลขทะเบียนมาตรฐาน อย. มีการประกาศห้ามใช้สารดังกล่าวแต่ยังคงมีการนำเข้าหรือลักลอบผลิตเพื่อใช้ผสมในอาหารเสริม และยา (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2019) ข่าวการเสียชีวิตที่มีสาเหตุจากการรับประทานยาหรืออาหารเสริมลดน้ำหนักส่วนใหญ่พบว่าในยาหรืออาหารเสริมลดน้ำหนักนั้นมีสารไซบูทรามีนเป็นส่วนผสม ในปี พ.ศ. 2559-2561 มีผู้ป่วยจากการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่รวมทั้งสิ้น 64 ราย อาการที่พบมากที่สุด คือ ใจสั่น ปากแห้ง คอแห้ง จำนวน 36 ราย รองลงมาคือ นอนไม่หลับฝันร้ายจำนวน 18 ราย และอาการที่ต้องได้รับการรักษาในโรงพยาบาล ได้แก่ อาการคลุ้มคลั่งหมดสติจำนวน 5 ราย (Kanthamun, 2019) รายงานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ช่วงในปี พ.ศ. 2556-2559 มีการตรวจผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนัก 344 ตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 849 ตัวอย่าง พบสารไซบูทรามีนในผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนัก 47 และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 163 ตัวอย่าง และปี พ.ศ. 2560 มีการตรวจในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม 72 ตัวอย่าง พบสารไซบูทรามีนถึง 13 ตัวอย่าง ปัญหาการเสียชีวิตจากการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเสริมลดน้ำหนักในช่วงปี พ.ศ. 2556-2561 มีการติดตามจากสื่อต่าง ๆ ร่วมกับมีการสืบค้นย้อนกลับพบว่ามีผู้เสียชีวิต 13 ราย และบางรายสรุปอย่างสาเหตุชัดเจนว่าเกิดจากจากสารไซบูทรามีแน่นอน (Kiatyingangsulee, 2019)

จากการศึกษาอาหารเสริมลดน้ำหนักชนิดสมุนไพรที่มีจำหน่ายในประเทศอิหร่าน โดยใช้เทคนิค GC-MS และ LC-MS พบว่ามีการเจือปนของสารไซบูทรามีน ซึ่งเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางจิตและอารมณ์ เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือด ทำให้เกิดภาวะหัวใจล้มเหลว และเสียชีวิตอย่างกะทันหัน และยังพบยาฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) ซึ่งออกฤทธิ์เป็นยาระบาย และอาจส่งผลต่อการก่อโรคมะเร็งในร่างกาย รวมทั้งยังพบบูมีทาไนด์

(Bumetanide) ที่ออกฤทธิ์เป็นยาขับปัสสาวะ รวมถึงการใช้สารคาเฟอีน (Caffeine) ร่วมกับสารกระตุ้นประเภทอื่น (Khazan et al., 2014) มีการศึกษาผู้บริโภคยาสมุนไพรจีน หลังจากบริโภค 1 สัปดาห์ เกิดอาการปวดหัวรุนแรง เวียนศีรษะ รู้สึกชา ได้มีการตรวจ GC-MS และ HPLC-DAD ในยาแคปซูลและปัสสาวะพบสารไซบูทรามีน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารไซบูทรามีนส่งผลข้างเคียงที่รุนแรงและอาจนำไปสู่การเสียชีวิต (Jung and Weinmann, 2006) จากการศึกษาของ Deconinck et al. (2014) พบว่าการใช้เทคนิค Attenuated total reflectance-infrared spectroscopy (ATR-IR) ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล k-Nearest Neighbors (k-NN) สามารถตรวจวิเคราะห์สารไซบูทรามีนที่เจือปนในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของไซบูทรามีน ที่มา: PubChem



ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างทางเคมีของไซบูทรามีน ที่มา: PubChem

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR spectroscopy จากโครงสร้างของไซบูทรามีนที่ประกอบด้วย $C_{17}H_{26}ClN$ โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมกับสเปกตรัมของสารไซบูทรามีนบริสุทธิ์พบว่าที่เลขคลื่นบริเวณ 821 cm^{-1} พบว่า มีการสั่นสะเทือนกันของพันธะ CH ของวง aromatic มีการบิดงอออกนอกระนาบ และการสั่นบนระนาบระนาบเดียวกันของพันธะ CH aromatic ที่เลขคลื่นบริเวณ 1011 cm^{-1}, ส่วนที่เลขคลื่นบริเวณ 1307 cm^{-1} คือ หมู่ฟังก์ชั่น isobutyl และ ที่เลขคลื่นบริเวณ 1428 cm^{-1} คือ หมู่ฟังก์ชั่น NCH_3 และมีการเมื่อใช้เทคนิค Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS) เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค ATR-FTIR จากวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมพบว่ามีสารไซบูทรามีนและสารฟลูออกซิทีน (Fluoxetine) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มยากล่อมประสาทเป็นส่วนประกอบ (Popescu et al., 2015) และจากงานวิจัยของ Cebi et al. (2017) การใช้เทคนิค ATR-FTIR ในการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมประเภทชาเขียว กาแฟ และชาสมุนไพร เปรียบเทียบที่เลขคลื่นในช่วง 2746-2656 cm^{-1} ร่วมกับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้การวิเคราะห์ Hierarchical Cluster Analysis (HCA) เป็นการจัดกลุ่มแบบลำดับชั้นจากการทดสอบแสดงผลออกมาในรูปแบบ dendrogram ซึ่งพบว่าสามารถแยกตัวอย่างที่มีการเจือปนและไม่เจือปนออกจากกันได้ และ การวิเคราะห์ Principal Component Analysis (PCA) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักถูกนำเสนอในรูปแบบของภาพสามมิติมีการแสดงกระจายตัวแบ่งออกเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจนระหว่างตัวอย่างที่มีการเจือปนและไม่เจือปนของสารไซบูทรามีน จากการทดลองแม้จะมีสารอยู่เพียง 0.375 มิลลิกรัมก็สามารถตรวจพบสารไซบูทรามีนได้ Lanzarotta et al. (2018) กล่าวว่าเทคนิค ATR-FTIR เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์ได้รวดเร็ว ใช้งานง่าย ไม่เปลืองสารเคมี และการวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (GC-FTIR) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ ลดการใช้ทรัพยากร มีความแม่นยำและความไวมากกว่าการใช้วิธี High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจในการวิเคราะห์สารไซบูทรามีนที่อาจจะเจือปนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารประเภทกาแฟลดน้ำหนัก โดยการใช้วิธี ATR-FTIR ร่วมกับ GC-MS และนำไปสู่การใช้วิธีดังกล่าวในการวิเคราะห์สารไซบูทรามีนที่อาจเจือปนอยู่ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปที่มีการจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคในการหลีกเลี่ยงการบริโภคผลิตภัณฑ์นั้น ที่อาจส่งผลในการก่อเกิดโรคในร่างกาย หรืออันตรายถึงชีวิตได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 สารเคมี และตัวอย่าง

สารเคมีประกอบด้วย Acetone และ Methanol เกรด Hplc ยี่ห้อ RCI Labscan ใช้เป็นตัวทำละลาย และตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมประเภทกาแฟซื้อจากท้องตลาดและช่องทางออนไลน์ ประกอบด้วยตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C01-C20 จำนวน 20 ตัวอย่าง

2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Attenuated total reflectance-infrared spectroscopy (ATR-FTIR)

การวิเคราะห์ด้วยวิธี ATR-FTIR ใช้เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Frontier ประกอบกับ FT-IR Microscope รุ่น Spotlight 200i จากบริษัท Perkin Elmer ตั้งค่าช่วงสเปกตรัมการวิเคราะห์ที่เลขคลื่น 4000-650 cm^{-1} ความละเอียดในการสแกน (resolution) 4 cm^{-1} และสแกนตัวอย่างจำนวน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง (Cebi, Yilmaz, and Sagdic, 2017) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-FTIR ทำการทดลอง 3 ซ้ำทุกตัวอย่าง

2.3 วิธีการวิเคราะห์ Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Flame ionization Detector/Mass spectrometer) รุ่น Trace 1300 GC จากบริษัท Thermo scientific ประกอบกับคอลัมน์ TG-5MS GC Columns (30 m x 0.25 mm x 0.25 μm) มีสภาวะการทดลองที่ใช้กับเทคนิค GC-MS ดังนี้ อุณหภูมิบริเวณฉีดสารตัวอย่าง (Injector) 280 องศาเซลเซียส ตั้งอัตราการนำสารเข้า (Split ratio) ที่ 100 ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สสำหรับพาสารตัวอย่างเข้าคอมลัมน์ไปจนถึงตัวตรวจวิเคราะห์ อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้ง Solvent Delay 3 นาที และตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 150 องศาเซลเซียส คงไว้ 20 นาที เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 150 ถึง 280 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที แล้วคงที่อุณหภูมิที่ 280 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ปริมาณสารที่ฉีดเข้าคอลัมน์มีปริมาตร 1 ไมโครลิตร ตั้งอุณหภูมิส่วนที่ไอของสารผ่านระหว่างเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟีกับเครื่องแมสสเปคโทรมิเตอร์ (Transfer Line) และบริเวณที่เกิดไอออน (Ion Source) ที่ 280 องศาเซลเซียส วิธีที่ทำให้ไอของสารกลายเป็นไอออนคือ Electron Ionization (EI) ซึ่งตั้งค่าพลังงานอยู่ที่ 70 eV ค่ามวลต่อประจุ (m/z) ที่ใช้วิเคราะห์อยู่ในช่วง 40-500 amu และ SIM Mode (Sibutramine=58, 72, 114 amu) ตั้งค่าอัตราการวิเคราะห์ข้อมูลอยู่ที่ 2 spectra/s โดยเส้นสเปกตรัมจะเทียบกับโปรแกรม National Institute of Standards and Technology (NIST) รุ่น 2.3 เพื่อใช้เปรียบเทียบรูปแบบการแตกมวลของสารตัวอย่างกับข้อมูลของสารที่มีอยู่ในโปรแกรม (Popescu et al., 2015)

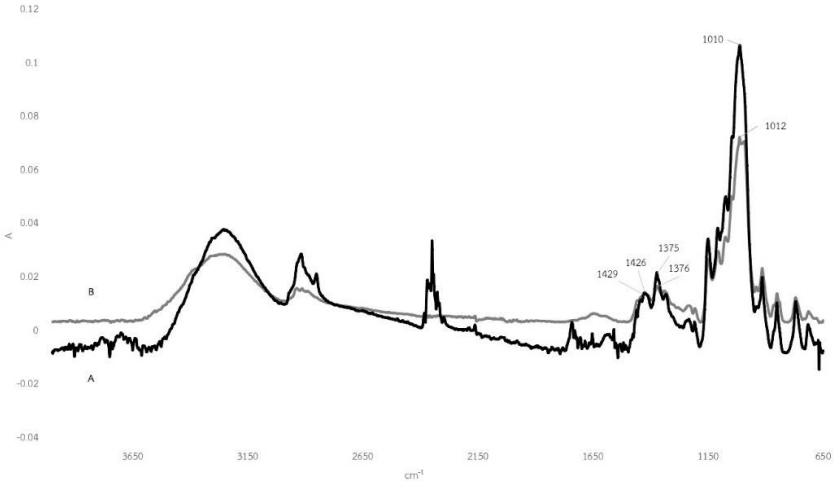
การเตรียมตัวอย่างบดตัวอย่างให้ละเอียดชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย Methanol ปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปผสมให้เข้ากันด้วยการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ยี่ห้อ Crest Ultrasonics เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ยี่ห้อ Rotina 380R ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสด้านบนนำไปให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายออกให้เหลือปริมาตรสุดท้าย 1 มิลลิลิตร กรองผ่าน Membrane filter nylon ขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างที่ได้ 10 เท่า จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ตามสภาวะการทดลองที่กำหนด

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนักจำนวน 20 ตัวอย่างพบว่าในตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C06 และตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C18 พบสารไซบูทรามีน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเอกสารงานวิจัยของ Cebi et al. (2017) ตำแหน่งสเปกตรัม ATR-FTIR ของไซบูทรามีนที่สำคัญคือพีคที่ 3418 cm^{-1} ที่เกิดจากพันธะ O-H ในระหว่างช่วงเลขคลื่น 3000 ถึง 2500 cm^{-1} เป็นการยืดกันของหมู่ฟังก์ชัน CH3, CH2 และ CH ซึ่งบริเวณเลขคลื่นที่ 2700 ถึง 2330 cm^{-1} เป็นผล

มาจากการยืดตัวของหมู่ฟังก์ชัน NH^+ จากงานวิจัยพบพีคที่ 2698 cm^{-1} เป็นจุดสำคัญที่เกิดการยืดกันของพันธะ N-H และ ที่บริเวณ 821 และ 833 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ CH ที่มีการบิดงอในแนวระนาบของวง aromatic และที่บริเวณ 1010 cm^{-1} การสั่นบนระนาบของพันธะ CH ของวง aromatic ที่จุดพีค 1370 cm^{-1} เกิดสั่นของกลุ่มฟังก์ชัน isobutyl ที่เกิดการดัดงอ บริเวณพีคที่ 1407 และ 1428 cm^{-1} พบการสั่นที่เกิดจากการดัดงอของ N-CH_3 และที่บริเวณจุดที่ 1491 cm^{-1} เป็นการสั่นของวงแหวน aromatic ที่เกิดการยืดกันของ C=C ซึ่งจากการทดลองของ Popescu et al. (2015) ได้ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่สำคัญทั้งหมดที่ 4 จุดคือ 821, 1011, 1370 และ 1428 cm^{-1} ในการเปรียบเทียบสารไซบูทรามีนกับตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์



ภาพที่ 3 ATR-FTIR spectrum บริเวณอินฟราเรดกลางช่วงความยาวคลื่น 4000–650 cm^{-1} A) ตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C06 และ B) ตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C18

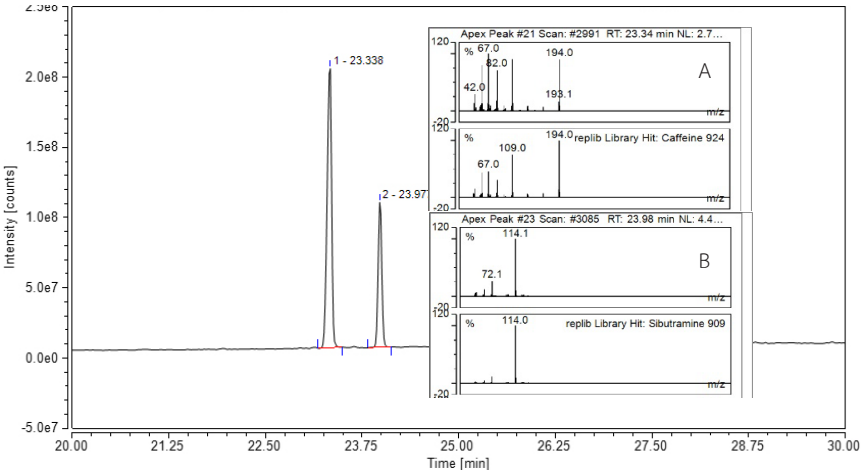
จากภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัม ATR-FTIR บริเวณอินฟราเรดกลางช่วงความยาวคลื่น 4000-650 cm^{-1} จุดสำคัญในตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C06 พบว่ามีพีค 1426 cm^{-1} ที่เกิดจากบิดงอของกลุ่มฟังก์ชัน NCH_3 มีการบิดงอกลุ่มของ isobutyl ที่จุด 1376 cm^{-1} และการสั่นของพันธะ CH ของวง aromatic ที่จุด 1010 cm^{-1} และ ในตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C18 พบพีค 1429, 1375 และ 1012 cm^{-1} ซึ่งใกล้เคียงกับจุดสำคัญบนสเปกตรัม ATR-FTIR ไซบูทรามีนของ Popescu et al. (2015) เปรียบเทียบพีคโดยการอ้างอิงตำแหน่งพีคที่สำคัญ 3 จุดคือ 1428, 1370 และ 1011 cm^{-1} อาจสันนิษฐานได้ว่าในตัวอย่างที่ตรวจมีการปลอมปนของสารไซบูทรามีน จากการวิเคราะห์พบว่ามีการรบกวนของส่วนประกอบที่ถูกเติมในตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจคือกาแฟสำเร็จรูปทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองในบริเวณช่วงที่ 4000 ถึง 2100 cm^{-1} แสดงค่าของพีคที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในระบุการมีอยู่ของสารไซบูทรามีนได้

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR จากการเปรียบเทียบจุดสำคัญของสารไซบูทรามีนกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมประเภทกาแฟจำนวน 20 ตัวอย่าง พบว่ามี 2 ตัวอย่างที่จุดสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ Popescu et al. (2015) ทำให้คาดว่าเป็นสารไซบูทรามีนปลอมปนอยู่ในตัวอย่าง ต่อมาผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างทั้ง 20 ตัวอย่างเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS เพื่อใช้ยืนยันความถูกต้องในการพบสารไซบูทรามีนในตัวอย่าง

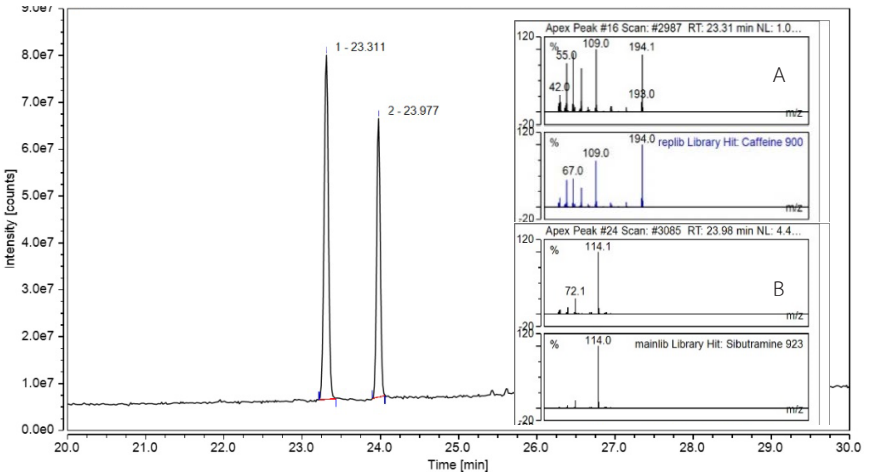
3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

จากการศึกษาโดยการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS จากผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนักจำนวน 20 ตัวอย่าง ตรวจพบสารไซบูทรามีนในผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนักจำนวน 2 ตัวอย่าง จากภาพที่ 4 แสดง Total Ion Chromatogram ที่เวลา 20.0-30.0 นาที ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C06 พบคาเฟอีน (Caffeine) เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์

ที่ 23.338 นาที จากภาพที่ 4A แสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างกับข้อมูลจากฐานข้อมูลโปรแกรม National Institute of Standards and Technology (NIST) และพบสารไซบูทรามีนเวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.997 นาที ดังภาพที่ 4B ซึ่งแสดงถึงการเปรียบเทียบกับการแตกมวลของสารตัวอย่างกับข้อมูลของสารที่มีอยู่ในโปรแกรม NIST โดยใช้ Selective Ion Monitoring Mode (SIM) ซึ่ง Mass Spectrum ของสารไซบูทรามีน คือ 58, 72 และ 114 (Khazan et al., 2014) จากภาพที่ 5 แสดง Total Ion Chromatogram ที่เวลา 20.0-30.0 นาที ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C18 พบคาเฟอีนเวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.311 นาที ดังภาพที่ 5A มีการเปรียบเทียบของตัวอย่างกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม NIST ภาพที่ 5B เป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างกับสารไซบูทรามีนที่ถูกพบเวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.997 นาที

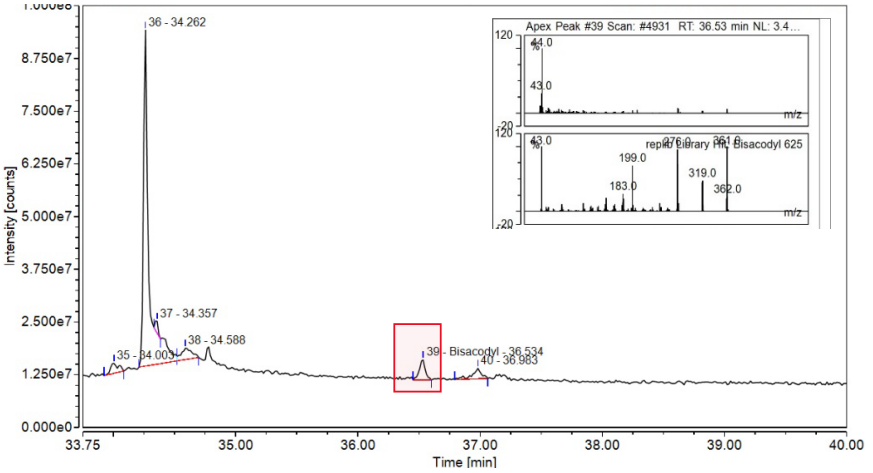


ภาพที่ 4 แสดง Total Ion Chromatogram ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C06 ที่เวลา 3.0-48.0 นาที A) สารคาเฟอีนถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 23.338 นาที และ B) สารไซบูทรามีนถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 23.997 นาที

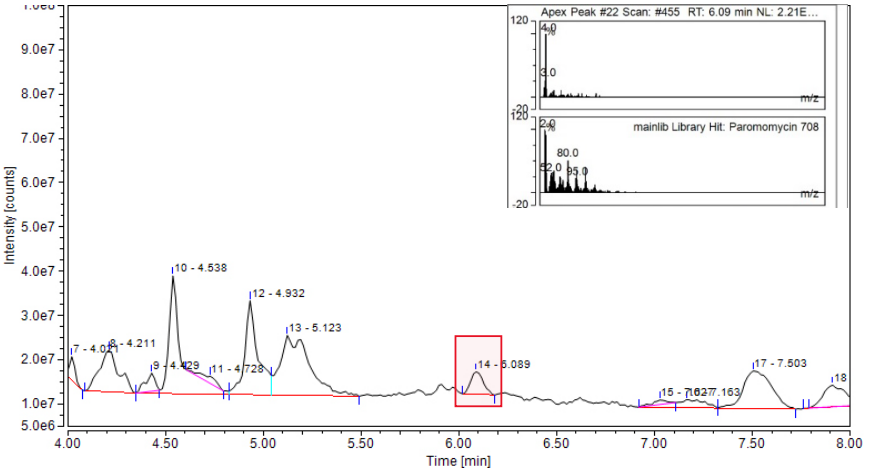


ภาพที่ 5 แสดง Total Ion Chromatogram ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C18 ที่เวลา 3.0-48.0 นาที A) สารคาเฟอีนถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 23.311 นาที และ B) สารไซบูทราถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 23.997 นาที

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบทั้งหมดคือ ผลิตภัณฑ์ประเภทกาแฟทำให้พบพีคของคาเฟอีน ดังภาพที่ 4A ในตัวอย่าง C06 เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.338 นาที และภาพที่ 5A ในตัวอย่าง C18 เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 23.311 นาที เป็นภาพแสดงสเปกตรัมการแตกมวลของสารตัวอย่างและสเปกตรัมการแตกมวลของคาเฟอีนที่ได้จากการวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานของโปรแกรม NIST



ภาพที่ 6 แสดง Total Ion Chromatogram ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C07 ที่เวลา 3.0-48.0 นาที สารบิซาโคดิลถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 36.534 นาที



ภาพที่ 7 แสดง Total Ion Chromatogram ของตัวอย่างกาแฟลดน้ำหนัก C19 ที่เวลา 3.0-48.0 นาที สารพาโรโมมัยซินถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่เวลา 6.089 นาที

จากภาพที่ 6 ตรวจพบสารปลอมปนในตัวอย่างกาแฟ C07 เวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 36.534 นาที จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS ได้มีการเปรียบเทียบสเปกตรัมของตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์กับสเปกตรัมจากโปรแกรม NIST พบว่าเป็นสารบิซาโคดิล (Bisacodyl) ซึ่งเป็นยาระบายแก้ท้องผูก โดยออกฤทธิ์กระตุ้นการบีบตัวของลำไส้แล้วเกิดการขับถ่าย ปัจจุบันมีการลักลอบใส่ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมอ้างว่าช่วยลดความอ้วนได้ซึ่งการกินยาระบายจะทำให้ร่างกายเสียสมดุล จัดอยู่ยาในบัญชี ก เป็นยามาตรฐานที่ใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาสุขภาพ ในประเทศไทยมีการอนุญาติให้ใช้เป็นยาที่ใช้เฉพาะโรคนั้นเท่านั้น (National Drug Information, 2021) และในตัวอย่างกาแฟ C19 จากภาพที่ 7 แสดงเวลาที่สารถูกชะออกมาจากคอลัมน์ที่ 6.089 นาที จากการวิเคราะห์พบสารพาโรโมมัยซิน

(Paromomycin) จัดเป็นยาปฏิชีวนะในกลุ่ม Aminoglycoside ใช้ในการรักษาการติดเชื้อของลำไส้ และการรักษาโรค Leishmaniasis ที่เกี่ยวกับอวัยวะภายใน (Coser et al., 2020)

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟลดน้ำหนักจำนวน 20 ตัวอย่าง พบสารไซบูทรามีนปลอมปนอยู่ 2 ตัวอย่าง คิดเป็น 10 % จากทั้งหมด โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR จากสเปกตรัมของตัวอย่างมีพีคที่สำคัญใกล้เคียงกับสเปกตรัมของ Sibutramine สอดคล้องกับงานวิจัยของ Popescu et al. (2015) และ Cebi et al. (2017) ที่พบตำแหน่งพีคที่สำคัญใกล้เคียงกันซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเป็นสารไซบูทรามีน และเมื่อใช้เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ด้วย GC-MS ในการยืนยันพบว่าในตัวอย่างมีการปลอมปนของสารไซบูทรามีนอยู่จริง จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR เทคนิคนี้สามารถใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้นได้ เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็ว และใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์เพียงเล็กน้อย เพื่อระบุสารต้องสงสัยหากต้องการความแม่นยำมากขึ้นควรมีสารมาตรฐานที่คาดว่าเป็นสารต้องสงสัยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสเปกตรัม ATR-FTIR ของสารตัวอย่างกับสารต้องสงสัย อีกทั้งยังทำงานร่วมกับเทคนิค GC-MS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมในการนำไปใช้ช่วยตรวจสอบ และพิสูจน์สารอันตรายหรือสารต้องห้ามที่ปลอมปนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในชั้นศาลได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทดลองจากภาควิชา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ขอขอบคุณคณะอาจารย์ที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

Coser, E. M., B. A. Ferreira, N. Branco, E. H. Yamashiro-Kanashiro, J. A. L. Lindoso, A. C. J. I. J. f. P. D. Coelho and D. Resistance. 2020. **Activity of paromomycin against Leishmania amazonensis: Direct correlation between susceptibility in vitro and the treatment outcome in vivo**. International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance. 14: 91-98.

Cebi, N., M. T. Yilmaz and O. J. F. C Sagdic. 2017. **A rapid ATR-FTIR spectroscopic method for detection of sibutramine adulteration in tea and coffee based on hierarchical cluster and principal component analyses**. Food Chemistry. 229: 517-526.

Deconinck, E., T. Cauwenbergh, J. Bothy, D. Custers, P. Courselle, J. J. J. o. p. De Beer and B. Analysis. 2014. **Detection of sibutramine in adulterated dietary supplements using attenuated total reflectance-infrared spectroscopy**. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 100: 279-283.

Department of mental health. 2019. **Toxic sibutramine a dangerous substance found in weight loss pills**. https://www.dmh.go.th/news-dmh/view.asp?id=29829. Accessed 31 May. 2022. [In Thai]

Food and drug administration public and consumer affairs division. 2021. **Bisacodyl, laxative and drug misuse**. https://dlink.me/etgCb. Accessed 4 Jun. 2021. [In Thai]

Jung, J., M. Hermanns-Clausen and W. J. F. s. i. Weinmann. 2006. **Anorectic sibutramine detected in a Chinese herbal drug for weight loss**. Forensic Science International. 161(2-3): 221-222.

Kanthamun, Chatuphol. 2019. **The dangers of dietary supplements containing sibutramine: a case study: Pluak Daeng Hospital Rayong Province**. Ya-wiphak. 10(39): 39-42. [In Thai]

Khazan, M., M. Hedayati, F. Kobarfard, S. Askari and F. J. I. R. C. M. J Azizi. 2014. **Identification and determination of synthetic pharmaceuticals as adulterants in eight common herbal weight loss supplements**. Iranian Red Crescent Medical Journal. 16(3).

Kiatyingangsulee, Niyada. 2019. **Magic Skin and Lean: A 'breaking abscess' reflects a dietary supplement regimen problem**. Ya-wiphak. 10(39): 43-58. [In Thai]

Lanzarotta, A., L. Lorenz, S. Voelker, T. M. Falconer and J. S. J. A. s. Batson. 2018. **Forensic drug identification, confirmation, and quantification using fully integrated gas Chromatography with fourier transform Infrared and mass spectrometric detection (GC-FT-IR-MS)**. SAGE journals. 72(5): 750-756.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2019. **Sibutramine Harmful substances in coffee lose weight**. https://warning.acfs.go.th/th/articles-and research/view/?page=24. Accessed 14 Dec. 2021. [In Thai]

National Drug Information. 2021. **Thailand National List of Essential Medicines (NLEM)**. http://ndi.fda.moph.go.th/uploads/file_news/20210723999860392.pdf. Accessed 14 Dec. 2021 [In Thai]

Popescu, A. M., G. L. J. U. S. B. Radu, Series B: Chemistry and M. Science. 2015. **Detection of adulterants by FTIR and GC-MS in herbal slimming food supplements**. UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science. 77(4): 221-230.

PubChem. **Sibutramine**. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sibutramine. Accessed 31 May. 2022.

World Obesity Federation. 2021. **Obesity and overweight**. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight. Accessed 14 Dec. 2021.

(Received: 9/Nov/2021, Revised: 25/May/2022, Accepted: 1/Jun/2022)

การศึกษาวัสดุจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชน
A Study of Natural Compound Materials from Ancient Formulas to Create Community Products

ถิร รุ่งเลิศศรี

Thira Runglertsri

สาขาสถาปัตยกรรมภายใน คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Department of interior architecture, Faculty of engineering and architecture

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

E-mail: thira_ru@rmutto.ac.th โทร. 098-6324936

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการขึ้นรูปวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั้งภายนอกและภายในนั้นก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะโลกร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการขึ้นรูปด้วยสารประกอบทางเคมี เช่นสารประกอบจากแร่ยิบซั่มในซีเมนต์เป็นต้น ทั้งการย่อยสลายซึ่งเป็นไปได้ยากและไม่ก่อให้เกิดผลดีกับดินทำให้พืชไม่แข็งแรงอีกด้วย ในอดีตเรามีภูมิปัญญาชาวบ้านที่นับวันก็จะยิ่งสูญหายไป การขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสูตรโบราณที่เราเรียกกันว่าปูนปั้นสดนี้ยังคงพบได้ในโบราณสถานเช่นเจดีย์วัดช้างล้อมจังหวัดสุโขทัยเป็นต้น งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงประจักษ์โดยได้ทำการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกดโดยทำการทดสอบวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำมันตังอิ๊ว น้ำผึ้งและน้ำอ้อยเคี่ยว โดยการนำสารประกอบจากธรรมชาติดังกล่าวมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การขึ้นรูปโดยการบดอัดลงแม่พิมพ์ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในที่ร่มด้วยอุณหภูมิปกติ แล้วจึงนำมาทำการทดสอบวัสดุด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกดโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่าวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำมันตังอิ๊วมีความแข็งแรงจนสามารถถอดออกจากพิมพ์ได้ในวันที่ 14 และทดสอบอีกครั้งในวันที่ 28 จากการทดสอบทั้ง 2 ครั้งพบว่าสามารถรับแรงกดได้ถึง 16 กิโลนิวตัน (1 กิโลกรัม = 9.81 นิวตัน) หรือ 1631.55 กิโลกรัม/ตารางนิ้ว ในขณะที่วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำผึ้งและน้ำอ้อยเคี่ยวมีความแข็งแรงจนสามารถถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ในวันที่ 2 จากการทดสอบทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน วัสดุดังกล่าวสามารถรับแรงกดได้ 6 กิโลนิวตัน หรือ 611.83 กิโลกรัม/ตารางนิ้ว ในขณะที่ปูนปลาสเตอร์สามารถรับแรงกดได้เพียง 2 กิโลนิวตันหรือ 203.94 กิโลกรัม/ตารางนิ้วเท่านั้น สรุปผลได้ว่าวัสดุที่ขึ้นรูปจากสารประกอบธรรมชาติสามารถนำมาขึ้นรูปวัสดุต่าง ๆ เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ไม่จำเป็นต้องใช้ความแข็งแรงของวัสดุมากได้ และเมื่อเกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์จนไม่สามารถใช้งานได้ก็สามารถทุบทำลายได้ง่ายสามารถย่อยสลายคืนสู่ธรรมชาติ ทำให้วัสดุจากสารประกอบจากธรรมชาติจากสูตรโบราณนั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : วัสดุ สารประกอบธรรมชาติ สูตรโบราณ ผลิตภัณฑ์ชุมชน

Abstract

Nowadays, forming interior and exterior building materials has directly and indirectly caused global warming. Such a problem is resulted from forming materials, particularly, chemical compounds, such as Gypsum Compound of cement. The compound is hard to decompose and can lead to negative impacts on soil, which is eventually resulted in weak plants. Local wisdom, which tends to gradually diminish its role even though it has been developed since the past, is probably a solution to the problem. Chedis established at Wat Chang Lom, Sukhothai Province. This research study is an

empirical research, which aimed to test the endurance of a material by means of a pressure testing machine. The material was formed by blending mature shells together with three compounds: Tung oil, honey, and steamed sugar cane juice, in a proper proportion. Then, the material was pressed in a mold which was 5 cm wide, 5 cm long, and 5 cm high. After that, it was dried in a normal temperature and tested with the pressure testing machine, in three periods of time, namely, on the 7th day, the 14th day, and the 28th day. It was found that the material based on mature shells and a Tung oil compound was so endure that it could be removed from the mold on the 14th day. When it was retested on the 28th day, it was found that the material could bear the pressure of 16 kilonewtons or 1631.55 kilograms/a square inch. However, the material based on plaster could bear the pressure of 2 kilonewtons or 203.94 kilograms/a square inch. From the research results, it can be concluded that natural compounds can be used to form materials to create a community product, which does not require much endurance. The compound can replace the use of scientific mortar produced by industrial factories. Also, when a particular product cannot be used anymore, it is easy to destroy it. This can lead to natural decomposition, and that is why such a natural compound created with the ancient recipe is environment friendly.

Keywords : materials, natural compounds, ancient formulas, community product

1. บทนำ

วัสดุในท้องตลาด ในปัจจุบันมีมากมายหลายประเภทที่ขึ้นรูปเป็นวัสดุแผ่นจากสิ่งของเหลือใช้ต่าง ๆ เช่น แผ่นไม้อัดที่มาจากวัชพืชแต่ก็ยังมีต้นทุนในการผลิตที่สูงเพราะยังต้องใช้สารเคมีเป็นส่วนประกอบในการขึ้นรูปวัสดุที่เราเรียกกันว่าสารประกอบ เช่นซีเมนต์ (มีส่วนประกอบของแร่ยิบซั่มที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ) (Chovichern, 1996) ที่เรารู้จักกันในชื่อไม้อัดซีเมนต์บอร์ดเป็นต้น และยังมีสารประกอบบางประเภทที่ใช้เคมีภัณฑ์ในการขึ้นรูป (Tresuwan, 1986) ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมในภายภาคหน้า

สารประกอบโบราณนั้นมีมานานตั้งแต่สมัยสุโขทัยดังที่ปรากฏให้เห็นในโบราณสถาน เจดีย์วัดช้างล้อม จังหวัดสุโขทัย อายุ 636 ปี (สร้างเมื่อ พ.ศ. 1927) งานปูนปั้นสดเป็นงานปั้นโบราณที่ใช้ปูนที่มีส่วนประกอบจากปูนเปลือกหอยสุก เยื่อกระดาษสา และน้ำมันตังอิ๊ว หรือน้ำอ้อยเคี่ยวมาเป็นส่วนผสม เพื่อเสริมให้ปูนสดมีเวลาในการปั้นงานจนแล้วเสร็จและมีความแข็งแรงจนสามารถผ่านกาลเวลา ให้ได้พบเห็นประติมากรรมงานช่างโบราณมาจนถึงงานช่างเพชรบุรี (ปูนปั้นสด) ในปัจจุบัน (Sankvalpech, 2015) สมเด็จพุฒาจารย์โต พรหมรังสี เป็นพระอริยสงฆ์ที่สำคัญมากท่านหนึ่งในรัตนโกสินทร์ตอนต้นจนถึงตอนกลาง (ท่านมีช่วงชีวิตตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 1-5) ท่านได้สร้างวัตถุมงคลไว้มากมายนับไม่ถ้วน นอกจากพระพุทธรูปสำคัญขนาดใหญ่ตามวัดต่าง ๆ เช่น พระพุทธรูปปางยืนอุ้มบาตรที่วัดอินทรวิหาร (วัดบางขุนพรหม) กรุงเทพ และพระนอนที่วัดสะตือ อยุธยา เป็นต้น สมเด็จพุฒาจารย์โต พรหมรังสี สร้างพระเนื้อผงชิ้นฟักขึ้นอีกหลายวาระ ๆ ละจำนวน 84,000 องค์ ตามจำนวนพระธรรมขันต์ แล้วทำการบรรจุลงพระหรือกรุที่ท่านได้สร้างไว้เพื่อเป็นการสืบพระศาสนาตามความเชื่อโบราณที่มีสืบต่อกันมา และท่านยังได้สร้างอีกหลายวาระด้วยกันพระผงชิ้นฟักคือพระสมเด็จที่เรียกกันอยู่ทุกวันนี้ (Office of Permanent Secretary, Ministry of Education, 2016)

ในปัจจุบันเราสามารถพบพระสมเด็จเหล่านี้ได้ในตลาดพระ ระดับล่างจนถึงระดับบนหรือที่เรียกกันติดปากว่าพระสมเด็จเป็นพระที่มีราคาหลักร้อยจนถึงหลักล้าน (Graduate School of Silpakorn University, 2006) ทุกวันนี้เราสามารถใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการตรวจพิสูจน์กายภาพการเปลี่ยนแปลงของผิวองค์พระผ่านกล้องขยายกำลังสูงดิจิตอลหรือที่เรียกกันว่ากล้องพันเอ็กซ์ (กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล) รวมไปถึงการตรวจองค์พระด้วยน้ำยาเคมี CaCo3 (แคลเซียมคาร์บอเนต)

เพื่อตรวจอายุพระจากแคลเซียมที่คายตัวออกมาจากปูนเปลือกหอย (Graduate School of Silpakorn University, 2002) ซึ่งทำให้เราสามารถแยกแยะพระจริงและพระปลอมออกจากกันได้อย่างชัดเจนโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ ตลาดพระระดับล่างนั้นผู้ขายไม่มีความรู้ในการเก็บรักษาวัตถุโบราณ (วัตถุใด ๆ ที่มีอายุเกิน 100 ปีขึ้นไป) (Office of Permanent Secretary, Ministry of Education, 2016) ก็จะเก็บพระแบบพร้อมขายคือกางโต๊ะคลายผ้าออกก็พร้อมขาย หมดเวลาขายก็รวบผ้าเก็บ ซึ่งในห่อผ้ามีพระแท้ พระปลอมและพระโลหะปะปนกันอยู่ทำให้เกิดความเสียหายแตกหรือบิ่นได้ จากการสำรวจตลาดพระระดับล่างพระสมเด็จแท้ที่สมเด็จโตท่านสร้างแทบจะไม่มีการบิ่นหรือการแตกหักเลย ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในการสร้างพระสมเด็จ พระสมเด็จที่สมเด็จพุฒาจารย์โตท่านสร้างนั้นมีส่วนประกอบจากปูนขาวที่ได้จากปูนเปลือกหอยท่านได้ใช้ น้ำอ้อยเคี่ยวและน้ำผึ้งมาเป็นสารประกอบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2369-2400 และได้เปลี่ยนมาใช้น้ำมันตังอิ๊วหรือทั้งอิ๊ว (เป็นน้ำมันพืชที่ได้จากเมล็ดของต้นทั้งจากประเทศจีน) มาเป็นสารประกอบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2400-2415 (Office of Permanent Secretary, Ministry of Education, 2016) ด้วยเหตุผลว่าให้ความแข็งแรงต่อวัสดุได้ดีกว่าการใช้น้ำอ้อยเคี่ยวเป็นสารประกอบ ซึ่งทำให้พระสมเด็จสามารถผ่านกาลเวลามาจนถึงปัจจุบัน

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุที่ใช้สารประกอบจากธรรมชาติจากสูตรโบราณ ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปวัสดุ และทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ไปสู่การนำมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เพื่อชุมชนกระแสบน ตำบลกระแสบน อำภอแกลง จังหวัดระยอง เนื่องจากชุมชนดังกล่าวอยู่ในจังหวัดที่สามารถหาเปลือกหอยที่เหลือจากการบริโภคในท้องถิ่นและชุมชน มาทำปูนเปลือกหอยสุกที่ได้จากการเผาเปลือกหอย เพื่อทดแทนสารประกอบวัสดุจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์ต่อการรักษาสิ่งแวดล้อม โดยใช้มีการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ จดบันทึกและทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ เป็นการวิจัยเพื่อการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมเชิงช่างโบราณ โดยทำการทดลองนำสารประกอบทั้งสามประเภทนั้นมาขึ้นรูปแผ่นวัสดุว่าสามารถทำได้หรือไม่ ต้องทำอย่างไร ซึ่งเป็นสารประกอบจากธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และทำการทดสอบความแข็งแรง ทนทาน ด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงดึงและแรงกด (Universal Testing Machine) (Kanchanawarong, 2002) ว่ามีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้เพื่อทดแทนสารประกอบจากเคมีภัณฑ์ในการขึ้นรูปวัสดุแผ่นที่มีขายอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบันหรือไม่ เพื่อเป็นการนำเอาองค์ความรู้เชิงช่างโบราณมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมต่อไป

2. วิธีการทดลอง

เนื่องจากในการสร้างวัสดุสูตรโบราณ มุ่งเน้นไปที่การศึกษาความแข็งแรงทนทานและชนิดต่าง ๆ ของสารประกอบที่ใช้ในการผสมขึ้นรูป เพื่อสารประกอบที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมาสร้างวัสดุสูตรโบราณแล้วทำการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุด้วยวิธีการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงดึงและแรงกด (Universal Testing Machine) เพื่อหาค่าเทียบเคียงกับความแข็งแรงทนทานของวัสดุสูตรโบราณต่าง ๆ เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกและทดแทนในอนาคต ตามแนวความคิดพอเพียงและพึ่งพาตนเอง

2.1 ศึกษาวรรณกรรมสารประกอบธรรมชาติจากตำรับการสร้างพระสมเด็จโตเพื่อทำความเข้าใจว่าสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณนั้นมีอะไรบ้างมีขั้นตอนการสร้างอย่างไร โดยการศึกษาจากพระเครื่องที่สมเด็จโตสร้างขึ้นทั้งทางด้านกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลที่มีกำลังการขยายภาพสูงวรรณกรรมและบันทึกที่เกี่ยวกับการสร้างพระสมเด็จไม่ว่าจะเป็นส่วนผสมของวัสดุและสารประกอบ เพื่อหาความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันไปสู่การสร้างวัสดุจากสารประกอบทางธรรมชาติสูตรโบราณ ที่สามารถหาได้ในพื้นที่และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.2 ศึกษากรรมวิธีขั้นตอนการขึ้นวัสดุแผ่นเพื่อทำการทดสอบว่าส่วนผสมทางธรรมชาติสูตรโบราณสามารถขึ้นรูปได้โดยวิธีการใด อัตราส่วนผสมใดสามารถขึ้นรูปดังกล่าวได้

2.3 นำข้อมูลที่ได้มาขึ้นรูปวัสดุแผ่นตัวอย่างจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณว่ามีความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปหรือไม่อย่างไร โดยการทดลองขึ้นรูปวัสดุแผ่นขนาดความกว้าง 6 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร และมีความ

หนา 1 เซนติเมตร แล้วนำไปผึ่งลมที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 7 วัน โดยทำการสังเกตความเปลี่ยนแปลงของวัสดุเป็นเวลา 7 วัน เพื่อดูความหดหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ

2.4 นำความรู้ที่ได้มาสร้างแม่แบบเพื่อบดอัดวัสดุที่มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร (การทดสอบแรงกดในระดับตารางนิ้ว) เพื่อทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีการกด โดยนำวัสดุที่ถอดออกจากแม่แบบไปผึ่งลมที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำเอาวัสดุไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกดแล้วทำการจดบันทึก

2.5 ทำการทดลองซ้ำโดยนำวัสดุมาบดอัดลงแม่แบบที่มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีการกด โดยนำวัสดุที่ถอดออกจากแม่แบบที่ไปผึ่งลมที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 14 วัน นำวัสดุไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกดแล้วทำการจดบันทึก

2.6 ทำการทดลองซ้ำโดยนำวัสดุมาบดอัดลงแม่แบบที่มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีการกด โดยนำวัสดุที่ถอดออกจากแม่แบบที่ไปผึ่งลมที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 28 วัน นำวัสดุไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบแรงกดแล้วทำการจดบันทึก

2.7 นำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบมาตรฐานวัสดุแผ่น (มอก.) เพื่อให้ทราบว่าแรงกดจากวัสดุที่ได้ทำการทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์หรือไม่อย่างไร ทำการจดบันทึก

2.8 ทำการสร้างวัสดุแล้วนำไปผึ่งลมที่อุณหภูมิปกติโดยใช้เวลาที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลอง เพื่อให้ได้วัสดุที่สร้างจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณ

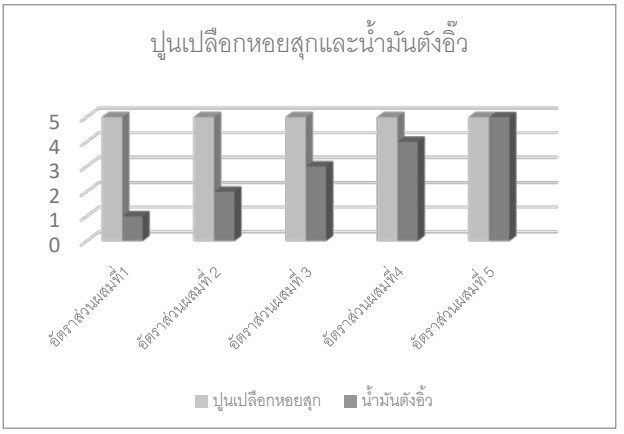
2.9 ทำการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุมชน

2.10 นำความรู้ที่ได้ออกเผยแพร่ให้กับชุมชนกระแสบน ตำบลกระแสบน อำเภอแกลง จังหวัดระยอง และต่อยอดองค์ความรู้ที่ได้ไปสู่การสร้างสินค้าด้วยวัสดุท้องถิ่นภายในชุมชน ด้วยสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณต่อไป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงประจักษ์โดยได้ทำการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกด โดยทำการทดสอบวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบทั้ง 3 ชนิดคือน้ำมันตังอิ๊ว น้ำผึ้งและน้ำอ้อยเคี่ยว โดยการนำสารประกอบจากธรรมชาติดังกล่าวมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยแบ่งอัตราส่วนต่าง ๆ ในการผสมดังนี้

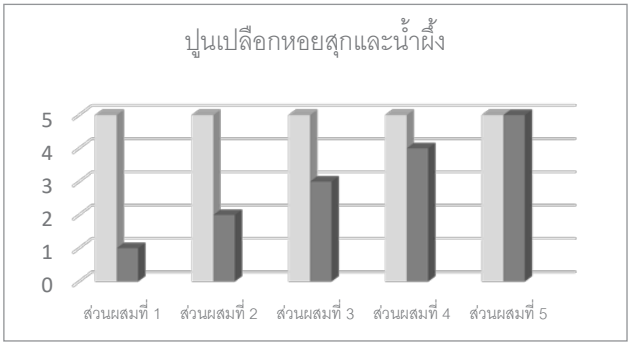
3.1 ปูนเปลือกหอยสุกและน้ำมันตังอิ๊ว โดยใช้ส่วนผสม ปูน 500 กรัม และน้ำมันตังอิ๊ว 100 กรัม (5/1), ปูน 500 กรัม และน้ำมันตังอิ๊ว 200 กรัม (5/2), ปูน 500 กรัม และน้ำมันตังอิ๊ว 300 กรัม (5/3), ปูน 500 กรัมและน้ำมันตังอิ๊ว 400 กรัม(5/4), ปูน 500 กรัม และน้ำมันตังอิ๊ว 500 กรัม (1/1)



ภาพที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมของปูนเปลือกหอยและน้ำมันตังอิ๊ว

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสม 5/1 นั้นวัสดุที่ได้มีความแห้งจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วและแตกหักง่าย อัตราส่วนผสม 5/2 นั้นวัสดุที่ได้มีความหยุ่นคล้ายปูนฉาบสามารถนำไปขึ้นรูปได้ อัตราส่วน 5/3, 5/4, 5/5 นั้นวัสดุที่ได้มีความเหลวจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้

3.2 ปูนเปลือกหอยสุกและน้ำผึ้ง โดยใช้ส่วนผสม ปูน 500 กรัม และน้ำผึ้ง 100 กรัม (5/1), ปูน 500 กรัม และน้ำผึ้ง 200 กรัม (5/2), ปูน 500 กรัม และน้ำผึ้ง 300 กรัม (5/3), ปูน 500 กรัม และน้ำผึ้ง 400 กรัม (5/4,) ปูน 500 กรัม และน้ำผึ้ง500 กรัม (1/1)

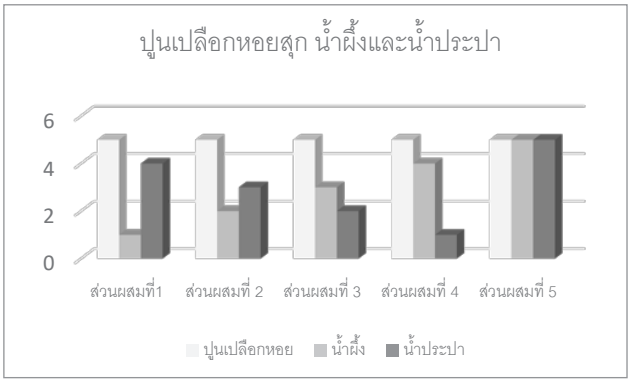


ภาพที่ 2 แสดงอัตราส่วนผสมของปูนเปลือกหอยและน้ำผึ้ง

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสม 5/1 นั้นวัสดุที่ได้มีความแห้งจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วและแตกหักง่าย อัตราส่วนผสม 5/2 นั้นวัสดุที่ได้มีความแห้งจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วและแตกหักง่าย อัตราส่วน 5/3, 5/4, 5/5 นั้นวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้

จากการทดลองสารประกอบปูนเปลือกหอยและน้ำผึ้งดังกล่าวพบไม่สามารถนำวัสดุที่ได้มาขึ้นรูปได้ ดังนั้นจึงได้ปรับสูตรโดยการนำน้ำผึ้งมาผสมกับน้ำประปาเพื่อเจือความเข้มข้นของน้ำผึ้งดังนี้

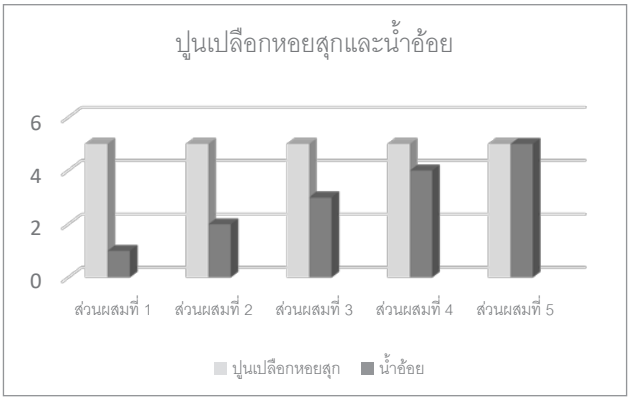
ปูนเปลือกหอย น้ำผึ้งและน้ำประปา โดยใช้ส่วนผสม ปูน 500 กรัม น้ำผึ้ง 100 กรัม และน้ำประปา 400 กรัม (5/1/4), ปูน 500 กรัม น้ำผึ้ง 200 กรัม และน้ำประปา 300 กรัม (5/2/3), ปูน 500 กรัม น้ำผึ้ง 300 กรัม และน้ำประปา 200 กรัม (5/3/2), ปูน 500 กรัม น้ำผึ้ง 400 กรัม และน้ำประปา 100 กรัม (5/4/1), ปูน 500 กรัม น้ำผึ้ง 500 กรัม และน้ำประปา 500 กรัม (1/1/1)



ภาพที่ 3 แสดงอัตราส่วนผสมของปูนเปลือกหอยสุก น้ำผึ้งและน้ำประปา

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสม 5/1/4 นั้นวัสดุที่ได้มีความเหลวจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวและแตกหักง่าย อัตราส่วนผสม 5/2/3 นั้นวัสดุที่ได้มีความเหลวคล้ายปูนฉาบสามารถนำไปขึ้นรูปได้มีความหดตัวต่ำสามารถนำไปขึ้นรูปเพื่อทำการทดลองต่อไป อัตราส่วน 5/3/2, 5/4/1, 1/1/1 นั้นวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วจนเกินไปสามารถขึ้นรูปได้แต่มีความหดตัวสูงเกิดการแตกร้าวในขณะผึ่งลมไม่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเพื่อทำการทดลอง

3.3 ปูนเปลือกหอยและน้ำอ้อย โดยใช้ส่วนผสม ปูน 500 กรัม และน้ำอ้อย 100 กรัม (5/1), ปูน 500 กรัม และน้ำอ้อย 200 กรัม (5/2), ปูน 500 กรัม และน้ำอ้อย 300 กรัม (5/3), ปูน 500 กรัม และน้ำอ้อย 400 กรัม (5/4), ปูน 500 กรัม และน้ำอ้อย 500 กรัม (1/1)

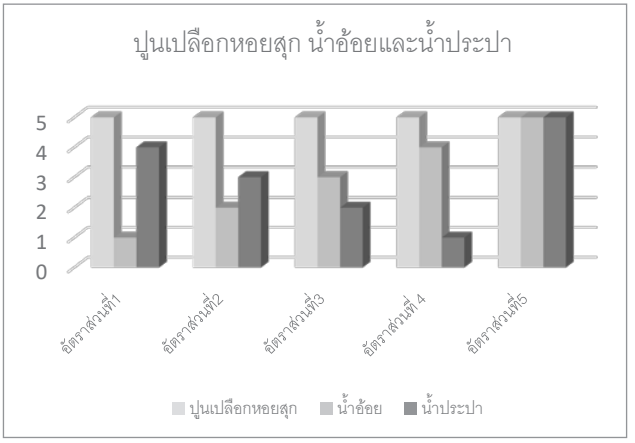


ภาพที่ 4 แสดงอัตราส่วนผสมของปูนเปลือกหอยสุกและน้ำอ้อย

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสม 5/1 นั้นวัสดุที่ได้มีความแห้งจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วและแตกหักง่าย อัตราส่วนผสม 5/2 นั้นวัสดุที่ได้มีความแห้งจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วและแตกหักง่าย อัตราส่วน 5/3 ,5/4, 5/5 นั้นวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้

จากการทดลองสารประกอบปูนเปลือกหอยและน้ำอ้อยดังกล่าวพบไม่สามารถนำวัสดุที่ได้มาขึ้นรูปได้ ดังนั้นจึงได้ปรับสูตรโดยการนำน้ำอ้อยมาผสมกับน้ำประปาเพื่อเจือความเข้มข้นของน้ำอ้อยดังนี้

ปูนเปลือกหอย น้ำอ้อยและน้ำประปา โดยใช้ส่วนผสม ปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 100 กรัม และน้ำประปา 400 กรัม (5/1/4), ปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 200 กรัม และน้ำประปา 300 กรัม (5/2/3), ปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 300 กรัม และน้ำประปา 200 กรัม (5/3/2), ปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 400 กรัม และน้ำประปา 100 กรัม (5/4/1), ปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 500 กรัม และน้ำประปา 500 กรัม (1/1/1)



ภาพที่ 5 แสดงอัตราส่วนผสมของปูนเปลือกหอยสุก น้ำอ้อยและน้ำประปา

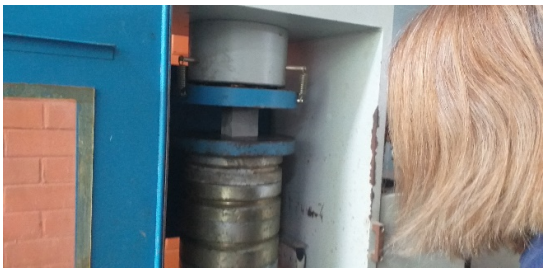
จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสม 5/1/4 นั้นวัสดุที่ได้มีความเหลวจนเกินไปไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกทั้งวัสดุที่ได้แข็งตัวและแตกหักง่าย อัตราส่วนผสม 5/2/3 นั้นวัสดุที่ได้มีความเหลวคล้ายปูนฉาบสามารถนำไปขึ้นรูปได้เมื่อทิ้งให้แห้งมีความหดตัวต่ำสามารถนำไปขึ้นรูปเพื่อทำการทดลองต่อไป อัตราส่วน 5/3/2, 5/4/1, 1/1/1 นั้นวัสดุที่ได้แข็งตัวเร็วจนเกินไปสามารถขึ้นรูปได้แต่มีความหดตัวสูงไม่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเพื่อทำการทดลอง

ภาพที่ 6 แสดงเครื่องทดสอบด้วยแรงดึงและแรงกด (Universal Testing Machine)

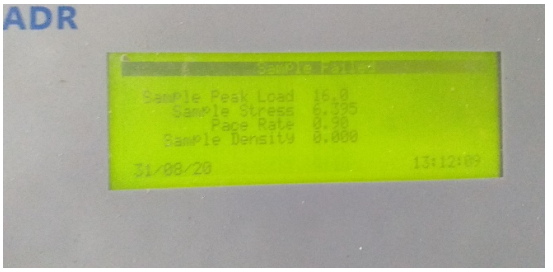
ภาพที่ 7 แสดงวัสดุที่ถูกบดอัดลงแม่แบบขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร

ภาพที่ 8 แสดงวัสดุที่แข็งตัวแล้วก่อนทำการทดสอบ

ภาพที่ 9 แสดงวัสดุหลังทำการทดสอบ

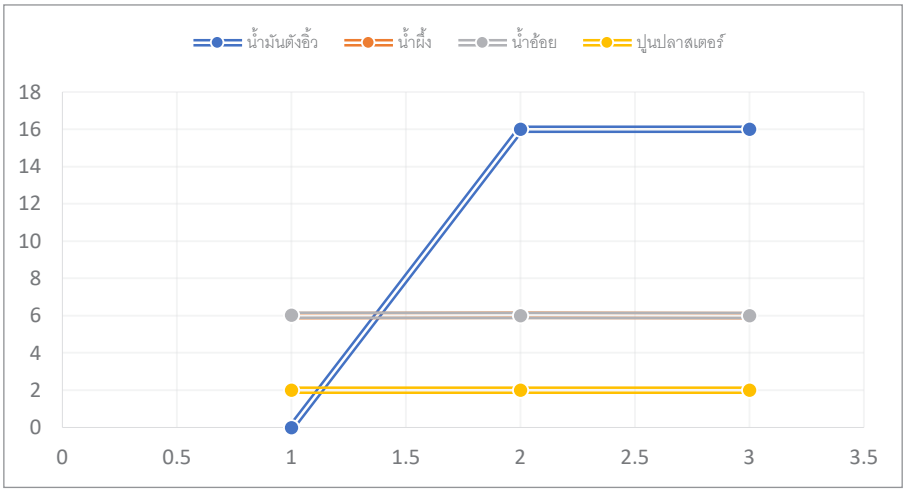


ภาพที่ 10 แสดงการทดสอบวัสดุด้วยเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงอัด

วัสดุจากธรรมชาติสูตรโบราณที่ได้ปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำมันตังอิ๊วมีส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปคือปูนเปลือกหอยสุก 500 กรัม และน้ำอ้อย 200 กรัม (5/2), ปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำผึ้งและน้ำประปาคือปูนเปลือกหอย 500 กรัม น้ำผึ้ง 200 กรัม และน้ำประปา 300 กรัม (5/2/3) และปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำอ้อยและน้ำประปาคือปูน 500 กรัม น้ำอ้อย 200 กรัมและน้ำประปา 300 กรัม (5/2/3) มีความแข็งแรงและหดตัวน้อยมีความเหมาะสมที่จะนำไปขึ้นรูปด้วยการบดอัดลงในแม่แบบวัสดุที่มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร และทิ้งให้แห้งในร่มด้วยอุณหภูมิปกติเพื่อทดสอบความแข็งแรงของวัสดุโดยเครื่องทดสอบวัสดุด้วยแรงกด



ภาพที่ 12 แสดงค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกด (กิโลนิวตัน)

พบว่าวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุกและสารประกอบจากน้ำมันตังอิ๊วมีความแข็งแรงจนสามารถถอดออกจากพิมพ์ได้ในวันที่ 14 และทดสอบอีกครั้งในวันที่ 28 จากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง พบว่าสามารถรับแรงกดได้โดยเฉลี่ยถึง 16 กิโลนิวตัน (1 กิโลกรัม = 9.81 นิวตัน) หรือ 1631.55 กิโลกรัม/ตารางนิ้ว ในขณะที่วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยปูนเปลือกหอยสุก

และสารประกอบจากน้ำผึ้ง น้ำอ้อยและน้ำประปามีความแข็งแรงจนสามารถถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ในวันที่ 2 จากการทดสอบทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน วัสดุดังกล่าวสามารถรับแรงกดได้โดยเฉลี่ย 6 กิโลนิวตันหรือ 611.83 กิโลกรัม/ตารางนิ้ว ในขณะที่ปูนปลาสเตอร์ (มักนำมาหล่อทำเป็นตุ๊กตาฝึกระบายสี) สามารถรับแรงกดได้โดยเฉลี่ยเพียง 2 กิโลนิวตันหรือ 203.94 กิโลกรัม/ตารางนิ้วเท่านั้น

ภาพที่ 13 แสดงแม่พิมพ์จากดินน้ำมันเพื่อขึ้นรูป

ภาพที่ 14 แสดงการหล่อวัสดุจากธรรมชาติจากสูตรโบราณ

ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้วัสดุจากธรรมชาติจากสูตรโบราณ

4. สรุปผล

จากการศึกษาวัสดุจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่าสารประกอบจากธรรมชาติอันได้แก่ ปูนเปลือหอยสุก น้ำมันตังอิ๊ว น้ำผึ้งและน้ำอ้อยเคี่ยว พบว่าน้ำมันตังอิ๊วมีอัตราการรับแรงกดได้สูงสุด แต่ใช้เวลานานถึง 14 วันในการเซ็ตตัว ทั้งยังต้องนำเข้าจากประเทศจีน จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิต น้ำผึ้งและ

น้ำอ้อยสามารถรับแรงกดได้ดีแต่น้ำผึ้งมีราคาสูงในท้องตลาดจึงไม่ควรนำมาใช้ในการผลิต น้ำอ้อยมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายราคาไม่สูงและใช้น้ำประปาผสม ใช้เวลาในการแข็งตัวเพียง 12 ชม. ก็สามารถนำออกจากแม่แบบได้ มีความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชนเช่นกระถางต้นไม้ ตุ๊กตาชุมชน และผลิตภัณฑ์อื่นที่สามารถขึ้นรูปได้จากปูน เพื่อพัฒนาไปสู่การใช้ในงานก่อสร้างทั้งภายในและภายนอกได้เช่นปูนฉาบ และวัสดุแผ่นที่ขึ้นรูปได้จากการบดอัดเช่น วีว่าบอร์ด (ไม้อัดซีเมนต์บอร์ด) เป็นต้น ทำให้วัสดุจากสารประกอบจากธรรมชาติจากสูตรโบราณนั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมแก่การนำองค์ความรู้ที่ได้เผยแพร่สู่ชุมชนการแสบน ตำบลกระแสบน อำเภอแกลง จังหวัดระยอง

4.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากผลสรุปวัสดุจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณนั้นใช้การระเหยของความชื้นในการขึ้นรูปให้แข็งตัว จึงต้องวางวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปไว้ในที่ร่มเพื่อป้องกันน้ำหรือน้ำฝนมาโดนวัสดุขึ้นรูปจึงจำเป็นต้องจัดเตรียมพื้นที่สำหรับวางวัสดุดังกล่าวให้ปลอดภัยจากน้ำ ความชื้นและอากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกเพื่อให้วัสดุแข็งตัวได้ในช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อการถอดแบบและทำการทดสอบวัสดุต่อไป

4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

วัสดุจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณอาจต่อยอดไปได้อีกโดยการนำวิธีการสร้างผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามาประยุกต์ใช้ในการสร้างวัสดุ โดยการนำน้ำผึ้ง น้ำอ้อยหรือน้ำมันตังอิ๊วมาผสมกับปูนเปลือกหอยสุก เพื่อขึ้นรูปโดยแม่แบบขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร นำวัสดุที่ขึ้นรูปได้แล้วไปตากลมเพื่อไล่ความชื้นออกจากวัสดุจนแห้งพอประมาณแล้วนำเอาเข้าไปเผาไฟในอุณหภูมิ 800 , 1,000 และ 1,200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เตาเย็นตัวลงเองจึงนำวัสดุที่ผ่านการเผาออกจากเตาเผา ไปทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบด้วยแรงกดเพื่อหาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของวัสดุที่ผ่านความร้อนในอุหภูมิที่ต่างกัน หรือพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องเคลือบเผาจากวัสดุจากสารประกอบจากธรรมชาติ เพื่อขยายองค์ความรู้ทางการสร้างวัสดุจากสารประกอบธรรมชาติจากสูตรโบราณให้กว้างมากขึ้น จนสามารถขยายความสามารถในการนำมาใช้ให้ได้ง่ายขึ้นเพื่อนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชนกระแสบน ตำบลกระแสบน อำเภอแกลง จังหวัดระยองต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

Chovichern, V. 1996. **Concrete technology**. Sampanpanith printing, Bangkok. (in Thai)

Graduate School of Silpakorn University. 2002. **Analysis of shell mortar at Wangphai archeology site**, n.p., Bangkok. (in Thai)

Graduate School of Silpakorn University. 2006. **Commercial buddha: amulet**. n.p., (in Thai)

Kanchanawarong, U. 2002. **Material testing**. Siam sport sindicade, Bangkok. (in Thai)

Office of Permanent Secretary, Ministry of Education. 2016. **Teaching books for the emperor of amulets**. Office for the promotion of non-formal education and informal education, Bangkok. (in Thai)

Sankvalpech, N. 2015. **Study material and technic plastering by technician Phetchaburi**, n.p., (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute. 2004. **Tis. 409-2525 method for testing the compressive of stick concrete**, n.p., Ministry of Industry. (in Thai)

Tresuwan, S. 1986. **Construction and material properties mechanical behavior, volume 2**. Physics center printing, Bangkok.

(Received: 27/Dec/2021, Revised: 29/May/2022, Accepted: 5/Jun/2022)

การพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

The Development of Massage Chairs for The Elderly Using Computer Software by Integrating from Local Wisdom

ยิ่งยง รุ่งฟ้า[1]* วุฒิชัย ยังสว่าง[2] และมธุรส ชาวไร่ปราณ[3]

Yingyong Rungfah[1]*, Wuttichai Youngswaing[2] and Maturose Chaoraiparn[3]

[1] หสาขาวิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

[3] สาขาวิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

**E-mail: Yingypng_ru@Rmutto.ac.Thl.com โทร. 081-4984766*

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่องการพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และนำไปประเมินประสิทธิภาพทางด้านการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ อาการปวดเมื่อยเป็นอาการที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม ทำการประเมินโดยผู้สูงอายุและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ผู้สูงอายุชายและหญิง โดยผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยคัดเลือกผู้สูงอายุชายและหญิงที่มีอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม มีปัญหาทางด้านเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ จำนวน 10 คน จากสถาบันเวชศาสตร์ฟื้นฟูผู้สูงอายุ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดนนทบุรี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทย แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการวางระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแบบประเมินประสิทธิภาพโดยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพ 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน วันละ 1 ชั่วโมง ผลของการวิจัยสามารถแยกออกมาเป็น 2 ส่วนได้แก่ ผลการออกแบบเป็นผลสรุปจากผลจากการศึกษาเพื่อนำมาการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น เก้าอี้นวดมีขนาดสัดส่วนในภาพรวม กว้าง 900 มิลลิเมตร ยาว 2,000 มิลลิเมตร สูง1,500 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักเก้าอี้นวดผลิตจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เป็นส่วนที่ยึดติดกับที่ใช้ท้าวแขนผลิตจากพลาสติก ABS โดยใช้กรรมวิธีฉีดขึ้นรูป ส่วนที่ใช้รองนั่ง, พนักพิง, ส่วนที่พักเท้าผลิตจากไม้อัดขนาด 16 มิลลิเมตร หุ้มด้วยหนังสังเคราะห์ ส่วนของหลักทำงานโดยนำหลักการนวดแผนไทยเพื่อการบำบัดรักษาผ่านระบบกลไกเพื่อใช้ในการกดจุด และในการนวดผ่อนคลายตามจุดต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ ส่วนท้ายทอย หลัง แขน ขา การนวดกดจุดผ่าเท้า มีระบบถุงลมที่ผลิตจากยางพารามาเป็นกลไกในการนวดและกดจุด ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรล ผู้ดูแลหรือผู้ใช้งานสามารถเลือกการนวดตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ โดยมีการประมวลผลการทำงานที่ถูกตั้งโปรแกรมไว้ซึ่งผลการทำงานจะแสดงผลผ่านหน้าจอ LED ในส่วนของผลจากการประสิทธิภาพทางด้านพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ พบว่า ผู้สูงอายุคนที่ 2 และคนที่ 4 ถึงคนที่ 10 มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ส่วนผู้สูงอายุที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีปานกลาง ได้แก่ ผู้สูงอายุคนที่ 1 และคนที่ 3 ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพทางด้านสภาวะอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม พบว่า ผู้สูงอายุคนที่ 2 และคนที่ 5 ถึงคนที่ 10 มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมากส่วนผู้สูงอายุที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีปานกลาง ได้แก่ ผู้สูงอายุคนที่ 1 คนที่ 3 และคนที่ 4

คำสำคัญ : เก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

Abstract

A study on the development of a massage chair for the elderly with a computer program by integrating from local wisdom, with the aim of designing and building a massage chair for the elderly using a computer program and to evaluate the efficiency of the massage chair for the elderly. Movement of muscles and joints Aches and pains caused by anchoring lines, sinking lines, assessed by elderly people and specialists in Thai massage. The samples used in the research were Elderly men and women. The researchers selected a specific sample group (purposive sampling) by selecting the elderly men and women with aches and pains caused by joints, sinking lines, and problems in movement of muscles and joints, total of 10 people. from the Institute of Geriatric Rehabilitation Medicine, Department of Medicine, Ministry of Public Health Nonthaburi Province. The research tools are Interview form with Thai massage specialists Product design expert interview form. An interview form with experts in the field of computer programming systems and an efficacy evaluation form by conducting an efficacy evaluation 8 weeks, 2 days a week, 1 hour a day. Health for the elderly with computer programs by integrating local wisdom. The massage chair has overall dimensions: width 900 mm., length 2,000 mm., height 1,500 mm. The main structure of the massage chair is made of round steel with a diameter of 1.5 inches. The part that is attached to the armrest is made of ABS plastic using an injection molding process. The part used for the seat, backrest and footrest are made of plywood, size 16 mm, covered with synthetic leather. The main part works by applying the principles of Thai massage therapy for therapeutic mechanisms through mechanical systems to apply pressure points. and in relaxing massage in various points of the body, including the occipital, back, arms, legs, foot reflexology There is an air bag system made of rubber as a mechanism for massage and pressure points. Controlled by microcontrollers Caregivers or users can choose to massage different parts of the body. By processing the work that is programmed, the results will be displayed on the LED screen. In terms of the efficiency of improving the movement of muscles and joints, it was found that Elderly 2nd and 4th to 10th were assessed as very good. As for the elderly with moderately good assessment results, they were Elderly 1 and 3 As for the results of the assessment of the efficacy of aches and pains caused by the sinking line, it was found that the 2nd and 5th to the 10th elderly were assessed in the As for the elderly, the assessment results were moderately good. Elderly Person 1, Person 3 and Person 4

Keywords : massage chair for elderly, computer program, integration from local wisdom

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้สูงอายุเป็นประชากรกลุ่มใหญ่ของประเทศไทยมากขึ้นเนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์และสาธารณสุขทำให้ประชากรมีอายุยืนยาวขึ้น จำนวนผู้สูงอายุจึงเพิ่มมากขึ้น จากภาวะนี้ทำให้หลายประเทศทั้งประเทศไทยด้วยมีความตื่นตัวและเตรียมการเพื่อรองรับและให้การดูแลประชากรกลุ่มนี้มากขึ้น การดูแลและส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุนับว่าเป็นภารกิจที่สำคัญสำหรับครอบครัว ชุมชน สังคมโดยรวมสำหรับประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงวัย (Aging Society) และภาระโรคก็มากขึ้นตามอายุ จากการศึกษาพบว่าเมื่อผู้สูงอายุโดยส่วนใหญ่มีอาการปวดเมื่อยมักจะเป็นกันมากบริเวณ คอ หลัง แขนขาและข้อต่อต่าง ๆ อันเกิดจากกล้ามเนื้อที่ฝ่อลง ความยืดหยุ่นของข้อ เอ็นและกล้ามเนื้อจะลดลงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการปวดเมื่อยจากเส้นยึด เส้นจม จากการตรวจเอกสารพบว่าการนวดเป็นการส่งเสริมสุขภาพ

เพราะการนวดช่วยให้ระบบการไหลเวียนเลือดแดง เลือดดำ น้ำเหลืองไหลสะดวกขึ้น การนวดช่วยทำให้กระดูกแข็งแรง กล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การนวดยังทำให้รู้สึกผ่อนคลาย สำหรับการนวดผู้สูงอายุจะได้ประโยชน์มากกว่าคนกลุ่มอายุอื่น เนื่องจากผู้สูงอายุใช้ชีวิตมานานได้รับผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากด้วยเหตุผลต่าง ๆ เช่น ความบกพร่องในการบำรุงรักษาร่างกาย การโภชนาการที่ไม่ค่อยดี มลภาวะในสิ่งแวดล้อม ความเจ็บปวด ปัญหาด้านอารมณ์ ดังนั้น การนวดผู้สูงอายุจะช่วยเสริมสร้างสุขภาพให้แก่ผู้สูงอายุเป็นการสร้างเสริมสุขภาพทำให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะระบบโครงสร้างทั้งภายนอก ภายในและสมรรถภาพการเคลื่อนไหวที่ส่งผลให้ร่างกายของผู้สูงอายุแข็งแรงขึ้น

การนวดแผนไทยเป็นภูมิปัญญาของคนไทยที่สั่งสมสืบทอดมาแต่โบราณ คนไทยเรียนรู้วิธีการช่วยเหลือกันเอง เมื่อปวดเมื่อย เจ็บป่วย รู้จักการผ่อนคลายกล้ามเนื้อด้วยการบีบ นวด ยืด เหยียด ดัดดึงเพื่อกระตุ้นระบบต่าง ๆ ของร่างกาย การนวดแผนไทยยังมีต่อผลระบบกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ มีประสิทธิภาพดีขึ้น ลดอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม ตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายเช่น คอ หลัง แขนขา ข้อต่อต่าง ๆ การนวดจะทำให้กล้ามเนื้อหย่อนลง ผ่อนคลายความเกร็ง ลดอาการปวดเมื่อย ลดอาการความเจ็บปวดบรรเทาอาการขัดยอก ช่วยขจัดของเสียที่คั่งค้างอยู่ตามกล้ามเนื้อ ช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น โดยทำให้เนื้อเยื่อส่วนนั้นแข็งแรงและยึดเกาะติดกันแน่น ช่วยลดสาเหตุของการพองตัวหนาขึ้นของบาดแผล ในกรณีที่มีพังผืดเกิดภายในกล้ามเนื้อ การนวดจะทำให้พังผืดอ่อนตัวลง ทำให้กล้ามเนื้อมีความยืดหยุ่นดีขึ้นอาการเจ็บปวดจะลดลงได้ดี

เก้าอี้นวดเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับนวดตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายแทนการนวดด้วยแรงงานมนุษย์โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยในการผ่อนคลายจากความเมื่อยล้าตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย จากกการสำรวจพบว่าเก้าอี้นวดที่มีอยู่ทั่วไปที่นำมาใช้นวดตามสถานที่ต่าง ๆ เป็นเก้าอี้นวดที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูง การทำงานของเก้าอี้นวดดังกล่าวยังไม่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับผู้สูงอายุ ส่วนของรูปแบบที่ยังไม่อำนวยความสะดวกกับผู้สูงอายุโดยเฉพาะในส่วนของระบบกลไกลูกกลิ้งที่นำมาใช้สำหรับการนวดคลึงและใช้กดตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายได้แก่ หลัง คอ แขนขาและฝ่าเท้า ซึ่งระบบกลไกดังกล่าวผลิตจากวัสดุที่มีความแข็งไม่มีความยืดหยุ่นหากนำใช้ในการนวดตามจุดต่าง ๆ โดยเฉพาะการนำมาใช้กับผู้สูงอายุที่มีสภาพร่างกายที่เสื่อมลงและมีภาวะกล้ามเนื้อที่เริ่มฝ่อลงความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อที่ลดลงอยู่แล้ว ส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บที่เอ็น เนื้อเยื่อและข้อต่อต่าง ๆ หรืออาจจะกระทบไปยังเส้นประสาท ทำให้เกิดอาการเสียวร้าวไปที่อวัยวะต่าง ๆ ของผู้สูงอายุได้

จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยเห็นความสำคัญในการศึกษาพัฒนานำมาสร้างเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ โดยนำหลักภูมิปัญญาพื้นบ้านทางด้านการนวดแผนไทย มาบูรณาการร่วมกับหลักการออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาควบคุมและประมวลผลการทำงาน ซึ่งแนวทางในการพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและยังออกแบบให้มีความสะดวกสบายในการใช้งานโดยมีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุสามารถควบคุมการทำงานของเก้าอี้นวดได้โดยรีโมทคอนโทรลผ่านจอ LED ส่วนความเหมาะสมทางด้านรูปแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุโดยให้มีอุปกรณ์ช่วยประคองลำตัวและส่วนคอในกรณีที่ผู้สูงอายุไม่สามารถนั่งทรงตัวได้และในส่วนของความปลอดภัยของวัสดุที่นำมาผลิตกลไกโดยเลือกใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นในการผลิตกลไกสำหรับใช้ในการคลึง การนวดและกดจุดตามส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของร่างกายได้แก่ หลัง คอ แขนขาและฝ่าเท้าตามหลักภูมิปัญญาการนวดแผนไทย

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นการวิจัยเชิงทดลองมีการรวบรวมข้อมูลทั้งภาคเอกสารและภาคสนาม เพื่อให้การวิจัยนี้บรรลุถึงเป้าหมายและครอบคลุมทุกส่วนตามวัตถุประสงค์ในการศึกษาพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะผู้สูงอายุชายและหญิงที่มีอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม มีปัญหาทางด้านเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ โดยมีวิธีการศึกษาตาม

ขั้นตอนดังนี้

2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ศึกษาลักษณะทางกายภาพและข้อจำกัดทางด้านร่างกายของผู้สูงอายุด้วยวิธีการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทยและผู้ดูและผู้สูงอายุ แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการออกแบบเก้าอี้ รูปแบบทั่วไปของเก้าอี้นวดที่ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูและระบบกลไกการทำงาน การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานเพื่อนำข้อมูลมาสรุปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการพัฒนารูปแบบ

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเก้าอี้นวดผู้สูงอายุผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มแบบเจาะจง (อุทุมพร จามรมาร, 2537: 21-25) โดยคัดเลือกผู้สูงอายุชายและหญิงที่มีอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม มีปัญหาทางด้านเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ จำนวน 10 คน จากสถาบันเวชศาสตร์ฟื้นฟูผู้สูงอายุ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดนนทบุรี เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพโดยมีลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

- ขอความร่วมมือกับสถาบันเวชศาสตร์ฟื้นฟูผู้สูงอายุ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดนนทบุรี ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำการวิจัย
- ทำการทดสอบก่อนทำการทดลอง (Pretest) กับผู้สูงอายุที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย
- นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพนำไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2.3.1 ขอบเขตการศึกษา ศึกษาเอกสารและงานวิจัยวิธีการนวดแผนไทยเพื่อนำมาบูรณาการในการออกแบบ ศึกษาวิเคราะห์ระบบกลไกที่ใช้ในการนวดตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายที่มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ศึกษาข้อมูลการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานและประมวลผล ศึกษาหลักเกณฑ์การออกแบบเก้าอี้และประเภทวัสดุที่นำมาออกแบบ

2.3.2 ขอบเขตการออกแบบ

2.3.2.1 ออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยนำวิธีการนวดแผนไทยมาเป็นแนวทางในการอออกแบบโดยมีระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานและประมวลผล

2.3.2.2 ออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์โดยใช้ระบบกลไกต่าง ๆ ได้แก่ระบบลูกกลิ้ง ระบบถุงลม เพื่อใช้ในการนวดส่วนหลัง คอ แขนขา ฝ่าเท้า

2.3.2.3 ออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โดยคำนึงถึงความสะดวกสบายในการใช้งาน ความเหมาะสมทางด้านรูปแบบโดยให้มีอุปกรณ์ช่วยประคองในส่วนของลำตัว ส่วนคอ

2.3.2.4 ออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น ให้สามารถนวด คลึงตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ตามหลักการนวดแผนไทย ได้แก่ ศีรษะ คอ หลัง เอว ก้นกบ ต้นขา น่อง ข้อเท้า ไหล่ ต้นแขน แขน ข้อมือและการกดจุดฝ่าเท้าตามหลักของภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย

2.3.2.5 ออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์โดยเลือกใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศ

2.3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

2.3.3.1 ตัวแปรต้นได้แก่เก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

2.3.3.2 ตัวแปรตามได้แก่ประสิทธิภาพเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถช่วยในการบำบัดรักษากล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ของผู้สูงอายุได้ดีขึ้น และยังช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.4.1 แบบสัมภาษณ์ (Interview)

2.4.1.1 แบบสัมภาษณ์ความต้องการในการออกแบบจากผู้สูงอายุ

2.4.1.2 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่างๆดังนี้

1. ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทยจากคลินิกการแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลพนัสนิคม จังหวัดชลบุรีโดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับขั้นตอน วิธีการนวดแผนไทย วิธีการนวดเพื่อการรักษาบำบัดฟื้นฟูผู้สูงอายุ
2. ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับด้านรูปแบบของผลิตภัณฑ์ประโยชน์ใช้สอย วัสดุและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์
3. ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการวางระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนการนำระบบไมโครคอนโทรล ระบบโฟโต้เซ็นเซอร์ที่ตรวจจับการเคลื่อนไหว

2.4.2 แบบสังเกตการณ์ (Observe)

2.4.2.1 แบบสังเกตการณ์วิธีการนวดแผนไทยโดยการถ่ายภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหวตลอดจนจดบันทึกเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ

2.4.2.2 การสังเกตจากการทดลองใช้หุ่นจำลองเพื่อทดสอบหาความเหมาะสมให้ทราบถึงปัญหาในการใช้งานและนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อการสร้างต้นแบบจริงต่อไป

2.4.3 แบบสอบถาม (Questionnaire)

เป็นแบบสอบถามปัญหาของการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ และอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม ของผู้สูงอายุโดยให้ผู้สูงอายุเลือกตอบแบบสอบถามที่เป็นคำถามถึงระดับของอาการดังกล่าวโดยแบ่งเป็นระดับดังนี้ ระดับที่ 1 หมายถึง ระดับน้อย ระดับที่ 2 หมายถึง ระดับปานกลาง ระดับที่ 3 หมายถึง ระดับดีมาก

2.4.4 แบบประเมินประสิทธิภาพ (Performance evaluation)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการประเมินต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นโดยมีประเด็นที่ใช้ในการประเมินดังนี้

- พัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ
- สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึดเส้นจม

โดยทำการทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุที่ผ่านการประเมินระดับอาการจากแบบสอบถามโดยคัดเลือกผู้สูงอายุที่มีอาการอยู่ในระดับ 2 ที่มีปัญหาทางด้านเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ และผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม มาทำการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้เวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน วันละ 1 ชั่วโมง (ที่มา : สมพร ภูติยานันต์ (2542) ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของนพพร ชายหอมรส (2564) ได้กำหนดเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพไว้ 2 ประเด็น

- เกณฑ์การประเมินพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับที่ 1 หมายถึง มีพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่ออยู่ในระดับน้อย

ระดับที่ 2 หมายถึง มีพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่ออยู่ในระดับปานกลาง

ระดับที่ 3 หมายถึง มีพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่ออยู่ในระดับดีมาก

- เกณฑ์การประเมินสภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับที่ 1 หมายถึง สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมอยู่ในระดับน้อย

ระดับที่ 2 หมายถึง สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับที่ 3 หมายถึง สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมอยู่ในระดับดีมาก

<u>หมายเหตุ</u> การประเมินประสิทธิภาพมีแพทย์และนักกายภาพบำบัดคอยควบคุมตลอดระยะเวลาในการประเมิน

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาที่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุ การศึกษาภูมิปัญญาไทย วิธีการนวดแผนไทยในส่วนของ การนวดเพื่อการบำบัดผู้สูงอายุ การใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานและการประมวลผลการทำงาน แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบไมโครคอนโทรล

3.2 ผลการสัมภาษณ์

3.2.1 ผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุโดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับความต้องการในการออกแบบในส่วนของรูปแบบต้องคำนึงถึงขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุ อุปกรณ์ยึดจับในขณะใช้งาน ความแข็งแรงทนทาน

จากผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุผู้วิจัยได้นำผลจากการสัมภาษณ์ มาเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นให้มีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ มีอุปกรณ์ยึดจับในขณะใช้งาน เลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมแข็งแรงทนทาน

3.2.2 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทยโดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับวิธีการนวดแผนไทย วิธีการนวดเพื่อการรักษาบำบัดฟื้นฟูผู้สูงอายุได้แก่ การยืด การบีบกล้ามเนื้อเพื่อผ่อนคลายเส้นเอ็น พังผืดและกดจุดตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อกระตุ้นการทำงานของร่างกาย

จากผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุผู้วิจัยได้นำผลจากการสัมภาษณ์ มาเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยมีอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการบีบกล้ามเนื้อและอุปกรณ์กดจุดตามอวัยวะส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของร่างกายตามหลักภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย

3.2.3 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยการสัมภาษณ์ เกี่ยวกับด้านรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย ความปลอดภัย วัสดุและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์

จากผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุผู้วิจัยได้นำผลจากการสัมภาษณ์ มาเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นให้มีรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ มีประโยชน์ใช้สอยที่ตรงกับการใช้งานของผู้สูงอายุ มีความปลอดภัยในการใช้งาน เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง สามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

3.2.4 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการวางระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนการนำระบบไมโครคอนโทรล ระบบโฟโต้เซ็นเซอร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวเพื่อการประมวลผลการทำงาน

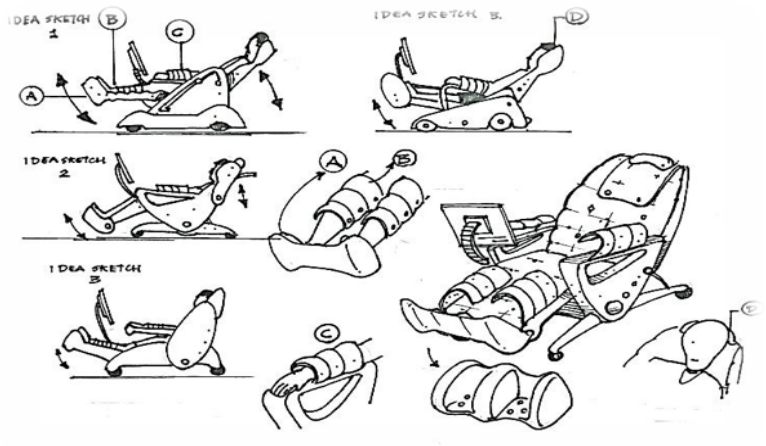
จากผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุผู้วิจัยได้นำผลจากการสัมภาษณ์ มาเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยใช้ระบบโฟโต้เซ็นเซอร์ที่ตรวจจับความเคลื่อนไหวเพื่อส่งผลไปยังระบบไมโครคอนโทรลเพื่อประมวลผล

3.3 ผลการออกแบบ

เป็นผลจากการศึกษาจากเอกสาร การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพและข้อจำกัดทางด้านร่างกายของผู้สูงอายุ วิธีการนวดแผนไทย ระบบกลไกในการทำงาน รูปแบบและปัญหาการใช้เก้าอี้นวดที่มีอยู่ทั่วไป แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการออกแบบเก้าอี้ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานโดยนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบ

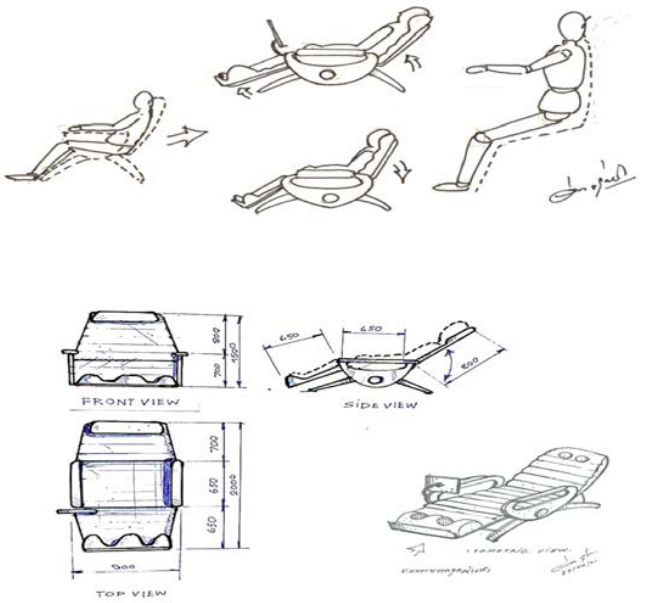
3.3.1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นจากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ดังภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 1 แนวคิดเบื้องต้นเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ

จากภาพที่ 1 เป็นการแสดงแสดงแนวคิดเบื้องต้นเพื่อหาแนวทางการพัฒนาเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นแนวทางในการออกแบบโดยใช้หลักการนวดแผนไทยเพื่อการบำบัดรักษา การกดจุดและการนวดผ่อนคลายตามจุดต่างๆของร่างกายได้แก่ คอ, เอว, หลังช่วงล่าง, หลังช่วงบน, ต้นขา และนวดกดจุดผ่าเท้าโดยใช้ระบบถุงลมที่ผลิตจากยางพารานำมาผลิตเป็นกลไกลูกกลิ้ง 4 ลูก เพื่อใช้ในการนวดและกดจุดตามส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของร่างกายผู้สูงอายุ ในส่วนของระบบควบคุมการทำงานโดยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลโดยผ่านผ่านแผงควบคุมการทำงานเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ดูแลและผู้ใช้ที่สามารถเลือกตำแหน่งของการนวดได้ด้วยตนเองผ่านโปรแกรมที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยเก้าอี้นวดจะประมวลผลการทำงานซึ่งผลการทำงานจะแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ที่แสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหว



ภาพที่ 2 ขนาดสัดส่วนเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุให้มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของร่างกาย

จากภาพที่ 2 เป็นการนำขนาดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์ในท่านั่งตามหลักการของการยศาสตร์โดยคำนึงถึงท่านั่งที่มีความรู้สึกผ่อนคลายมาเป็นแนวทางในการกำหนดขนาดสัดส่วนของเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นให้มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของร่างกายมนุษย์

ภาพที่ 3 ระบบกลไกลูกกลิ้งที่มีความเหมาะสมในการนวดและกดจุดตามส่วนต่าง ๆ ของผู้สูงอายุ
(ที่มา: @ FinSeat.com)

จากภาพที่ 3 เป็นการนำระบบกลไกลูกกลิ้งมาใช้ในการนวด กด คลึง บีบตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายได้แก่ ศีรษะ คอ หลัง เอว ก้นกบ ต้นขา น่อง ข้อเท้า ไหล่ ต้นแขน แขน ข้อมือและมีอุปกรณ์กดจุดฝ่าเท้าตามหลักของภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย

3.2.2 การสร้างต้นแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

ภาพที่ 4 การสร้างเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ

การสร้างต้นแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นภาพรวมมีขนาด 900 มิลลิเมตร ยาว 2,000 มิลลิเมตร สูง 1,500 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุผลิตจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้วเป็นส่วนที่ยึดติดกับที่ใช้ท้าวแขนผลิตจากพลาสติก ABS โดยใช้กรรมวิธีฉีดขึ้นรูป ส่วนที่ใช้รองนั่ง พนักพิง และที่พักเท้าผลิตจากไม้อัดขนาด 16 มิลลิเมตร หุ้มด้วยหนังสังเคราะห์

3.2.3 ต้นแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

ภาพที่ 5 ต้นแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ

3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

เป็นผลการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นประเมินโดยผู้สูงอายุและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทยประเด็นในการประเมิน 2 ประเด็นดังนี้ (1) พัฒนาการการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ (2) สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม

เป็นการประเมินประสิทธิภาพผู้สูงอายุชายและหญิงจำนวน 10 คน ที่มีปัญหาทางด้านเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ และผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมใช้เวลาในการประเมิน 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน วันละ 1 ชั่วโมง (ที่มา: นพพร ชายหอมรส) ซึ่งผลการประเมินดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 การประเมินพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ

จำนวนผู้สูงอายุ	พัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ						ระดับผลการประเมิน
	ระยะเวลาในการประเมิน (สัปดาห์)						
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6	
คนที่ 1	1	1	1	2	2	2	ปานกลาง
คนที่ 2	1	1	2	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 3	1	1	1	2	2	2	ปานกลาง
คนที่ 4	1	1	2	2	2	3	ดีมาก
คนที่ 5	1	1	2	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 6	1	1	2	3	3	3	ดีมาก
คนที่ 7	1	1	1	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 8	1	1	1	2	2	3	ดีมาก
คนที่ 9	1	1	1	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 10	1	1	1	2	2	3	ดีมาก

จากตารางที่ 1 เป็นการประเมินพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ผู้สูงอายุจำนวน 10 คน ทำการประเมินตลอด 6 สัปดาห์ โดยมีผลการประเมินดังนี้

- ผู้สูงอายุคนที่ 1 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย และสัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
- ผู้สูงอายุคนที่ 2 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 3 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย และสัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
- ผู้สูงอายุคนที่ 4 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 5 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 6 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1

ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

- ผู้สูงอายุคนที่ 7 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

- ผู้สูงอายุคนที่ 8 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

- ผู้สูงอายุคนที่ 9 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 สัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

- ผู้สูงอายุคนที่ 10 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 2 การประเมินสภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม

จำนวนผู้สูงอายุ	สภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม						ระดับผลการประเมิน
	ระยะเวลาในการประเมิน (สัปดาห์)						
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6	
คนที่ 1	1	1	1	1	2	2	ปานกลาง
คนที่ 2	1	1	1	2	2	3	ดีมาก
คนที่ 3	1	1	1	2	2	2	ปานกลาง
คนที่ 4	1	1	2	2	2	2	ปานกลาง
คนที่ 5	1	1	2	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 6	1	1	1	2	2	3	ดีมาก
คนที่ 7	1	1	1	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 8	1	2	2	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 9	1	2	2	2	3	3	ดีมาก
คนที่ 10	1	1	1	2	2	3	ดีมาก

จากตารางที่ 2 เป็นการประเมินสภาวะอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม ผู้สูงอายุจำนวน 10 คน ทำการประเมินตลอด 6 สัปดาห์ โดยมีผลการประเมินดังนี้

- ผู้สูงอายุคนที่ 1 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

- ผู้สูงอายุคนที่ 2 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลางและสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

- ผู้สูงอายุคนที่ 3 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย และสัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

- ผู้สูงอายุคนที่ 4 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
- ผู้สูงอายุคนที่ 5 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลางและสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 6 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลางและสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 7 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 8 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 9 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง และสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ผู้สูงอายุคนที่ 10 มีผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สามารถแยกเป็นรายสัปดาห์ได้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลางและสัปดาห์ที่ 6 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

4. สรุป

4.1 สรุปผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุปผลจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุ การศึกษาภูมิปัญญาไทย วิธีการนวดแผนไทยในส่วนของการนวดเพื่อการบำบัดผู้สูงอายุ การใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานและการประมวลผลการทำงานตลอดจนการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาทำการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่คำนึงถึง หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบาย ความสวยงาม (อุดมศักดิ์ สาริบุตร 2540) โดยนำมาบูรณาการร่วมกับหลักการของภูมิปัญญาด้านการแพทย์แผนไทยในส่วนของการบีบ การกด การคลึง การหมุน การกลิ้งตามส่วนส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่เป็นไปตามหลักและวิธีการนวดแผนไทยจากผลการศึกษา มีความสอดคล้องกับวิธีการนวดแผนไทยของมณีวรรณ เจีย (2554) กล่าวถึงวิธีการนวดแผนไทยสามารถนวดบนร่างกายได้แก่การบีบ การคลึง การกลิ้ง การหมุน

4.2 สรุปผลการสัมภาษณ์

สรุปผลจากการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุและผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางในการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากการภูมิปัญญาท้องถิ่น ผู้วิจัยได้นำผลสรุปมาวิเคราะห์และทำการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากการภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยให้ตรงกับการใช้งานของผู้สูงอายุ มีขนาดสัดส่วนที่มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ มีความปลอดภัย มีความแข็งแรงและในส่วนระบบการทำงานของเก้าอี้นวดมีระบบกลไกต่าง ๆ ได้แก่ กลไกที่ใช้บีบกล้ามเนื้อ กลไกที่ใช้กดจุดตามอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยมีโฟโต้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวที่ส่งผลไปยังระบบไมโครคอนโทรลเพื่อประมวลผลการทำงานไปยังจอ LCD

4.3 สรุปผลการการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

เป็นผลสรุปจากผลจากการศึกษาเพื่อนำมาการออกแบบเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการบูรณาการจากภูมิปัญญาท้องถิ่นภาพรวมมีขนาด 900 มิลลิเมตร ยาว 2,000 มิลลิเมตร สูง 1,500 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักเก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุผลิตจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เป็นส่วนที่ยึดติดกับที่ใช้ท้าวแขนผลิตจากพลาสติก ABS โดยใช้กรรมวิธีฉีดขึ้นรูป ส่วนที่ใช้รองนั่ง พนักพิง และที่พักเท้าผลิตจากไม้อัดขนาด 16 มิลลิเมตร หุ้มด้วยหนังสังเคราะห์ ในส่วนของรูปแบบผู้วิจัยได้นำหลักการนวดแผนไทยเพื่อการบำบัดรักษาในส่วนของการบีบกล้ามเนื้อ การกดจุดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ คอ เอว หลังช่วงล่าง หลังช่วงบน ต้นขาและฝ่าเท้าโดยมาบูรณาการร่วมกับหลักการออกแบบที่คำนึงถึงหน้าที่ใช้สอย ความสะดวกสบายในการใช้งาน ความปลอดภัย ความแข็งแรง กรรมวิธีการผลิตในระบบอุตสาหกรรม ส่วนของระบบการทำงานของเก้าอี้นวดผู้วิจัยใช้ระบบกลไกลูกกลิ้งที่ส่งกำลังมาจากชุดมอเตอร์เกียรทดรอบ 1/60 RPM ติดตั้งไว้ภายในตัวเครื่องนวดโดยระบบกลไกจะหมุนวนเป็นวงกลมไปพร้อม ๆ กันเพื่อช่วยนวดผ่อนคลายตามจุดต่าง ๆ ที่สำคัญของร่างกายที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรล และประมวลผลการทำงานของเก้าอี้นวดผ่านหน้าจอ LCD ที่แสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหว ส่วนคุณสมบัติของเก้าอี้นวดที่พัฒนาขึ้นจะส่งผลต่อการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ของผู้สูงอายุดีขึ้นและช่วยลดอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจมของผู้สูงอายุ สอดคล้องกับยงศักดิ์ ตันติปิฎก (2559) กล่าวถึง การนวดแผนไทยมีประโยชน์ ด้านสุขภาพ ผู้ได้รับการนวดจะได้ผลทั้งร่างกายและจิตใจ ผลทางกายคือการนวดทำให้เกิดอาการไหลเวียนของเลือดลม ลดความดันโลหิต ช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น พังผืด ช่วยลดอาการปวดเมื่อยที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ดีขึ้นและบรรเทาอาการเคล็ดขัดยอกกล้ามเนื้อและยังทำให้รู้สึกสดชื่น แจ่มใส ผ่อนคลายจิตใจ

4.4 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพ

เป็นผลจากการประเมินประสิทธิภาพโดยทดสอบการใช้เก้าอี้นวดเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากการภูมิปัญญาท้องถิ่นกับผู้สูงอายุจำนวน 10 คน ใช้เวลาในการประเมินประสิทธิภาพ 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน วันละ 1 ชั่วโมง ทำการประเมินโดยผู้สูงอายุและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดแผนไทยโดยมีประเด็นในการประเมินทางด้านพัฒนาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ผลการประเมินพบว่า ผู้สูงอายุคนที่ 2 และคนที่ 4 ถึงคนที่ 10 มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ส่วนผู้สูงอายุที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีปานกลางได้แก่ ผู้สูงอายุคนที่ 1 และคนที่ 3 ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพทางด้านสภาวะอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม พบว่า ผู้สูงอายุคนที่ 2 และคนที่ 5 ถึงคนที่ 10 มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมากส่วนผู้สูงอายุที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีปานกลางได้แก่ ผู้สูงอายุคนที่ 1 คนที่ 3 และคนที่ 4

ผลจากการประเมินประสิทธิภาพมีความสอดคล้องกับยงศักดิ์ ตันติปิฎก (2559) กล่าวถึง การนวดแผนไทยมีประโยชน์ ด้านสุขภาพ ผู้ได้รับการนวดจะได้ผลทั้งร่างกายและจิตใจ ผลทางกายคือการนวดทำให้เกิดอาการไหลเวียนของเลือดลมดี ลดความดันโลหิต ช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น พังผืด ช่วยลดอาการปวดเมื่อยเป็นที่เกิดจากเส้นยึด เส้นจม การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและข้อต่อต่าง ๆ ดีขึ้น และบรรเทาอาการเคล็ดขัดยอกกล้ามเนื้อและยังทำให้รู้สึกสดชื่น แจ่มใส ผ่อนคลายจิตใจ

5. เอกสารอ้างอิง

Ja, M. 2014. **Thai Massage**. Bangkok:Luck Printing.

Kulathatporn, S. 2008. **Physical Therapy in the Elderly**. Bangkok: Offset-Press.

Putinun, S. 2008. **Basic knowledge of Thai herbal medicine and Thai traditional medicine**. Bangkok: The Union of Thai Traditional Medicine Society.

Santisakul, P. 2012. **Microcontroller**. Bangkok: Thai Health.

Saributr, U. 2016. **Furniture Design**. Bangkok: Odeon Store Printing.

Shasumcho, V. 2005. **Furniture design**. Bangkok: Technology Promotion Association.

The Thai Elderly's Health Survey. 2013. **Elderly Health Group Health Promotion**. Office Department of Health, Ministry of Public Health.

Tonpidug, Y. 2015. **Thai Massage Textbook Volume 1**. Bangkok: Chulalongkorn University Book Center.

Yodpet, S. 2001. **Elderly Welfare and Social**. Bangkok: Mistercopy.

Shasumcho, V. 2005. **Furniture design**. Bangkok: Technology Promotion Association.

Chaihomros, P. 2021. **A study on the effectiveness of traditional thai massage and royal thai massage to reduce pain in the shoulder, neck and head**. Nakhon Pathom: Thai Medicine Research Journal.

(Received: 4/Feb/2022, Revised: 5/Jun/2022, Accepted: 8/Jun/2022)

การคาดคะเนเพศและความสูงจากขนาดรองเท้า

Estimation Of Gender and Stature from The Footwear Dimensions

อรทัย เขียวพุ่ม[1] ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง[2]* ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี[2] ปิยาภา จันทร์มล[2] และ ณัฐยุวดี พัฒนจิรัสยา[1]

Orathai Kheawpum[1], Sirirat Choosakoonkriang[2]*, Supachai Supalaknari[2] Piyapa Junmon[2] and Natyuwadee Pattanajirassaya[1]

[1] หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ [2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

[1] Forensic Science, [2] Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University,
Sanam Chandra Palace Campus, Nakorn Pathom

E-mail: Kheawpum_o@su.ac.th, sirirat_157@yahoo.com โทร. 087-6735907, 087-6647041

บทคัดย่อ

รอยรองเท้าหรือรองเท้าเป็นหลักฐานสำคัญที่มักปรากฏในสถานที่เกิดเหตุ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดคะเนความสูงของบุคคลและระบุเพศจากขนาดของรองเท้า โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น สำหรับทำนายเพศและความสูงตามลำดับ ทำการวัดขนาดรองเท้าซึ่งประกอบไปด้วย ความกว้าง และความยาวรองเท้ากับความสูงของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน ประกอบด้วยเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน ที่มีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 18 - 58 ปี โดยใช้วิธีสถิติพื้นฐาน การศึกษาพบว่าเพศชายมีความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 171.98 ± 6.15 เซนติเมตร เพศหญิงมีความสูงเฉลี่ย 162.45 ± 5.68 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความกว้างรองเท้าในเพศชายและเพศหญิงมีค่า 11.69 ± 1.19 และ 10.08 ± 0.85 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความยาวรองเท้าของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองมีค่า 28.94 ± 1.55 และ 26.72 ± 1.18 เซนติเมตร ตามลำดับ รูปแบบฟังก์ชันหลายตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำนายเพศ สมการถดถอยโลจิสติกส์ คือ เพศ = –1.037(ความยาวรองเท้า) + 3.210(ความกว้างรองเท้า) – 3.061(ขนาดรองเท้า) + 120.072 จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโมเดลหลายตัวแปรนี้สามารถวิเคราะห์เพศของบุคคลได้ถูกต้องร้อยละ 76.7 - 96.7 ในการทำนายความสูงจากความยาว และความกว้างของรองเท้าได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร ดังนี้ ความสูง (หน่วย เซนติเมตร) = 2.836(ความยาวรองเท้า) + 1.894(ความกว้างรองเท้า) + 67.719, R^2 = 0.932 ซึ่งพบว่าความยาวและความกว้างของรองเท้าในเพศชายและเพศหญิงมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับความสูง การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดของรองเท้าสามารถใช้คาดคะเนความสูงและเพศของเจ้าของรองเท้า ผลการทดลองนี้อาจเป็นประโยชน์ในการสืบสวนในคดีอาชญากรรมทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ : เพศ ความสูง ขนาดรองเท้า

Abstract

Footwear impression marks and footwear are among the most commonly found evidence at crime scenes. This study intends to determine if the sex and height of an individual can be identified by footwear dimensions. The statistical analyses were conducted by using logistic regression and multiple linear regression analysis for sex and height prediction, respectively. For this experiment, footwear length, and footwear width of 200 subjects, comprising 100 females and 100 males ranging from 18 to 58 years of age, was taken. It was found that the mean height of the male subjects was 171.98 ± 6.15 cm while that of the female participants was 162.45 ± 5.68 cm. The mean widths of their shoes in male and female cases were 11.69 ± 1.19 cm and 10.08 ± 0.85 cm, respectively and

the average shoe lengths for the two cases were 28.94 ± 1.55 cm and 26.72 ± 1.18 cm respectively. Multivariate discriminant function models were developed for sex allocations. The logistic regression formula was obtained as follows: sex = 120.072 – 1.037 (shoe length) + 3.210(shoe width) – 3.061(shoe number). Statistical analyses showed that multivariate model correctly assign approximately 76.7 – 96.7% of individuals to their correct sex groups. Both shoe length and width were used for estimate of a person's height using multiple regression analysis. The predictive value was described by the formula: height (cm) = 67.719 + 2.836 (shoe length (cm)) +1.894 (shoe width (cm)), R^2 = 0.932. It was found that the length and width of the shoes in the male and female sample groups had a high relationship with the height. This study is demonstrated that the dimension of the shoe can be used to estimate stature and sex of the shoe owner. The information may be useful in the forensic investigation of criminal case.

Keywords : gender, stature, footwear dimensions

1. บทนำ

ปัญหาอาชญากรรมถือเป็นปัญหาที่สำคัญ เป็นการกระทำผิดที่มีอันตราย มีความรุนแรง มีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตในประจำวันเป็นสิ่งซึ่งทำลายชีวิตทรัพย์สินของประชาชนทั้งที่อาศัยอยู่ในเมืองและชนบท ซึ่งสาเหตุของปัญหาอาชญากรรมโดยพื้นฐานแล้ว เกิดจากปัญหาด้านเศรษฐกิจและสังคม สภาพครอบครัวฐานะทางเศรษฐกิจมีสภาพจิตใจไม่ปกติ การเปลี่ยนแปลงทางสังคม การว่างงาน และความเสื่อมโทรมทางศีลธรรมปัจจุบันสถานการณ์ทุกด้านมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ปัญหาอาชญากรรมในปัจจุบันมีแนวโน้มของความรุนแรง และซับซ้อนมากขึ้นตามความเจริญของเทคโนโลยี และความทันสมัยของการสื่อสารคดีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมักปรากฏวัตถุพยานหลักฐานที่สามารถใช้ระบุตัวผู้กระทำผิดได้หลักฐานประเภทพยานวัตถุเป็นวัตถุพยานที่จัดเก็บได้ในสถานที่เกิดเหตุมีประโยชน์ในการปะติดปะต่อเรื่องราวในคดีสามารถสันนิษฐานเรื่องราวและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ และอาจนำมาซึ่งแนวทางในการสืบสวนสอบสวนได้ และนำมาซึ่งการจับกุมผู้กระทำผิดต่อไป

โดยวัตถุพยานที่สำคัญที่มักปรากฏบ่อยครั้งในสถานที่เกิดเหตุ หรือใกล้สถานที่เกิดเหตุนั่นคือ รอยประทับที่เกิดจากเท้าเปล่าหรือรองเท้า ซึ่งรอยประทับเหล่านี้ อาจเกิดจากการเปรอะเปื้อนของเท้าเปล่าหรือรองเท้าที่ประทับบนพื้นผิวต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบระหว่างร่องรอยที่ค้นพบกับรอยประทับ หรือ รองเท้าจากผู้ต้องสงสัยได้รอยรองเท้าหรือรองเท้าที่พบในสถานที่เกิดเหตุ นอกจากจะสามารถบอกถึงขนาดของรองเท้า ชนิด และยี่ห้อของรองเท้าแล้ว ยังอาจบอกระยะเวลาการใช้งานและลักษณะท่าทางการเดิน อาจบ่งบอกถึงจำนวนคนร้าย พฤติกรรมของคนร้าย และลักษณะพิเศษทางร่างกายและอาชีพ (Chamsuwan et al., 2003)

มีผู้ทำงานวิจัยหลายท่านทำการศึกษารอยประทับเท้าเปล่าหรือรอยรองเท้า รองเท้า ซึ่งหลักฐานเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการสืบสวนสอบสวน เช่น การศึกษาการคาดคะเนความสูงและเพศจากขนาดของรอยฝ่าเท้าและขนาดของรองเท้าโดยวัดจากความกว้างและความยาวจากการศึกษาพบความสัมพันธ์สูงสุดระหว่างความสูงของบุคคลกับความยาวของรอยฝ่าเท้าและรองเท้า รวมทั้งพบความสัมพันธ์ระหว่างเพศและความยาวของรอยฝ่าเท้าและรองเท้าด้วย (Ozden et al., 2004) และการศึกษาการคาดคะเนเพศและประมาณความสูงจากการวัดความกว้างและความยาวของฝ่าเท้าขวาและฝ่าเท้าซ้าย รวมถึงความสูงของกระดูก malleol และกระดูก navicular การทดลองพบว่าความสูงมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับความยาวของฝ่าเท้าทั้งสองข้างและพบความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำระหว่างความสูงกับความกว้างของฝ่าเท้า (Zeybek et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการวัดขนาดของเท้าจากรอยพิมพ์ของฝ่าเท้าระหว่างการเดิน พบว่าความยาวของฝ่าเท้ามีความสัมพันธ์กับความสูงในระดับที่ค่อนข้างสูง (Raju et al., 2012) และได้ทำการศึกษาการทำนายความสูงจากรอยเท้าทั้งในกลุ่มชนพื้นเมืองชาวอินเดียและชาวจีนมาเลเซียโดยใช้สถิติสมการถดถอยในการทำนาย

ความสูง พบว่าความยาวของรอยเท้ามีความสัมพันธ์สูงสุดกับความสูง (Moorthy et al., 2014) อีกทั้งยังมีงานวิจัยในประเทศไทย ที่ศึกษาการประยุกต์ใช้งานนิติมานุษยวิทยาเพื่อการประมาณความสูงของบุคคลจากความยาวฝ่าเท้าในกลุ่มของประชากรไทยในภาคเหนือและภาคเหนือตอนล่าง การศึกษาพบว่าในกลุ่มประชากรเพศชายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงสุดสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับความยาวของนิ้วเท้านิ้วที่ 1 ข้างซ้าย และในกลุ่มประชากรเพศหญิงก็พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับความยาวของเส้นสัมผัสด้านในของปลายนิ้วเท้าที่ 1 ข้างซ้าย ซึ่งนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างสมการในการทำนายความสูงได้ (Wuttirakrungsan and Duangchit, 2010) และการศึกษาการคาดคะเนความสูงและเพศของบุคคลจากรอยพิมพ์ฝ่าเท้า โดยการวัดความยาวสูงสุดและความกว้างสูงสุดของรอยพิมพ์ฝ่าเท้า การศึกษาพบว่าความยาวสูงสุดของรอยพิมพ์ฝ่าเท้าสามารถใช้ในการระบุเพศและความสูงได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความกว้างสูงสุดของรอยพิมพ์ในการระบุเพศ (Kowkerd, 2011) และการศึกษาการจัดเก็บข้อมูลลักษณะรูปแบบรองเท้า พื้นรองเท้า ที่มีจำหน่ายในตลาด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อใช้จำแนกประเภทของรองเท้า งานวิจัยพบว่าลายพื้นรองเท้าที่ปรากฏนั้นหลายแบบสามารถระบุถึงประเภทของรองเท้าได้ ถึงแม้เป็นรองเท้าประเภทเดียวกันที่มาจากการผลิตเดียวกันก็ยังมีรายละเอียดเล็กน้อยที่มีความแตกต่างกันซึ่งสามารถใช้จำแนกชนิดของรองเท้าได้ (Thasom, 2015)

จากการทบทวนปัญหาและงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงการนำหลักฐานที่สามารถเจอในสถานที่เกิดเหตุได้บ่อย ๆ คือ รอยประทับของรองเท้า หรือ รองเท้า ที่ผู้ต้องสงสัยอาจทิ้งไว้ในสถานที่เกิดเหตุ มาใช้ในการประเมินความสูงและทำนายเพศของกลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย โดยการสร้างสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว และตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น เพื่อประโยชน์ในการนำมาซึ่งการสืบสวนสอบสวนในการตรวจพิสูจน์บุคคลเพื่อหาตัวผู้กระทำผิดและประยุกต์ใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้อย่างแท้จริง

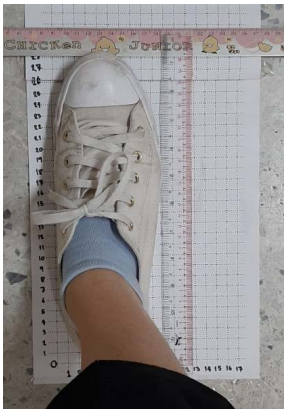
2. วิธีการทดลอง

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างจากการสุ่มอย่างง่าย โดยเป็นประชากรชาวไทย เชื้อชาติไทย ที่มีอายุระหว่าง 18 - 58 ปี ซึ่งเป็นช่วงอายุที่กล้ามเนื้อ และกระดูกมีการเจริญเติบโตสมบูรณ์ และยังไม่เกิดสภาวะเสื่อม จำนวน 200 คน แบ่งเป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน โดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณสนามกีฬา มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

2.2 วิธีการวัดระยะก้าวเดินและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยอธิบายวัตถุประสงค์ในการเก็บตัวอย่างเพื่องานวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจและยินยอมก่อนทำการเก็บตัวอย่าง สอบถามข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง อาชีพ ประเภทของรองเท้า และขนาดรองเท้า สาธิตการวางเท้าเพื่อวัดความกว้างและความยาวของรองเท้าในหน่วยเซนติเมตร และบันทึกข้อมูลที่ได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการวัดความกว้างและความยาวรองเท้า

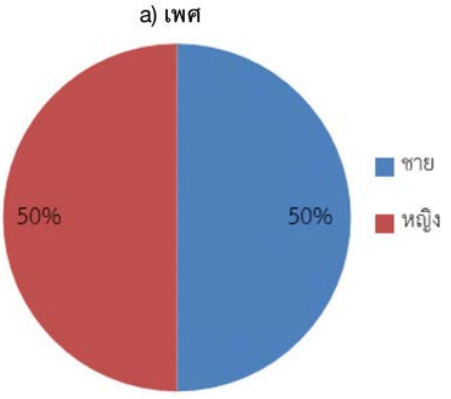
นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐานคือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูลเฉพาะส่วนบุคคล รวมทั้งค่าเฉลี่ยของความกว้าง และความยาวของรองเท้าทั้งตัวอย่างรองเท้าที่สวมใส่โดยเพศชาย และเพศหญิง นำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการโดยใช้ สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ด้วยวิธี step wise เพื่อทำนายความสูง และใช้สมการถดถอยโลจิสติกส์ สำหรับการทำนายเพศของบุคคลต่อไป

2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นในการทำนายเพศและความสูงของบุคคลจากความกว้างความยาวของรองเท้า

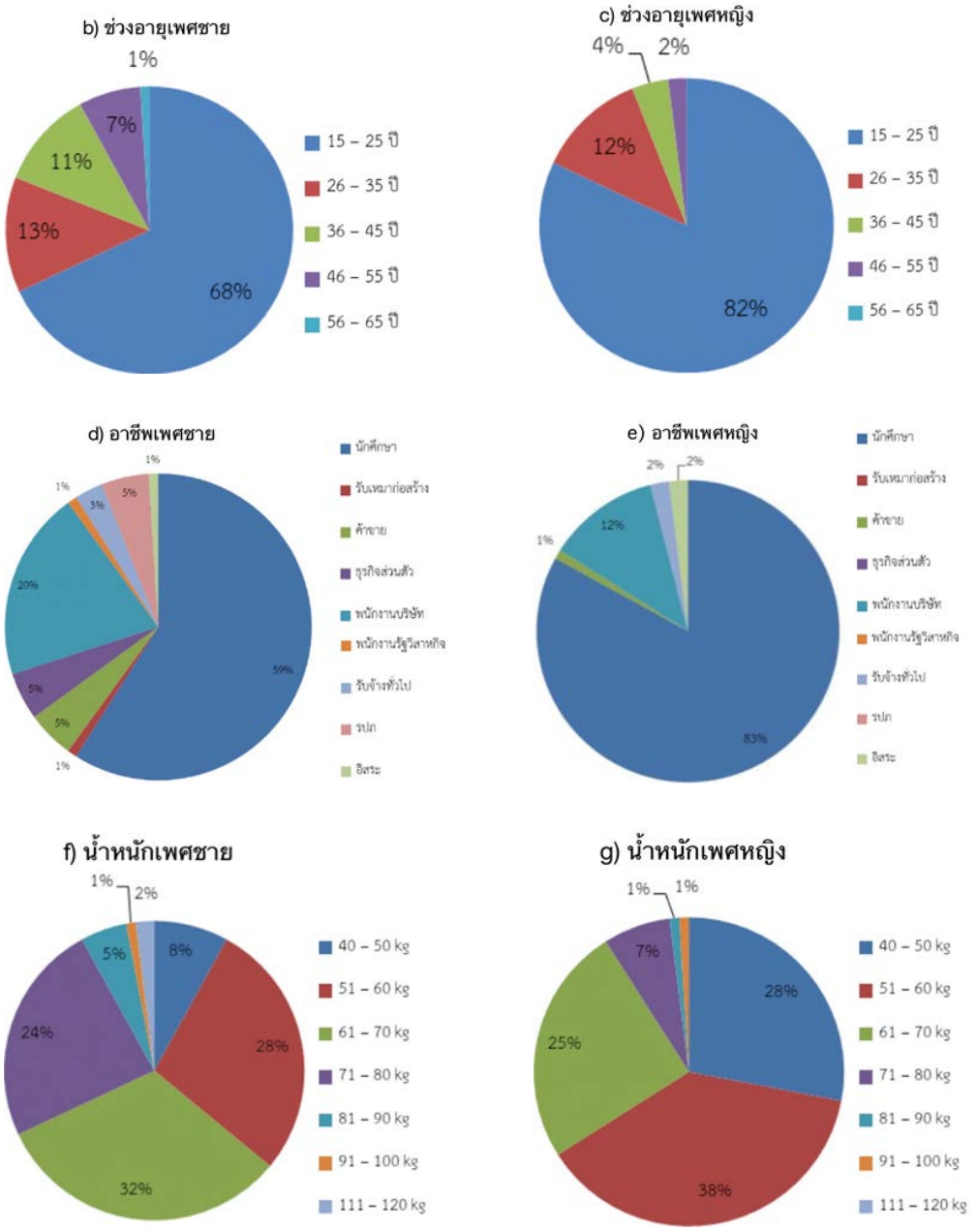
เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น จะทำการสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมจำนวน 60 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย 30 คน และ เพศหญิง 30 คน ทำการข้อมูลเช่นเดียวกับ ข้อ 2.2 ใช้การวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการคาดคะเนเทียบกับค่าที่ได้จริง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน พบว่า ค่าเฉลี่ยอายุของกลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและเพศหญิงอยู่ระหว่าง 15 - 25 ปี ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 50 - 80 กิโลกรัม เพศชายมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 66.27 ± 13.34 กิโลกรัม ในขณะที่ในกลุ่มเพศหญิงค่าเฉลี่ยน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 57.43 ± 10.34 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความสูงสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายมีค่าเท่ากับ 171.98 ± 6.15 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าในกลุ่มเพศหญิงที่มีค่าเท่ากับ 162.45 ± 5.68 เซนติเมตร กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใส่รองเท้าผ้าใบ โดยกลุ่มตัวอย่างเพศชายจะมีช่วงขนาดรองเท้าอยู่ที่เบอร์ 41 - 45 และเพศหญิงจะอยู่ที่ช่วง 35 -40 เมื่อพิจารณาความกว้างและความยาวของรองเท้าพบว่า ค่าเฉลี่ยความกว้างรองเท้าและความยาวรองเท้าในกลุ่มตัวอย่างเพศชายเท่ากับ 11.69 ± 1.19 เซนติเมตร และ 28.94 ± 1.55 เซนติเมตร ตามลำดับ และในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงค่าเฉลี่ยความกว้างรองเท้าและความยาวรองเท้าเท่ากับ 10.08 ± 0.85 เซนติเมตร และ 26.72 ± 1.18 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งทั้งค่าเฉลี่ยความกว้างรองเท้าและความยาวรองเท้าในกลุ่มเพศชายมีค่ามากกว่าในกลุ่มเพศหญิง



แผนภูมิที่ 1 ร้อยละข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมงานวิจัย เพศชาย (N = 100) และเพศหญิง (N = 100)
a) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างแบ่งแยกตามเพศ



แผนภูมิที่ 1 (ต่อ)

b) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามอาชีพ

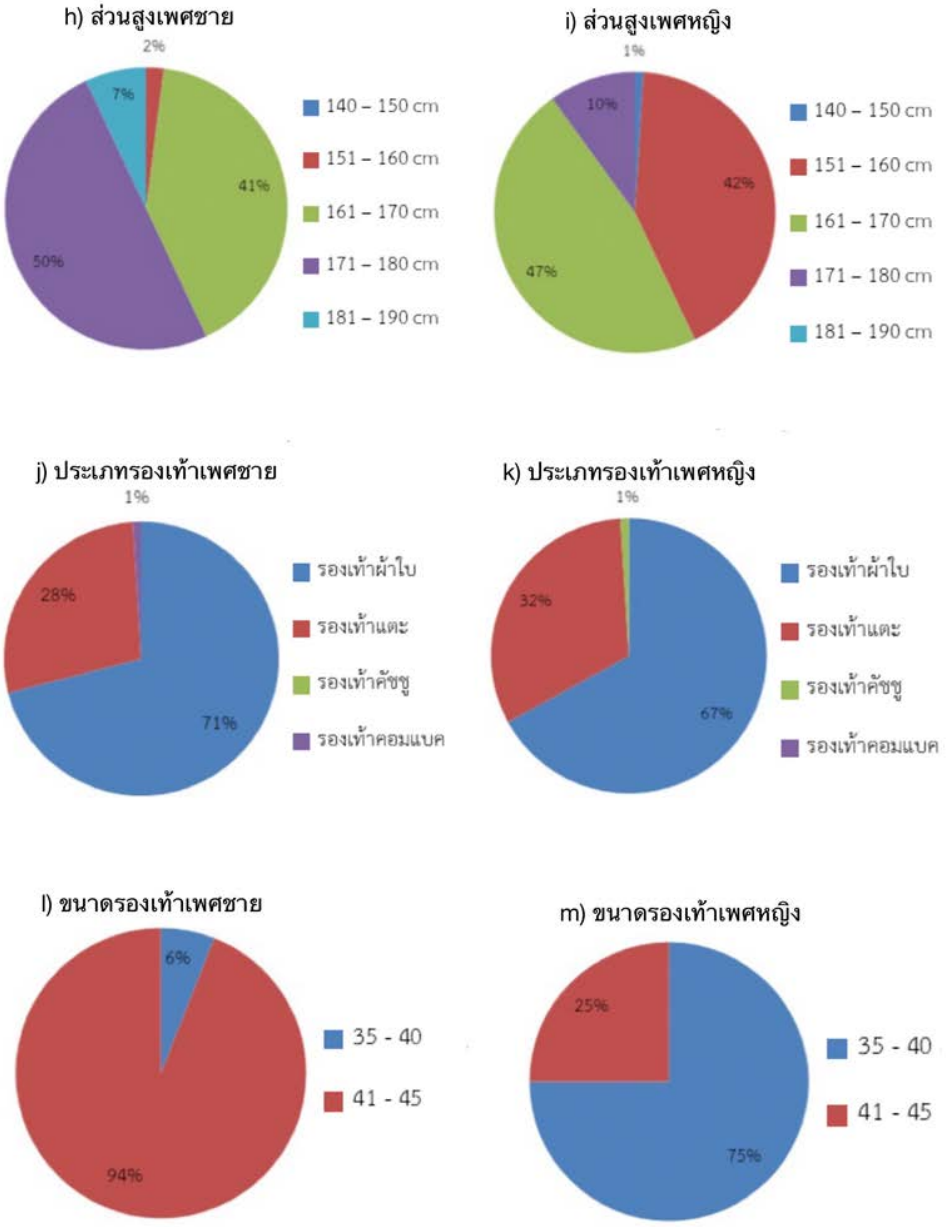
c) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามอาชีพ

d) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามอายุ

e) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามอายุ

f) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามน้ำหนัก

g) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามน้ำหนัก



แผนภูมิที่ 1 (ต่อ)

h) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามความสูง

i) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามความสูง

j) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามประเภทรองเท้า

k) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามประเภทรองเท้า

l) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศชายแบ่งแยกตามเบอร์รองเท้า

m) ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงแบ่งแยกตามเบอร์รองเท้า

จากนั้นผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลความกว้าง ความยาว และขนาดของรองเท้ามาสร้างสมการทดถอยเพื่อใช้ในการคาดคะเนเพศโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ทำให้ได้สมการซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสำหรับสร้างสมการจากการใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ที่ใช้ในการทำนายเพศ

ตัวแปร	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
ความยาวรองเท้า	-1.037	.424	5.970	1	.015	.355
ความกว้างรองเท้า	3.210	.800	16.083	1	.000	24.782
ขนาดรองเท้า	-3.061	.552	30.760	1	.000	.047
ค่าคงที่	120.072	19.899	36.409	1	.000	1.401E+52

จากตารางนำข้อมูลมาสร้างสมการการทำนายเพศได้ดังนี้

เพศ = –1.037(ความยาวรองเท้า) + 3.210(ความกว้างรองเท้า) – 3.061(ขนาดรองเท้า) + 120.072

จากการทดลองใช้สมการข้างต้นในการทำนายเพศในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คน โดยแบ่งเป็นเพศชายจำนวน 30 คน และเพศหญิงจำนวน 30 คน โดยกำหนดให้ ถ้า y = 1 แสดงว่าเป็นเพศหญิง (P > 0.5) และ y = 0 แสดงว่าเป็นเพศชาย (P ≤ 0.5) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพศจริงของกลุ่มตัวอย่าง พบว่าสามารถทำนายเพศได้ถูกต้องถึง 86.7% ในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด และสามารถทำนายเพศได้ถูกต้อง 96.7% ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย และทำนายเพศได้ถูกต้อง 76.7% ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง แสดงดังตารางที่ 2 ข้อมูลจากการทำนายเพศสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง

ตารางที่ 2 ข้อมูลจากการทำนายเพศสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิงตัวอย่าง จำนวน 60 คน (N=60)

ลำดับ	ความยาวรองเท้า (ซม.)	ความกว้างรองเท้า (ซม.)	เบอร์รองเท้า	ทำนายเพศ (Y)	เพศจริง (ชาย=0, หญิง=1)	ลำดับ	ความยาวรองเท้า (ซม.)	ความกว้างรองเท้า (ซม.)	เบอร์รองเท้า	ทำนายเพศ (Y)	เพศจริง (ชาย=0, หญิง=1)
1	26	10	41	0	0	31	25	9	37	1	1
2	26	10	41	0	0	32	24	8	37	1	1
3	26.5	10.5	42	0	0	33	25	9	37	1	1
4	26.5	10.5	42	0	0	34	26	9	37	1	1
5	27	11	42	0	0	35	23.5	9	37	1	1
6	26.5	10.5	42	0	0	36	25	8	38	1	1
7	27.5	11.5	42	0	0	37	25.5	9.5	39	1	1
8	27.5	11	42	0	0	38	24	12	38	1	1
9	29	10	42	0	0	39	27	9	37	1	1
10	27	11	42	0	0	40	25	9	37	1	1
11	28	11.5	42	0	0	41	25.5	10	40	1	1
12	28.5	11	41	1	0	42	26	8	37	1	1
13	28	11	42	0	0	43	27	8	37	1	1
14	29	10	42	0	0	44	26	9	38	1	1
15	29	12.5	44	0	0	45	26.5	10	40	1	1
16	28	12	43	0	0	46	28	8	39	0	1
17	29.5	12	43	0	0	47	27.5	9	40	0	1

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ความยาวรองเท้า (ซม.)	ความกว้างรองเท้า (ซม.)	เบอร์รองเท้า	ทำนายเพศ (Y)	เพศจริง (ชาย=0, หญิง=1)	ลำดับ	ความยาวรองเท้า (ซม.)	ความกว้างรองเท้า (ซม.)	เบอร์รองเท้า	ทำนายเพศ (Y)	เพศจริง (ชาย=0, หญิง=1)
18	28	11	42	0	0	48	27.5	9	40	0	1
19	28.5	11.5	42	0	0	49	27.5	9	39	1	1
20	30	13	46	0	0	50	28	10	39	1	1
21	30	10	42.5	0	0	51	27.5	11.5	41	1	1
22	30	12.5	45	0	0	52	27.5	11.5	41	1	1
23	29	12	43	0	0	53	27.5	11.5	41	1	1
24	30	12.5	45	0	0	54	29	10	40	0	1
25	30	12	43	0	0	55	29	11	41	0	1
26	30	12	45	0	0	56	28	11	41	1	1
27	31	14	46	0	0	57	30	12	41	1	1
28	33	12.5	45	0	0	58	29	10	41	0	1
29	34	12	46	0	0	59	29	10.5	39	1	1
30	32	12	45	0	0	60	29	10	41	0	1

เมื่อนำสถิติการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรมาใช้ในการทำนายความสูงจากความยาว และความกว้างของรองเท้า แสดงข้อมูลสำหรับสร้างสมการจากการใช้สถิติแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ที่ใช้ในการทำนายความสูงดังตารางที่ 3 จากตารางนำข้อมูลสร้างสมการในการทำนายความสูงได้ดังนี้

ความสูง = 2.836(ความยาวรองเท้า)+1.894(ความกว้างรองเท้า)+67.719

โดยสมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) ในการทำนาย เท่ากับ 0.966 เมื่อนำสมการข้างต้นมาใช้ในการทำนายความสูงของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 60 คน และนำมาเปรียบเทียบกับความสูงจริงของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากความสูงจริง พบว่าในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย และในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -3.50 ถึง 3.80 เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยในการคำนวณพบว่า ถ้าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็นลบแสดงว่าความสูงที่คำนวณได้น้อยกว่าความสูงจริง และถ้าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็นบวกแสดงว่าความสูงที่คำนวณได้มากกว่าความสูงจริง

ตารางที่ 3 ข้อมูลสำหรับสร้างสมการจากการใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรที่ใช้ในการทำนายความสูง

ตัวแปร	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
ความยาวรองเท้า	2.836	.207	.656	13.670	.000
ความกว้างรองเท้า	1.894	.278	.327	6.808	.000
ค่าคงที่	67.719	3.202		21.149	.000

ตารางที่ 4 ข้อมูลความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเนความสูงสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิงจำนวน 60 คน (N=60)

ลำดับ	กลุ่มตัวอย่างเพศชาย			ลำดับ	กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง		
	ความสูงจริง (ซม.)	ความสูงจากการคำนวณ (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)		ความสูงจริง (ซม.)	ความสูงจากการคำนวณ (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1	159	160.4	0.90	31	150	155.7	3.80
2	160	160.4	0.20	32	151	150.9	0.00
3	161	162.8	1.10	33	152	155.7	2.40
4	162	162.8	0.50	34	153	158.5	3.60
5	164	165.1	0.70	35	153	151.4	-1.00
6	165	162.8	-1.40	36	154	158.0	2.60
7	166	167.5	0.90	37	154	153.8	-0.10
8	167	166.5	-0.30	38	155	158.5	2.30
9	169	168.9	-0.10	39	156	161.3	3.40
10	170	168.9	-0.60	40	156	155.7	-0.20
11	170	165.1	-2.90	41	157	159.0	1.30
12	171	169.4	-0.90	42	157	156.6	-0.30
13	172	173.6	1.00	43	158	159.4	0.90
14	172	168.9	-1.80	44	159	158.5	-0.30
15	172	168.0	-2.30	45	160	161.8	1.10
16	173	174.1	0.60	46	161	162.3	0.80
17	173	169.9	-1.80	47	162	162.8	0.50
18	174	170.3	-2.10	48	163	162.8	-0.20
19	174	168.0	-3.50	49	164	162.8	-0.80
20	175	177.4	1.40	50	165	166.1	0.60
21	175	176.5	0.80	51	166	167.5	0.90
22	175	171.7	-1.90	52	167	167.5	0.30
23	176	176.5	0.30	53	168	167.5	-0.30
24	176	172.7	-1.90	54	169	168.9	-0.10
25	177	175.5	-0.80	55	170	170.8	0.50
26	179	182.2	1.80	56	171	168.0	-1.80
27	179	175.5	-1.90	57	172	175.5	2.10
28	180	186.9	3.80	58	173	168.9	-2.40
29	180	185.0	2.80	59	174	169.9	-2.40
30	182	181.2	-0.40	60	175	168.9	-3.50

4. สรุป

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดคะเนเพศและประมาณความสูงและจากขนาดของรองเท้าเพื่อประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานี้คือความยาวของรองเท้า (Shoe length) ความกว้างของรองเท้า (Shoe width) และเบอร์รองเท้า (Shoe size) โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างชาวไทย ที่มีอายุระหว่าง 18-58 ปี จำนวน 200 คน แบ่งเป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน จากการเก็บข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ อาชีพ น้ำหนัก ส่วนสูง และชนิดของรองเท้าแล้วทำการวัดขนาดรองเท้า เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่ากลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายมีค่าเฉลี่ยค่าน้ำหนัก ส่วนสูง ความยาวความกว้าง และเบอร์ของรองเท้ามากกว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hilmi et al. (2005) นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงความหลากในด้านอาชีพและชนิดรองเท้าพบว่าชนิดของรองเท้าของตัวอย่างที่ศึกษาส่วนใหญ่ของผู้เข้าร่วมการศึกษาในครั้งใส่รองเท้าผ้าใบมากถึง 69% รองลงมาเป็นรองเท้าแตะ รองเท้าคัชชู และรองเท้าคอมแบค ตามลำดับ ซึ่งรองเท้าผ้าใบเป็นรองเท้าที่เป็นที่นิยมในกลุ่มคนวัยกลางคน เพราะสะดวกและมีความคล่องตัว และส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นนักศึกษาถึง 71% รองลงมาเป็นพนักงานบริษัท ค้าขาย ธุรกิจส่วนตัว และอาชีพอื่น ๆ

เมื่อพิจารณานำข้อมูลความยาว ความกว้าง และเบอร์ของรองเท้า มาสร้างสมการในการทำนายเพศของบุคคลโดยใช้สถิติแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ พบว่าข้อมูลความกว้าง ความยาว และเบอร์ของรองเท้า จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คนนั้น ให้ค่านัยสำคัญที่ยอมรับได้ และสามารถสร้างสมการในการทำนายเพศ คือ เพศ = – 1.037 (ความยาวรองเท้า) + 3.210(ความกว้างรองเท้า) – 3.061(ขนาดรองเท้า) + 120.072 และเมื่อนำสมการนี้มาใช้ในการทำนายเพศของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติม จำนวน 60 คน พบว่าสามารถทำนายเพศของกลุ่มตัวอย่างได้ดีมีความถูกต้องถึง 86.7% ในกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งหมดและสามารถทำนายเพศได้ถูกต้องถึง 96.7% ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ในขณะที่ในการทำนายเพศในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง ได้ถูกต้อง 76.7% ซึ่งการทำนายความสูงนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Om Prakash et al. (1991) และ Hilmi et al. (2005) สามารถคาดคะเนความสูงจากการวัดขนาดของรองเท้าและฝ่าเท้าพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงระหว่างความยาวของฝ่าเท้าและรองเท้ากับความสูงของบุคคลได้

นอกจากนี้ในการทำนายความสูง ผลการทดลองพบว่าความกว้างและความยาวของรองเท้ามีความสัมพันธ์กับความสูงจากการใช้ใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร ในการหาความสัมพันธ์แบบ 2 ตัวแปร โดยใช้ความยาวและความกว้างของรองเท้าในการทำนายความสูงของบุคคล สามารถสร้างสมการในการทำนายความสูง ได้สมการดังนี้ ความสูง = 2.836(ความยาวรองเท้า) + 1.894(ความกว้างรองเท้า) + 67.719 เมื่อนำสมการในการประมาณความสูงจากความกว้างและความยาวของรองเท้าโดยการสุ่มตัวอย่างเพิ่มจำนวน 60 คนแบ่งเป็นเพศชาย 30 คน และเพศหญิง 30 คนพบว่าค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องในระดับดีมาก มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนแค่ในช่วง -3.50 ถึง 3.80 สำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และกลุ่มตัวอย่างเพศชาย งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kowkerd (2011) ที่ได้ศึกษาเรื่องการคาดคะเนความสูงและเพศของบุคคลจากรอยพิมพ์ฝ่าเท้า โดยความกว้างและความยาวสูงสุดของฝ่าเท้าสามารถสร้างสมการทำนายความสูงและเพศได้

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำขนาดของรองเท้า รวมทั้งความกว้างและความยาวของรองเท้ามาใช้ในการประมาณค่าความสูงและคาดคะเนเพศของบุคคลได้ดี โดยสมการที่สร้างขึ้นโดยใช้สถิติแบบง่าย ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประมาณความสูงและเพศของบุคคลนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์ในการสืบสวนสอบสวนหาตัวผู้ที่กระทำความผิดได้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

Chamsuwan, A., N. Kulnides, S. Sukwat, C. Tangsuwan, T. Mekprasertsuk, K. Louichareon and K. Tojima. 2003. **Forensic Science 1 for Crime Investigation**. 4th ed. Bangkok: TCG Printing Co., Ltd. (in Thai)

Jasuja, O., J. Singh and M. Jain. 1991. **Estimation of stature from foot and shoe measurements by multiplication factors: a revised attempt**. Forensic Sci. Int. 50: 203-215.

Kowkerd, W. 2011. **Estimation of stature and sex from footprint in Thailand: a case study of Uttaradit and Phrae province**. (Master's thesis). Silpakorn University, Graduate school, (in Thai)

Moorthy, T.N., A.Y. Ling, S.A. Sarippudin and N.F. Hassan. 2014. **Estimation of stature from footprint and foot outline measurements in Malaysian Chinese**. Australian J. of Forensic Sciences. 46: 136-59.

Moorthy, T.N., A.M.B. Mostapa, R. Boominathan and N. Raman. 2014. **Stature estimation from footprint measurements in Indian Tamils by regression analysis**. Egyptian J. of Forensic Sciences.4: 7-16.

Ozden, H., Y. Balci, C. Demirüstü, A. Turgut and M. Ertugrul. 2005. **Stature and sex estimate using foot and shoe dimensions**. Forensic Sci. Int. 147: 181-184.

Raju, G., V. Vijayanath and M. Anitha. 2012. **Estimation of stature from shoe print length while walking in females**. J. of Indian Academy of Forensic Medicine. 34: 288-291.

Thasom, S. 2015. **Collection of footwear patterns selling in markets within Mueang district, Chiang Mai province for classification of footwear prints**. (Master's thesis). Chiang Mai University, Graduate school. (in Thai)

Wuttirakrungsan, A., and S. Duangchit. 2010. **Forensic anthropology application for stature estimation from footprints in the North and lower Northern part of Thailand**. J. of Forensic Medicine. 3(1): 5-14. (in Thai)

Zeybek, G., I. Ergur and Z. Demiroglu. 2008. **Stature and gender estimation using foot measurements**. Forensic Sci. Int. 181:54e1-e5.

(Received: 8/May/2020, Revised: 4/Feb/2021, Accepted: 26-/Dec/2021)

การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่องภาวะโลกร้อน
The Development of Computer Game on Android Operating System in Global Warming

ณัฐภณ หรรษกรคณโชค

Natthaphon Hatsakornkhanachok

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Computer Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand

E-mail: natthaphon_h@rmutt.ac.th โทร. 081-1941746

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันภาวะโลกร้อนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สภาพอากาศบนโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นทำให้สภาพอากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากที่มนุษย์ได้สร้างสิ่งปลูกสร้าง หรือทำลายสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ จึงทำให้การเกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันเป็นเรื่องที่ต้องมีการจัดการ, ปลูกฝังหรือมีการรณรงค์ให้มนุษย์มาสร้างธรรมชาติ เพื่อให้เกิดการปรับสมดุลที่ดีมากขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้ผู้วิจัยพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อนขึ้นมา

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาความพึงพอใจของบุคลากรในคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมของการพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นบุคลากรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 40 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ 1) เกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน 2) แบบสอบถามความพึงพอใจผ่านแอปพลิเคชั่น Microsoft Form และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน สามารถช่วยให้เกิดความรู้ในเรื่องเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน 2) บุคลากรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมีความพึงพอใจต่อเกมที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยที่ 4.18 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.47

คำสำคัญ : เกมคอมพิวเตอร์ ภาวะโลกร้อน ระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์

Abstract

At present, global warming is another factor that causes climate change on Earth. This change has caused the climate to continue to rise in temperature. This is caused by humans creating structures or destroying the environment and nature. It is a matter that must be managed, cultivated, or campaigned for human beings to create nature to achieve a better balance. From such problems, researcher developed computer games on the Android operating system about global warming.

The purpose of this research was to develop and find satisfaction of personnel in the Faculty of Technical Education for developing computer games on Android operating system on global warming. The sample consisted of 40 personnel of Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Thanyaburi during the second semester in the academic year of 2021. The research tools were 1) Computer game on android operating system in global warming. 2) satisfaction

questionnaire with Microsoft form. The data were analyzed by using statistics which were mean and standard deviation

The result of this research found that 1) Developing a computer game on the Android operating system on global warming can help educate about global warming. 2) The personnel were very satisfied with Web-Based Instruction which was developed by the researcher at mean of 4.18 and standard deviation of 0.47.

Keywords : Computer Game, Global Warming, Operating System, Android

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุณหภูมิของโลกนั้นมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มสูงขึ้นจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ อาทิเช่น การเผาพลาญถ่านหิน, การตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น ซึ่งสภาวะเรือนกระจกนั้นส่วนใหญ่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซโอโซน ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการรายงานของ Global Climate Risk Index (2019) นั้นได้ระบุว่า เอเชียจะเป็นภูมิภาคที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุดที่จะเกิดสภาวะโลกร้อน จึงทำให้ทราบว่า เรื่องของสภาวะโลกร้อนนั้นเป็นเรื่องใกล้ตัวที่เราควรตื่นตัวและพร้อมร่วมมือช่วยกันในหารลดสภาวะโลกร้อน โดยมีแบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศในปี พ.ศ. 2544 - 2643 ว่าอุณหภูมิของโลกนั้นมีจะค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 1.1 - 6.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มีค่าสูงอย่างมากและหากยังให้ความร้อนของโลกนั้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดผลกระทบบนโลก ไม่ว่าจะเกิดภัยธรรมชาติที่รุนแรง, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและฤดูกาลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่ตรงตามฤดูกาลที่เป็นตามปกติของธรรมชาติและผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนที่จะเกิดขึ้นในประเทศไทยนั้นจะส่งผลกระทบในหลากหลายด้านอาทิด้านสิ่งแวดล้อมอากาศในประเทศไทยจะมีความร้อนที่สูงขึ้น ฝนตกน้อยลงจึงทำให้เขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำนั้นมีน้ำในปริมาณที่น้อยและยังคาดการณ์ว่าบริเวณภาคใต้นั้นอาจจะมีฝนตกมากกว่าปกติและอาจเกิดพายุที่รุนแรงเพิ่มขึ้น ส่วนทางด้านเกษตรกรรมอาจเกิดสภาวะน้ำน้อยเกินไปหรือน้ำมากเกินไป ส่วนทางด้านสุขภาพนั้นเมื่อเกิดความร้อนมากขึ้นจะทำให้พาหะและเชื้อโรคต่าง ๆ เกิดการปรับตัว เชื้อโรค เชื้อราและแบคทีเรียหลายชนิดเกิดและขยายตัวได้ดีเมื่อเจอภูมิอากาศที่มีความร้อนสูงขึ้นและยังอาจทำให้อาหารบูดเสียได้รวดเร็วมากขึ้น พร้อมทั้งยังรายงานวิธีการหยุดการเกิดภาวะโลกร้อนจากเว็บไซด์ NRDC (2021) ได้กล่าวว่า อันดับแรกคือ วิธีแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีพลังอำนาจมากที่สุดคือ การบอกเพื่อนหรือคนในครอบครัวและบุคคลอื่นผ่านทางโลกโซเชียลว่า ภาวะโลกร้อนนั้นเราจะสามารถลดความร้อนได้อย่างไร ควรเกิดความตระหนักและสนใจในเรื่องของภาวะโลกร้อนมากขึ้น หรือส่งเสริมให้รัฐบาลนั้นออกกฎหมายในเรื่องของการปล่อยก๊าซคาร์บอนในปริมาณที่เหมาะสมและกำหนดให้มีการชำระเงินหากมีการปล่อยมลพิษเกิดค่าที่กำหนด อันดับที่สอง ใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยและใช้พลังงานหมุนเวียนอย่างอื่นให้เกิดพลังงานไฟฟ้า โดยให้เลือกใช้พลังงานจากลมหรือแผ่นโซลาเซลล์ให้เกิดพลังงานไฟฟ้าแทน อันดับที่สาม ควรเลือกใช้หลอดไฟแบบแอลอีดี ซึ่งหลอดไฟแบบแอดอีดีนั้นมีราคาที่ถูกและยังมีระยะเวลาในการใช้งานยาวนาน หากเปลี่ยนเป็นหลอดแอลอีดีขนาด 10 วัตต์มาใช้แทนหลอดไฟแบบดั้งเดิมขนาด 60 วัตต์ จะสามารถช่วยให้ประหยัดเงินประมาณ 4,000 บาทต่อปี อันดับที่สี่ เปลี่ยนยานพาหนะจากยานพาหนะที่เติมด้วยน้ำมันเป็นแบบระบบไฮบริดหรือยานพาหนะแบบไฟฟ้า เพื่อลดปริมาณของน้ำมันและเงิน โดยในปี 2017 มีค่าเฉลี่ยในการใช้น้ำมันประมาณ 54.5 ไมล์ต่อ 1 แกนลอน ซึ่งในปี 2011 ยานพาหนะใช้น้ำมันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.3 ไมล์ต่อ 1 แกน เป็นต้น

จากการศึกษาจากรายงานการวิจัยเรื่อง การสำรวจสถานการณ์ปัญหาพฤติกรรมเสี่ยงและการติดเกมในนักเรียนโรงเรียนนำร่องระบบการดูแลช่วยเหลือนักเรียนของ Visanuyothin (2013) ได้ให้ความหมายของเกมคอมพิวเตอร์เอาไว้ว่า เป็นผลผลิตหนึ่งจากความก้าวหน้าของการผสมผสานในด้านเทคโนโลยี (Technology Convergent) ซึ่งจะมีจุดมุ่งหมายเพื่อตอบสนองความต้องการด้านความบันเทิงให้กับผู้เล่น

จากการศึกษาจากงานวิจัยของ Arcade (2009) ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับเกมคอมพิวเตอร์ว่า เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประเภทเกมที่เล่นด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้เมาส์ แป้นพิมพ์ จอภาพ หรืออุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ และสามารถทำให้ผู้เล่นมีความรู้สึกตื่นเต้นเร้าใจมากขึ้น

จากการศึกษาจากงานวิจัยของ Panyakad (2009) ได้ให้ความหมายของเกมว่า เกม หมายถึง การเล่นที่ผู้เล่นอยู่ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมและมีจุดเริ่มต้นและจุดจบที่ชัดเจน ในเงื่อนไขที่จำกัดและมีความอิสระ การเล่นเกมเป็นการมุ่งใช้ความสามารถในการแสดงความเหนือกว่าเพื่อเอาชนะหรือแข่งขันบนเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ของเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ แต่จะนำมาประยุกต์กับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์หรืออินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มีการเชื่อมต่อโดยผ่านการให้บริการของบริษัท

จากที่ได้กล่าวจึงสรุปได้ว่า เกมคอมพิวเตอร์ คือ เกมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้เล่นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ, แท็บเล็ต เป็นต้น ซึ่งการนำเอารูปแบบของเกมมาพัฒนาขึ้นบนคอมพิวเตอร์ จะเป็นสื่อประสมที่มีการรวมทั้ง ภาพ เสียง ข้อความ ให้เกิดเป็นสื่อแบบมัลติมีเดีย เพื่อให้ผู้เล่นสามารถตอบสนองได้ทันทีและมีความสนุกสนานเพลินเพลิดรวมถึงยังช่วยให้ผู้เล่นได้เกิดทักษะและกระบวนการต่าง ๆ มากขึ้นกว่าเดิม

จากการศึกษารายละเอียดจากบทความวิจัยของ Panyakad (2020) กล่าวว่า ในปัจจุบันอุปกรณ์พกพา ได้แก่ โทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตเป็นกลไกที่สำคัญที่ทำให้ผู้ใช้เข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ โดยอุปกรณ์พกพาได้มีการพัฒนาให้มีความก้าวหน้าทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) หรือเรียกว่า แอปพลิเคชันบนมือถือ ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ น่าสนใจ มีความตอบสนองความต้องการ ยืดหยุ่นและมีความหลากหลายมากขึ้น

จากการศึกษารายละเอียดจากเว็บไซต์ Webopedia (2021) ได้กล่าวว่า เกมประเภท Arcade game นั้นเป็นเกมแอ็กชันประเภทหนึ่งที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการเล่นและจะเหมาะกับพีซีหรือเกมประเภทคอนโซล ซึ่งเกมประเภทนี้จะต้องใช้ทักษะในเรื่องของการใช้มือหรือนิ้วและสายตาในการเล่นเกม โดยเกมประเภทนี้ที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือเกมพินบอลที่เป็นในเครื่องคอมพิวเตอร์ในสมัยก่อน

จากการศึกษารายละเอียดจากหนังสือของ Wei Meng Lee (2010) ได้กล่าวว่า ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นั้นเป็นซอฟต์แวร์ที่มีโครงสร้างแบบเรียงทับซ้อน (Stack) ซึ่งจะรวมเอาระบบปฏิบัติการมิดเดิลแวร์ (Middle Ware) และโปรแกรมประยุกต์ที่สำคัญเข้าไว้ด้วยกันเพื่อให้ทำงานบนอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่โดยเฉพาะ เช่น โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น การทำงานของแอนดรอยด์มีพื้นฐานอยู่บนระบบใจกลางลีนุกซ์ (Linux Kernel) ซึ่งใช้แอนดรอยด์เอสดีเค (Software Development Kit) นั้นเป็นเครื่องมือสำหรับในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยจะใช้ภาษาจาวา (Java) ในการพัฒนาและเขียนควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางคลังจาวา (Java Library) ที่ทางกูเกิลพัฒนาขึ้นโดยเฉพาะ โปรแกรมต่าง ๆ ที่ประมวลผลบนกูเกิลแอนดรอยด์สามารถเขียนได้ด้วยภาษาซี (C Language) และภาษาอื่น ๆ

ปัญหาดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจึงทำให้ผู้วิจัย คิดหาวิธีการช่วยเหลือ เรื่องการเกิดภาวะโลกร้อนด้วยการรณรงค์แต่ควรจะเป็นการรณรงค์และปลูกจิตสำนึกในยุคที่เป็นดิจิทัลด้วยการสร้างเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ขึ้นมา ซึ่งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นั้นเป็นระบบปฏิบัติการที่มีผู้ใช้งานอย่างมากมายและระบบปฏิบัติการแอนดรอย์นั้นยังพัฒนาแอปพลิเคชันและการติดตั้งที่ไม่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยจึงเลือกระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกประเภทเกมแบบ Arcade game เพราะเป็นเกมแอ็กชันประเภทหนึ่งที่ต้องใช้ในเรื่องของไหวพริบ ความเร็ว รวมถึงเรื่องของสายตาในการเลือกเกม โดยเกมนั้นสามารถกระตุ้นและปลูกจิตสำนึกให้แก่ประชาชนทั่วไปให้ตระหนักถึงภาวะโลกร้อนที่กำลังเกิดขึ้นและยังคงมีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง

2. วิธีการทดลอง

2.1 การศึกษาหาข้อมูล

2.1.1 ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการวิจัยดังนี้

2.1.1.1 ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการวิจัยดังนี้

ศึกษาหลักการและวิธีการเพื่อสร้างเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน จากตำรา เอกสาร อินเทอร์เน็ตและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการนำเสนอเกมนั้นเป็นรูปแบบของการเลือกว่าลูกโป่ง ลูกไหนเป็นจริงและลูกโป่ง ลูกไหนเป็นเท็จ ซึ่งจะมีไฟมาเป็นส่วนประกอบในการบ่งบอกว่าเกิดอะไรขึ้นกับสิ่งที่เรากดลงไปอย่างไร

2.1.1.2 ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์เนื้อหาเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน โดยมีรายละเอียดนำมาใช้ในการวิจัยดังนี้

ก) การตัดไม้ทำลายป่า

ข) การใช้ถุงพลาสติก

ค) อันตรายจากควันรถมอเตอร์ไซต์ หรือรถยนต์

ง) การใช้หลอดไฟแบบหลอดไส้กับหลอดแบบแอลอีดี

2.1.1.3 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างเกมคอมพิวเตอร์ โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

ก) Construct 2 เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างเกมคอมพิวเตอร์

ข) Adobe Illustrator เป็นโปรแกรมสำหรับการตกแต่ง แก้ไขภาพ

ค) Adobe Photoshop เป็นโปรแกรมสำหรับการตัดต่อภาพ

ง) Audacity เป็นโปรแกรมสำหรับการตัดต่อเสียงและแปลงไฟล์เสียง

จ) ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) สามารถติดตั้งได้ตั้งแต่เวอร์ชั่น 9.0 ขึ้นไป

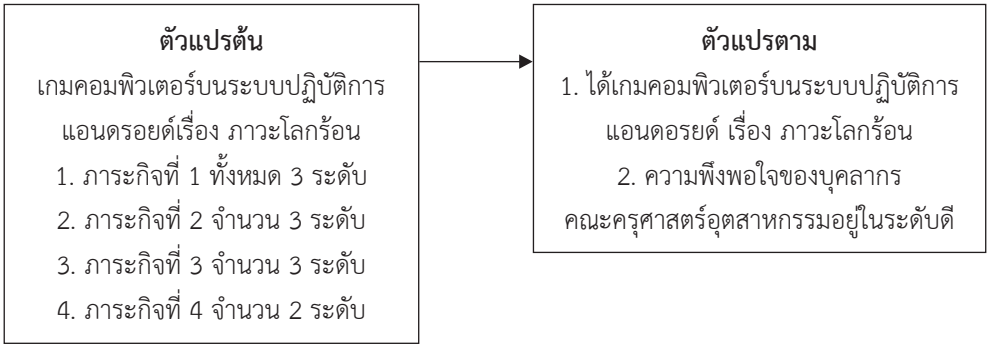
2.2 กำหนดกลุ่มประชากรและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

2.2.1 ประชากร คือ บุคลากรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคลากรในคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จำนวนทั้งสิ้น 40 คน

2.3 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

2.3.1 กรอบแนวคิดของผู้วิจัยในการสร้างเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

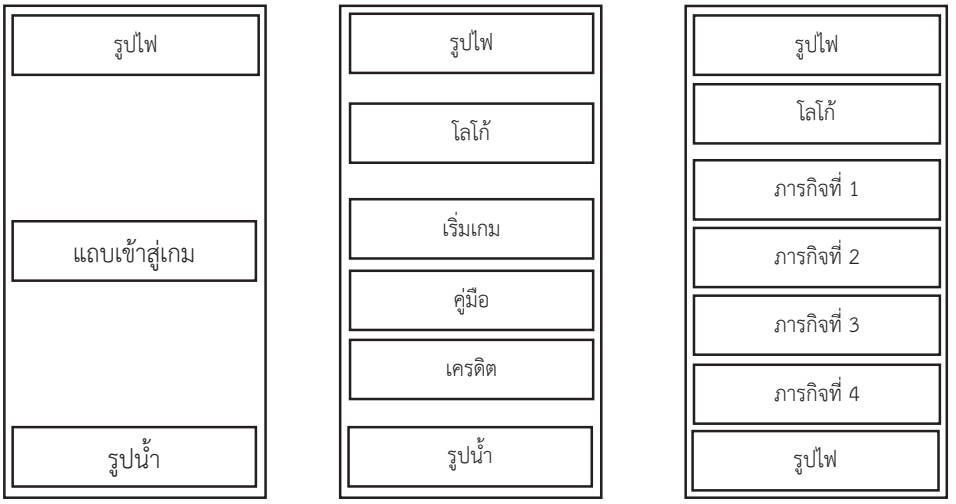


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากภาพที่ 1 พบว่า กรอบแนวคิดของผู้วิจัยให้ผู้เล่นได้ทำภาระกิจในแต่ละภาระกิจก่อนและจะมีกิจกรรมและให้ความรู้ในการลดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน เพื่อให้ผู้เล่นได้ทั้งความสนุกสนานจากการเล่นเกมและกิจกรรมที่บ่งบอก

ถึงการช่วยลดภาวะโลกร้อนในหลากหลายรูปแบบ โดยกิจกรรมทั้งสามระดับจะแบ่งออกเป็น การตัดไม้ทำลายป่า, การใช้ถุงผ้า, อันตรายจากควันพาหนะและการใช้หลอดไฟแบบแอลอีดี พร้อมทั้งสอดแทรกความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหัวเรื่องเพื่อให้ผู้เล่นได้เข้าใจและเกิดความตระหนักมากขึ้นที่จะช่วยให้ไม่เกิดภาวะโลกร้อนมาขึ้น

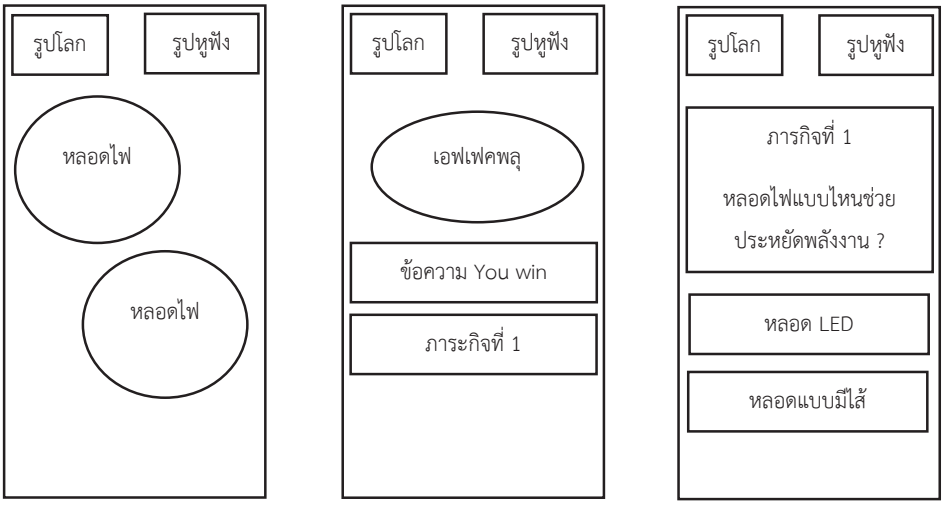
2.3.2 การออกแบบระบบเกม (Game Design) ดังภาพที่ 2-4



(2) (3) (4)

ภาพที่ 2-4 โครงร่างการออกแบบระบบเกม (Game Design) ในหน้าหลักของเกม

จากภาพพบว่า ในภาพที่ 2 เป็นโครงร่างในหน้าหลักของการโหลดข้อมูลก่อนเข้าสู่เกม โดยจะมีแถบในการโหลดข้อมูล ซึ่งจะไม่อ้างอิงกับการดาวน์โหลดข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต ในภาพที่ 3 เป็นหน้าหลักของเกมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยเมนู เริ่มเกม, คู่มือและเครดิตของผู้พัฒนาและในภาพที่ 4 เป็นหน้าของการเข้าสู่ภาระกิจในการเข้าเล่นเกม โดยจะมีเมนูในการกดเข้าสู่ภาระกิจที่ 1 ถึงภาระกิจที่ 4 ซึ่งจะมีภาระกิจที่ต่างกันออกไป ซึ่งหน้าภาระกิจมีโครงร่างดังภาพที่ 5-7

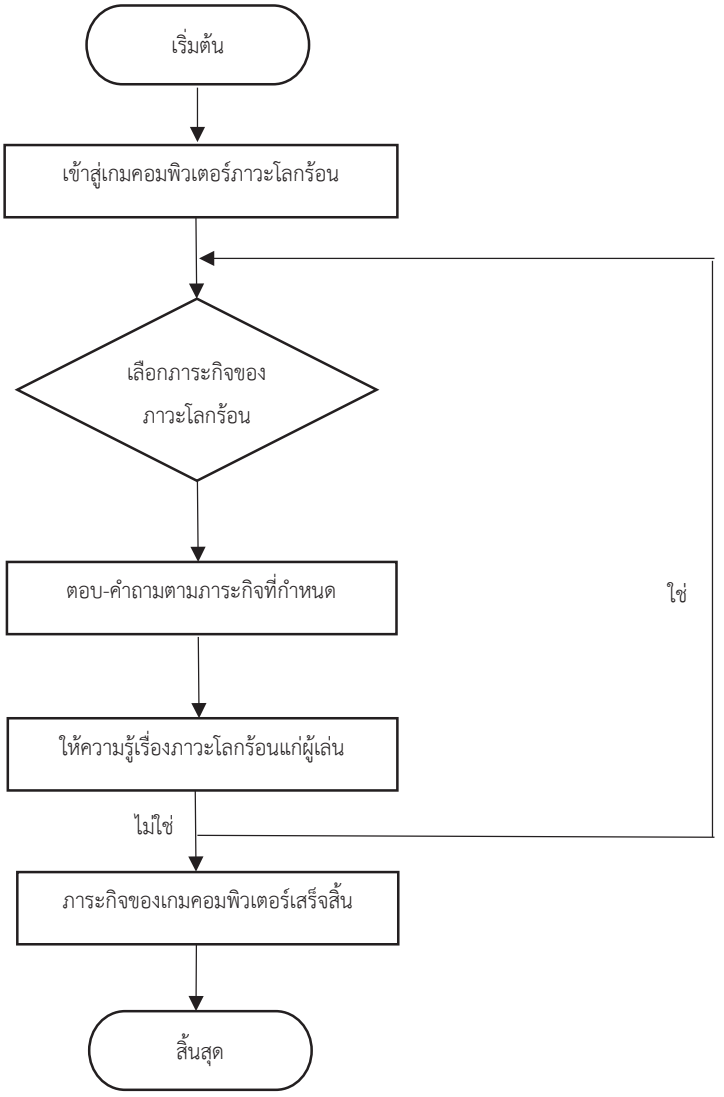


(5) (6) (7)

ภาพที่ 5-7 โครงร่างการออกแบบระบบเกม (Game Design) ในหน้าของการเล่นเกม

จากภาพที่ 5-7 พบว่า ในภาพที่ 5 เป็นโครงร่างของการเล่นเกม โดยจะประกอบไปด้วยรูปโลกมีหน้าที่ในการแสดงผลถึงภาวะโลกร้อน และรูปหูฟังจะบอกสถานะของการเปิด-ปิดเสียงดนตรีประกอบภายในเกม ในส่วนของหลอดไฟจะมีลักษณะเหมือนฟองน้ำที่ลอยขึ้นที่แตกต่างกันออกไป ในภาพที่ 6 เป็นโครงร่างของการทำภาระกิจเสร็จสิ้น จะมีข้อความแสดงและมีปุ่มในการกดคลิกเข้าสู่หน้าของการเลือกตอบคำถามต่อไป และในภาพที่ 7 เป็นหน้าโครงร่างของการถาม-ตอบ โดยจะมีคำถามโดยให้ผู้เล่นเลือกคำตอบ หากตอบถูกจะมีคำอธิบายและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่คลิกลงไป

2.3.3 ผังภาพรวมของเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผังกระบวนการภาพรวมของเกมที่พัฒนาขึ้น

จากภาพที่ 8 จะพบว่า เป็นผังกระบวนการภาพรวมของเกมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะเริ่มต้นจากการเข้าสู่เกมคอมพิวเตอร์และเลือกภาระกิจในการเกิดภาวะโลกร้อน โดยภาระกิจทั้งหมดของเกม จะมีทั้งสิ้น 4 ภาระกิจ โดยแต่ละภารกิจจะมีความแตกต่างกันออกไป เมื่อเล่นเกมเสร็จตามภาระกิจที่กำหนดจะเข้าสู่กระบวนการของการตอบ-คำถามตามภารกิจ โดยจะมีแค่เพียงใช่หรือไม่ใช่ ซึ่งหากตอบคำถามได้ถูกต้องจะเข้าสู่การให้ความรู้ในเรื่องเกี่ยวกับภารกิจที่ได้ทำ หลังจากให้ความรู้เสร็จสิ้นจะกลับเข้าสู่การเลือกภาระกิจต่อไป และเมื่อทำภาระกิจครบทั้ง 4 ภาระกิจจะเป็นการเสร็จสิ้นภารกิจในเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

2.3.4 หน้าตาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน

2.3.4.1 หน้าหลักของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 9-10

(9) (10)

ภาพที่ 9-10 หน้าหลักของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพพบว่า ภาพที่ 9 เป็นหน้าของการโหลดเข้าเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน โดยเกมนี้จะเป็นการโหลดเข้าเกมแบบได้กำหนดช่วงเวลาเอาไว้ ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการใช้อินเทอร์เน็ตใด ๆ ทั้งสิ้น และภาพที่ 10 เป็นหน้าของเกมที่พัฒนาขึ้น โดยจะมีเมนูให้เลือกทั้งหมด 3 เมนู โดยเมนูที่ 1 เป็นการเข้าเริ่มเกม เมนูที่ 2 เป็นคู่มือแนะนำในการเล่นเกมและเมนูที่ 3 เป็นรายละเอียดของผู้พัฒนา

2.3.4.2 หน้าภาระกิจที่ 1 เกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 11-14

(11) (12) (13) (14)

ภาพที่ 11-14 หน้าภาระกิจที่ 1 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพพบว่า ภาพที่ 11 เป็นหน้าของการเข้าสู่ภาระกิจที่ 1 เป็นการให้เลือกหลอดไส้กับหลอดแบบแอลอีดี ซึ่งในช่วงเข้าเกมช่วงแรกจะพบว่า มีความร้อนปกคลุมเต็มพื้นที่และโลกเป็นสีแดง โดยจะต้องเลือกรูปภาพที่เป็นหลอดไฟแบบแอลอีดีถึงจะทำให้ความร้อนที่ปกคลุมค่อย ๆ จางลง หากเลือกรูปภาพหลอดไฟแบบมีไส้จะเกิดความร้อนปกคลุมในเกมมากขึ้น ภาพที่ 12 เป็นหน้าแสดงความยินดีที่สามารถทำให้โลกกลับมาเป็นสภาวะที่ปกติ และจะมีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการรณรงค์ในเรื่องของสภาวะโลกร้อน ภาพที่ 13 เป็นหน้ากิจกรรมที่ 1 ในระดับที่ 1 โดยเป็นการสอบถามผู้เล่น

กับคำถาม หลอดไฟแบบไหนที่ช่วยประหยัดพลังงาน หากผู้เล่นตอบถูกจะมีเครื่องหมายถูก หากผู้เล่นตอบผิดจะมีเครื่องหมายกากบาทแสดงขึ้นมา และภาพที่ 14 โดยทำภารกิจครบทั้ง 3 ระดับแล้วจะพบกับการให้ข้อมูลในเรื่องที่เกี่ยวกับหลอดไฟแอลอีดีนั้นดีกว่าหลอดไส้อย่างไร

2.3.4.3 หน้าภาระกิจที่ 2 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 15-18

(15) (16) (17) (18)

ภาพที่ 15-18 หน้าภาระกิจที่ 2 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพพบว่า ภาพที่ 15 เป็นหน้าการเข้าสู่ภาระกิจที่ 2 เป็นการให้เลือกรถจักรยานยนตร์กับจักรยาน ซึ่งในช่วงเข้าเกมช่วงแรกจะพบว่า หากเลือกรูปภาพรถจักรยาน ความร้อนที่ปกคลุมจะค่อย ๆ จางลง แต่ถ้าเลือกรูปภาพรถจักรยานยนต์ความร้อนจะปกคลุมมากขึ้น ภาพที่ 16 เป็นหน้าแสดงความยินดีที่สามารถทำให้โลกกลับมาเป็นสภาวะที่ปกติ และจะมีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการรณรงค์ในเรื่องของสภาวะโลกร้อน ภาพที่ 17 เป็นหน้ากิจกรรมที่ 2 โดยเป็นการสอบถามผู้เล่นกับคำถาม การช่วยลดมลพิษทางอากาศควรเลือกใช้อะไร หากผู้เล่นตอบถูกจะมีเครื่องหมายถูก หากผู้เล่นตอบผิดจะมีเครื่องหมายกากบาทแสดงขึ้นมา และภาพที่ 18 เป็นหน้าเสริมความรู้ว่า จักรยานนั้นดีกว่ารถจักรยานยนต์อย่างไร

2.3.4.4 หน้าภาระกิจที่ 3 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นดังภาพที่ 19-22

(19) (20) (21) (22)

ภาพที่ 19-22 หน้าภาระกิจที่ 3 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพพบว่า จากภาพที่ 19 เป็นการเข้าสู่ภาระกิจที่ 3 ของสภาวะโลกร้อน เป็นการให้เลือกถุงผ้ากับถุงพลาสติก ซึ่งจะความร้อนปกคลุมเต็มพื้นที่และโลกเป็นสีแดง หากเลือกรูปภาพถุงผ้าความร้อนที่ปกคลุมจะค่อย ๆ จางลง หากเลือกรูปภาพถุงพลาสติกความร้อนจะปกคลุมมากขึ้น ภาพที่ 20 เป็นหน้าแสดงความยินดีที่สามารถทำให้โลกกลับมาเป็นสภาวะที่ปกติ และจะมีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการรณรงค์ในเรื่องของสภาวะโลกร้อน ภาพที่ 21 เป็นหน้ากิจกรรมที่ 3 โดยเป็นการสอบถามผู้เล่นกับคำถาม ควรใช้ถุงแบบดเพื่อลดมลพิษ หากผู้เล่นตอบถูกจะมีเครื่องหมายถูก หากผู้เล่นตอบผิดจะมีแครื่องหมายกากบาทแสดงขึ้นมา และภาพที่ 22 เป็นหน้าเสริมความรู้ว่า ถุงผ้านั้นดีกว่าถุงพลาสติกอย่างไร

2.3.4.5 หน้าภาระกิจที่ 4 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 23-26

(23) (24) (25) (26)

ภาพที่ 23-26 หน้าภาระกิจที่ 4 ของเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพพบว่า จากภาพที่ 23 เป็นการเข้าสู่ภาระกิจที่ 4 เป็นการเลือกระหว่างการปลูกต้นไม้กับการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งจะมีความร้อนปกคลุมเต็มพื้นที่และโลกเป็นสีแดง หากเลือกรูปภาพต้นไม้ ความร้อนที่ปกคลุมจะค่อย ๆ จางลง หากเลือกรูปภาพตัดไม้ ความร้อนที่ปกคลุมจะเพิ่มขึ้น ภาพที่ 24 เป็นหน้าแสดงความยินดีที่สามารถทำให้โลกกลับมาเป็นสภาวะที่ปกติ และจะมีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการรณรงค์ในเรื่องของสภาวะโลกร้อน ภาพที่ 25 เป็นหน้ากิจกรรมที่ 4 โดยเป็นการสอบถามผู้เล่นกับคำถาม หากมลพิษเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เราควรทำอย่างไร หากผู้เล่นตอบถูกจะมีเครื่องหมายถูก หากผู้เล่นตอบผิดจะมีเครื่องหมายกากบาทแสดงขึ้นมา และภาพที่ 26 เป็นหน้าเสริมความรู้การตัดไม้ทำลายป่านั้นจะเกิดอะไรขึ้นกับโลกของเรา

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 กระบวนการติดตั้งเกมคอมพิวเตอร์ในโทรศัพท์มือถือ

การติดตั้งเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในโทรศัพท์มือถือจะต้องเป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ตั้งแต่เวอร์ชัน 9.0 ขึ้นไป โดยติดตั้งผ่านทางช่องทางการดาวน์โหลดของผู้วิจัย โดยผู้วิจัยดำเนินการให้เป็นไฟล์.apk เพื่อจะได้สามารถติดตั้งในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้

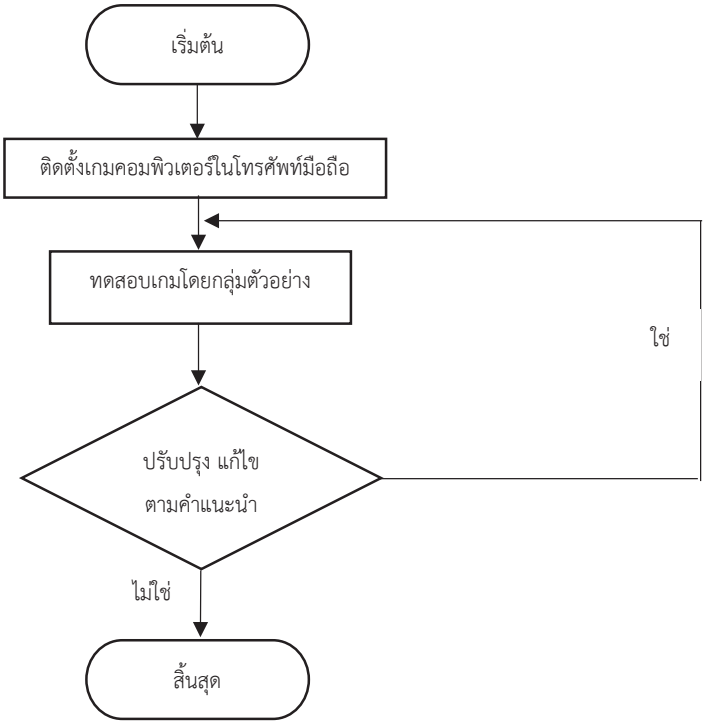
3.2 เกณฑ์การเลือกกลุ่มในการทดลอง

ทางผู้วิจัยได้มีแบบสอบถามเรื่องเกี่ยวกับ ภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน โดยให้ผู้ประเมินจำนวน 100 คนได้ทำการประเมิน และผู้วิจัยได้มีการคัดเลือกโดยใช้คะแนนในการประเมินเป็นตัววัด หากมีคะแนนเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด จะเข้าสู่กระบวนการของการเข้ามาทดสอบเกมที่พัฒนาขึ้นจำนวน 40 คน

3.3 ระยะเวลาในการทดสอบกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น มีระยะในการทดสอบในภารกิจละ 15-30 นาที ต่อ 1 ภาระกิจ ซึ่งให้กลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบในช่วงหลังเลยปฏิบัติงานเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยในช่วงของการทดสอบผู้วิจัยจะเป็นผู้ควบคุม และหากทดสอบเสร็จในแต่ละภารกิจ ทางผู้วิจัยจะให้กลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ เพื่อขอคำแนะนำในด้านของภาพ เสียง เนื้อหาและกระบวนการเล่นเกมต่าง ๆ ว่ามีส่วนไหนที่ทางผู้วิจัยต้องมีปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มขึ้นจากเดิม

3.4 ขั้นตอนในการทดสอบเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 27 ขั้นตอนในทดสอบเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

จากภาพที่ 27 พบว่า จากการทดสอบโดยผู้พัฒนาโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว เมื่อได้ตัวเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน ที่สมบรูณ์แล้ว จะนำไปเก็บผลลัพธ์กับกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 40 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่าง

3.5 ความพึงพอใจต่อเกมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ		
	$\bar{X}$	S.D	เชิงคุณภาพ
1. ด้านการออกแบบเกม	4.26	0.33	พอใจมาก
2. ด้านความรู้ที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อน	4.16	0.52	พอใจมาก
3. ด้านการจัดกิจกรรมในเกม	4.13	0.56	พอใจมาก
4. ด้านประโยชน์ที่ได้จากเกม	4.24	0.48	พอใจมาก
สรุปผลการประเมิน	4.18	0.47	พอใจมาก

จากตารางที่ 1 จะพบว่า ด้านการออกแบบเกม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.26 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.33 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เนื่องจากการออกแบบเกมนั้นเป็นการออกแบบที่เน้นในการเล่นที่ง่ายสำหรับผู้เล่น มีดนตรีและเสียงประกอบที่เหมาะสมกับเกม ด้านความรู้ที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.16 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.52 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เพราะความรู้ที่สอดแทรกในกิจกรรมในกิจกรรมสุดท้ายของแต่ละกิจกรรม จะเป็นการให้ความรู้และโน้มน้าวให้ผู้เล่นได้เห็นถึงภัยอันตรายของการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการจัดกิจกรรมในเกม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.56 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก ในด้านของการจัดกิจกรรมในเกม จะเน้นไปในกิจกรรมถาม-ตอบกับผู้เล่น เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้ผู้เล่นได้เกิดการคิดและวิเคราะห์ จึงได้มีการกิจกรรมในแต่ละระดับ เพื่อให้ผู้เล่นได้สามารถเข้าใจถึงสิ่งที่ผู้วิจัยต้องการและในด้านประโยชน์ที่ได้จากเกม ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.24 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.48 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เนื่องจากสิ่งที่ผู้เล่นได้เล่นนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของการปลูกฝังและโน้มน้าวให้ผู้เล่น ได้เห็นถึงสิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์ได้กระทำจึงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน จากภาพรวมสรุปผลการประเมินได้ว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.18 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.47 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก จากการประเมินความพึงพอใจจึงทำให้ทราบว่า เกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน นั้นสามารถช่วยเสริมความรู้และยังคงมีความสนุกสนานในการเล่นเกม รวมถึงยังมีกิจกรรมที่ส่งเสริมต่อการปลูกฝังและโน้มน้าวให้ผู้เล่นนั้นช่วยกันทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันและอนาคตได้น้อยลงและดีมากขึ้นกว่าเดิม

4. สรุป

การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน เป็นการวิจัยที่มีการบูรณาการที่นำเอาเกมเข้ามาผนวกรวมกับเนื้อหาที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อน พร้อมทั้งยังให้สามารถเล่นได้ผ่านสมาร์ทโฟน โดยติดตั้งแอปพลิเคชันนี้ลงไปในสมาร์ทโฟนได้ โดยการพัฒนาเกมดังกล่าว ยังช่วยให้ผู้เล่นมีความสนุกสนานและมีความเพลิดเพลินกับกับการเล่นเกมในแต่ละภารกิจต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ เพื่อให้เกมที่พัฒนานั้นตรงประเด็นกับภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน และจากการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ประเภทของเกมที่เลือกนำมาใช้ในหัวข้อของภาวะโลกร้อนนั้นมีความเหมาะสมและเข้าใจง่าย รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ยังสอดคล้องกับเรื่องของภาวะโลกร้อน พร้อมทั้งยังมีการสอดแทรกความรู้ทีเกี่ยวกับการเกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน เพื่อให้ผู้เล่นได้เกิดความตระหนักในการใช้ชีวิตและการลดภาวะโลกร้อน

จากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ด้านการออกแบบเกม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.26 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.33 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เนื่องจากการออกแบบเกมนั้นเป็นการออกแบบที่เน้นในการเล่นที่ง่ายสำหรับผู้เล่น มีดนตรีและเสียงประกอบที่เหมาะสมกับเกม ด้านความรู้ที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.16 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.52 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เพราะความรู้ที่สอดแทรกในกิจกรรมในกิจกรรมสุดท้ายของแต่ละกิจกรรม จะเป็นการให้ความรู้และโน้มน้าวให้ผู้เล่น ได้เห็นถึงภัยอันตรายของการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการจัดกิจกรรมในเกม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.56 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก ในด้านของการจัดกิจกรรมในเกม จะเน้นไปในกิจกรรมถาม-ตอบกับผู้เล่น เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้ผู้เล่นได้เกิดการคิดและวิเคราะห์ จึงได้มีการกิจกรรมในแต่ละระดับ เพื่อให้ผู้เล่นได้สามารถเข้าใจถึงสิ่งที่ผู้วิจัยต้องการและในด้านประโยชน์ที่ได้จากเกม ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.24 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.48 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก เนื่องจากสิ่งที่ผู้เล่นได้เล่นนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของการปลูกฝังและโน้มน้าวให้ผู้เล่นได้เห็นถึงสิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์ได้กระทำจึงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน จากภาพรวมสรุปผลการประเมินได้ว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.18 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.47 ซึ่งในเชิงคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมาก จากการประเมินความพึงพอใจจึงทำให้ทราบว่า เกมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เรื่อง ภาวะโลกร้อน นั้นสามารถช่วยเสริมความรู้และยังคงมีความสนุกสนานในการเล่นเกม รวมถึงยังมีกิจกรรมที่ส่งเสริมต่อการปลูกฝังและโน้มน้าวให้ผู้เล่น

นั้นช่วยกันทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันและอนาคตได้น้อยลงและดีมากขึ้นกว่าเดิม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคลากรคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เสียสละเวลาของแต่ละท่าน มาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบเกมที่พัฒนาขึ้น รวมถึงคณาจารย์สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ท่านให้โอกาสให้ได้มาทำงานและเพิ่มพูนความรู้ พร้อมทั้งยังส่งเสริมให้พัฒนาศักยภาพทางด้านวิชาการและในกระบวนการเรียนรู้ต่าง ๆ

6. เอกสารอ้างอิง

Arcade, W. 2009. **Computer game development for the treatment of cerebral palsy**. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok. (in Thai)

Beal, V. 2021. **What is Arcade Game in Game Education**. https://www.webopedia.com/definitions/arcade-game. Accessed Sep. 18, 2020.

Boonchom, V 2020. **The Development of Android Application for Disseminating Thai Cultural Heritage of the Lower Southern Provinces of Thailand**. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/download/240094/164669/842802. Accessed Sep. 18, 2020. (in Thai)

Global Climate Risk Index. 2019. **Who suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2017 and 1998 to 2017**. https://germanwatch.org/en/16046. Accessed Sep. 18, 2020.

Lee, W. M. 2010. **Beginning Android Application Development**. 1st ed. Wilry Publishing, Indiana

MacMillan, A. and J. Turrentine. 2021. **Global Warming 101**. https://www.nrdc.org/stories/global-warming-101. Accessed Sep. 18, 2020.

Panyakad, S. 2009. **The Relationship Between Violence in On-line Game Media and Aggressive Behavior of Teenagers in Chiang Mai Province**. http://repository.cmu.ac.th/handle/6653943832/15240. Accessed Sep. 20, 2020. (in Thai)

Visanuyothin, T. 2013. **A survey problem situations risk behaviors and addiction game among student, The student system support**. https://new.camri.go.th/_admin/file-downloadlist/FM-441-1559223711.pdf. Accessed Sep. 18, 2020. (in Thai)

(Received: 25/Jan/2022, Revised: 23/Jun/2022, Accepted: 27/Jun/2022)

การศึกษาเชิงประจักษ์ของการเข้ารหัสเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

An Empirical Study of the Internet Banking Web Encryption in Thailand

สุพรรณี ศิวากรณ์* ณัฐธยาน์ รุจิราธนาพัฒน์ พัชร์สิตา ศิรวงศ์ภัสสรา
สกุลชาย สารมาศ ยศภัทร เรืองไพศาล และ ชานนท์ ดวงพายัพ

Suphannee Sivakorn*, Nuttaya Rujiratanapat, Patsita Sirawongphatsara,
Sakulchai Saramat, Yotsapat Ruangpaisarn and Chanond Duangpayap

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
**Email: suphannee_si@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

ระบบธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว สิ่งนี้ทำให้ความมั่นคงปลอดภัยทางออนไลน์มีความจำเป็น และเป็นที่ต้องการอย่างมากในปัจจุบัน และเนื่องจากความมั่นคงปลอดภัย และความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้บนเว็บนั้นขึ้นอยู่กับ HTTPS ซึ่งเป็นโปรโตคอลการเข้ารหัสเว็บ เพื่อรักษาความมั่นคงปลอดภัยในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้ และเว็บเซิร์ฟเวอร์ HTTPS จึงเป็นศูนย์กลางของระบบนิเวศของเว็บในปัจจุบัน แม้ว่าการใช้ HTTPS จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น แต่ผลจากการศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์จำนวนมากนำ HTTPS ไปใช้อย่างไม่ถูกต้อง ทำให้ข้อมูลของผู้ใช้เสี่ยงต่อการรั่วไหล เช่น การดักฟังและโจมตีแบบคนกลาง (man-in-the-middle attack) การปรับใช้ HTTPS อย่างถูกต้องจึงมีความสำคัญมากสำหรับบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ต เนื่องจากมีข้อมูลที่ละเอียดอ่อนของผู้ใช้และเป็นเป้าหมายหลักสำหรับผู้ประกอบอาชญากรรม ในบทความนี้ ผู้วิจัยนำเสนอ WEAPONS ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบกล่องดำแบบ offline เพื่อประเมินความสมบูรณ์ และความถูกต้องของการปรับใช้การเข้ารหัสเว็บ รวมถึงการปรับใช้ HTTPS และกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสเว็บ เช่น HSTS, คุกกี้ที่มีความปลอดภัย (Secure cookies), การเปลี่ยนเส้นทางเป็น HTTPS (HTTPS redirection), และการใช้ HSTS เป็นค่าเริ่มต้น (HSTS preload) โดยผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือดังกล่าวประเมินเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตที่เป็นที่ยอดนิยมในประเทศไทย จำนวน 8 แห่ง ทั้งนี้จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า WEAPONS สามารถค้นหาข้อผิดพลาดในการปรับใช้ HTTPS ได้ และเปิดเผยจุดอ่อนที่อาจทำให้เกิดการโจมตีแบบคนกลาง รวมถึงจุดอ่อนอื่น ๆ ที่ผู้โจมตีอาจใช้ประโยชน์ในการเปิดเผยข้อมูลที่ละเอียดอ่อน

คำสำคัญ : HTTPS HSTS การเข้ารหัสเว็บ Web Encryption SSL/TLS WEAPONS

Abstract

With Thailand rapidly moving to a full internet banking ecosystem, the demand for online security has never been needed more than it is today. As the security and privacy of internet users depend on HTTPS, a web encryption protocol, for securing communication between users and web servers, HTTPS is essentially the center of the web ecosystem today. Unfortunately, despite the increasing number of HTTPS adoptions, numerous studies have shown that a large number of websites have adopted HTTPS incorrectly, rendering users vulnerable to information leakages e.g., eavesdropping and man-in-the-middle attacks. The correctness of HTTPS deployment is even far greater for internet banking services due to carrying user's sensitive information and being prime targets for criminal activities. In this paper, we present WEAPONS, a novel black-box testing tool for evaluating the completeness and correctness of web encryption deployment including the deployment

of HTTPS, and web encryption-related mechanisms i.e., HSTS, secure cookie, HTTPS redirect, HSTS preload. We use WEAPONS to conduct an assessment of 8 popular internet banking websites in Thailand. We demonstrate that WEAPONS is able to find HTTPS deployment incorrectness. Several of these weaknesses can expose the affected services to man-in-the-middle attacks and sensitive data exposure.

Keywords : HTTPS, HSTS, Web Encryption, SSL/TLS

1. บทนำ

การทำให้ผู้ใช้สามารถสื่อสารด้วยข้อมูลที่มีความอ่อนไหวทางออนไลน์ได้อย่างปลอดภัยเป็นรากฐานที่สำคัญของระบบนิเวศของเว็บในปัจจุบัน HTTPS เปิดตัวครั้งแรกในปี พ.ศ. 2537 โดย Netscape Communications[1] ถือเป็นจุดกำเนิดการเข้ารหัสเว็บ ซึ่งถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของอินเทอร์เน็ต ตัวอย่างเช่น การรับรองความถูกต้อง (Authentication) การถ่ายโอนข้อมูลอย่างปลอดภัย การดาวน์โหลดที่ปลอดภัย และการท่องเว็บแบบส่วนตัว เป็นต้น และเนื่องด้วยการอัปโหลดข้อมูลส่วนบุคคลจำนวนมากไปยังเว็บไซต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในชีวิตประจำวัน ทำให้ความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ในการสื่อสารแบบดิจิทัลถือเป็นเรื่องสำคัญและเร่งด่วน จากผลการศึกษางานวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการรักษาการเชื่อมต่อเว็บให้ปลอดภัยจากผู้โจมตี โดยแสดงให้เห็นว่าผู้โจมตีสามารถเข้ายึด session และขโมยข้อมูลของผู้ใช้ได้ง่ายเพียงใด (Marlinspike, 2009; Acar et al., 2014; Castelluccia et al., 2010; Bortz et al., 2011; Sivakorn et al., 2016)

อย่างไรก็ตามเว็บไซต์ที่ให้บริการทางอินเทอร์เน็ตหลักจำนวนมากยังคงไม่ระมัดระวังในการให้บริการเนื้อหาผ่านการเชื่อมต่อที่ไม่ได้เข้ารหัส โดยไม่บังคับใช้การเชื่อมต่อที่เข้ารหัส (Englehardt et al., 2015; Castelluccia et al., 2010; Sivakorn et al., 2016; Liu et al., 2015) ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการกำหนดค่ากลไกความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องอย่างไม่ถูกต้อง (Sivakorn et al., 2016; Kranch and Bonneau, 2015; Clark and van Oorschot, 2013) ซึ่งล้วนแต่ทำให้ผู้ใช้อาจถูกโจมตีโดยการขโมยข้อมูล โดยเฉพาะเว็บไซต์ที่มีความสำคัญยิ่งต้องมีการระมัดระวังการโจมตีลักษณะดังกล่าว เช่น เว็บไซต์ของธนาคาร เนื่องจากสถาบันทางการเงินมักเป็นศูนย์กลางของกิจกรรมที่มุ่งประสงค์ร้ายและฉ้อโกงของผู้ไม่หวังดี (Silver-Greenberg et al., 2014; Capital One, 2019) ธนาคารจึงต้องรับรองความถูกต้องของเทคโนโลยีและระบบความมั่นคงปลอดภัยของตนเอง เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าอย่างต่อเนื่อง เมื่อประเทศไทยก้าวเข้าสู่ระบบการเงินบนอินเทอร์เน็ตอย่างเต็มรูปแบบ ความต้องการความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวทางออนไลน์จึงมีความจำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

ในบทความนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอและคิดค้นซอฟแวร์ชื่อ WEAPONS (Web Encryption Analysis Program for ONline Services) ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์การเข้ารหัสสำหรับเว็บที่ต้องการให้บริการออนไลน์ โดยโปรแกรมจะทำการทดสอบเพื่อประเมินความสมบูรณ์และความถูกต้องของการเข้ารหัสเว็บไซต์ เช่น HTTPS, การเปลี่ยนเส้นทางเป็น HTTPS (HTTPS redirection), HSTS และคุกกี้ที่ปลอดภัย (Secure cookies) โดยในการประเมินประสิทธิภาพของ WEAPONS ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์และประเมินการเข้ารหัสของเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตที่นิยมใช้ในประเทศไทย 8 แห่ง และยังได้พบการกำหนดค่าผิดพลาดจำนวนหนึ่งที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยข้อมูลที่ละเอียดอ่อนได้

(1) วัตถุประสงค์

โดยเป้าหมายของการวิจัยนี้มีสองประเด็นหลัก ประเด็นแรก คือ เพื่อเข้าใจสถานะการเข้ารหัสของเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตของไทย ประเด็นที่สอง คือ เพื่อสร้างเครื่องมือทดสอบอัตโนมัติสำหรับประเมินการเข้ารหัสเว็บไซต์เพื่อระบุความผิดพลาดต่าง ๆ ซึ่งอาจนำไปสู่การเปิดเผยข้อมูลที่มีความละเอียดอ่อนของผู้ใช้

[1] NetScape. The SSL Protocol. https://web.archive.org/web/19970614020952/http://home.netscape.com/newsref/std/SSL.html.

(2) ที่มาและความสำคัญ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลสรุปเกี่ยวกับกลไกการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและการเข้ารหัสเว็บและภาพรวมของการโจมตีที่ทำให้ผู้โจมตีสามารถเปิดเผยข้อมูลที่ละเอียดอ่อน

2.1 การเข้ารหัสเว็บ

มีโปรโตคอลและกลไกมาตรฐานจำนวนหนึ่ง ทั้งในฝั่งผู้ใช้งาน (web client หรือ web browser) และฝั่งเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้ผู้ใช้งานเว็บไซต์เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว

2.1.1 HTTPS: Hypertext Transfer Protocol Secure เป็นโปรโตคอลหลักในความมั่นคงปลอดภัยที่ออกแบบมาเป็นส่วนขยายของ HTTP เพื่อการสื่อสารที่มั่นคงปลอดภัย HTTPS หรือกล่าวคือเป็นการใช้งานการเข้ารหัสจากโปรโตคอล SSL/TLS บน HTTP[2] ซึ่งจะช่วยส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอลที่เข้ารหัส (HTTPS) และให้ความมั่นคงปลอดภัยทาง HTTPS มักถูกตีความว่าเป็นการรักษาความมั่นคงปลอดภัยที่เป็นส่วนเสริมมากกว่า และมักไม่ถูกนำไปใช้สำหรับ request ทุก ๆ หน้าของเว็บไซต์ ถึงแม้ว่าจะมีคำแนะนำให้เว็บไซต์ใช้ HTTPS ในทุกหน้า ไม่ว่าเนื้อหาและความละเอียดอ่อนนั้นจะมากน้อยแค่ไหนก็ตาม[3] ทั้งนี้จากการสำรวจของ Google พบว่ามีจำนวน page ในอินเทอร์เน็ตที่ถูกเรียกผ่าน Google Chrome มากกว่า 95% ที่ได้ใช้ HTTPS (Google Transparency Report, 2022)

2.1.2 การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS (HTTPS Redirection): การพิมพ์ชื่อโดเมนที่ไม่มี https:// ลงในเบราว์เซอร์จะนำผู้ใช้ไปยัง HTTP โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น การพิมพ์ example.com ลงในเบราว์เซอร์ นั้นเบราว์เซอร์จะทำการส่งคำขอ HTTP ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ example.com ก่อนจากนั้นจะขึ้นอยู่กับเว็บไซต์ที่จะเปลี่ยนเส้นทางเบราว์เซอร์ไปยัง HTTPS ซึ่งปกติจะทำโดยการเปลี่ยนเส้นทาง HTTP เช่น 301 Permanent, 302, 307 Temporary เพื่อให้เบราว์เซอร์ร้องขอในโปรโตคอล HTTPS แทน (https://example.com) ดังนั้น จึงเป็นหน้าที่ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ในการเปลี่ยนเส้นทางเป็น HTTPS โดยเร็วที่สุดเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ ซึ่งการเปลี่ยนเส้นทางโดย 301 Permanent เป็นคำแนะนำมาตรฐาน เนื่องจากเป็นการระบุให้เบราว์เซอร์ใช้การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS อย่างถาวร เพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วไหลของข้อมูลให้มากที่สุด

2.1.3 HSTS: HTTP Strict Transport Security[4] เป็นส่วนหัวของ HTTP (HTTP header) การตอบสนอง HTTP ที่ใช้เป็นกลไกในการระบุให้เว็บไซต์แจ้งเว็บเบราว์เซอร์เพื่อให้เชื่อมต่อผ่าน HTTPS เท่านั้น โดยไม่ต้องอาศัยการเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS จากฝั่งเซิร์ฟเวอร์ หรือจากกลไกอื่น ๆ เช่น HTTPS Everywhere[5] (Sivakorn et. al., 2016) หลักจากการการระบุนี้แล้ว เมื่อมีการเข้าถึงเว็บไซต์ เบราว์เซอร์จะรู้ว่าไซต์นั้นมี HTTPS และเปลี่ยนเส้นทางภายในไปยัง HTTPS ตามส่วนหัวของ Strict-Transport-Security ซึ่งหมายความว่าไม่มีการส่งข้อมูลผ่าน HTTP (ทุก ๆ request จะถูกส่งในรูปแบบการเข้ารหัส) ทำให้ไม่มีข้อมูลรั่วไหลระหว่างการส่ง Jackson and Barth (2008) ได้นำเสนอหลักการของกลไกนี้ครั้งแรก โดยเรียกกลไกดังกล่าวว่า ForceHTTPS ซึ่งเป็นส่วนขยายของเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser extension) สำหรับการบังคับใช้การเชื่อมต่อแบบ HTTPS จนกลไกนี้ได้ถูกปรับปรุงและใช้สร้างเป็นมาตรฐาน HSTS ใน RFC 6797 หากไม่มี HSTS ผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์ยังคงต้องสื่อสารกับเว็บไซต์ผ่าน HTTP (ไม่เข้ารหัส) อยู่ ตัวอย่างเช่น ก่อนการเปลี่ยนเส้นทางของ HTTPS หรือ คำขอในรูปแบบ HTTP ที่ซ่อนอยู่ในหน้าของเว็บไซต์ เช่น คำขอ HTTP จากเนื้อหาผสม (mixed content) (Chen et al., 2013) โดยการส่งขอมูลที่ไม่เข้ารหัสเหล่านี้ล้วนอาจสร้างโอกาสสำหรับการโจมตีแบบคนกลาง (man-in-the-middle attack) เช่น SSL Strip (Marlinspike, 2009) รวมถึงการโจมตีแบบการขโมย session (session hijacking) อื่น ๆ ซึ่งรายละเอียดการโจมตีที่เกี่ยวข้องสามารถดูได้ในส่วน 2.2

---

[2] IETF. RFC 2818 - HTTP Over TLS. https://tools.ietf.org/html/rfc2818.

[3] Google. Secure your site with HTTPS. https://support.google.com/ webmasters/answer/6073543.

[4] IETF. RFC 6797- HTTP Strict Transport Security. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6797.

[5] EFF. HTTPS Everywhere. https://www.eff.org/https-everywhere

อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ที่ผู้โจมตีสามารถเลี่ยงกลไก HSTS ได้ โดยมีเหตุผลหลักคือเกิดจากนักพัฒนาเว็บไม่เข้าใจเกี่ยวกับการใช้กลไกเหล่านี้อย่างเหมาะสม โดยมักใช้ไปในทางที่ไม่ถูกต้องตามคำแนะนำ (Selvi, 2014; Bhargavan et al., 2014; Kranch and Bonneau, 2015; Bareño-Gutierrez et al., 2020)

2.1.4 การกำหนดค่า HSTS: การเปิดใช้งาน HSTS นั้น จะถูกกำหนดผ่านค่าส่วนหัวการตอบสนอง HTTP (HTTP response header) ทั้งนี้ การตั้งค่านี้จะต้องเป็นการตั้งค่าโดยการตอบสนองจาก HTTPS เท่านั้น (ไม่ใช่ HTTP) เนื่องจากผู้โจมตีอาจสกัดกั้นหรือแก้ไขหรือลบค่าดังกล่าวหากเป็นการตั้งค่าที่เกิดจากการเชื่อมต่อแบบ HTTP เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับการประเมินที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในส่วนที่ 4 ในที่นี้จะอธิบายคำสั่ง (HSTS directives) ที่ใช้ในโปรโตคอล HSTS และการกำหนดค่าที่ถูกต้องตามแนะนำ ดังนี้

max-age: เวลาเป็นวินาทีที่เบราว์เซอร์จะบังคับให้ไซต์เชื่อมต่อกับ HTTPS โดยต้องเป็นค่าจำนวนเต็มบวกใด ๆ และระยะเวลานี้จะได้รับการอัปเดตเมื่อมีการส่งส่วนหัว HSTS ใหม่ไปยังเบราว์เซอร์ อย่างไรก็ตาม ไม่มีคำแนะนำอย่างเป็นทางการสำหรับระยะเวลาที่ควรตั้งค่า max-age แต่ระยะเวลา max-age ที่ยาวขึ้นจะลดจำนวนการเชื่อมต่อ HTTP โดยการตั้งค่าเริ่มต้นที่พบบ่อยที่สุดคือระยะเวลาหนึ่งปี (max-age: 31536000)

includeSubDomains: เป็นหนึ่งในคำสั่งส่วนหัว HSTS ถูกตั้งค่าตามโดเมนย่อยและโดเมนที่พบใน URL ของเว็บไซต์ ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้เข้าถึงเว็บไซต์ https://www.example.com/foo ด้วย HSTS ซึ่งจะถูกเปิดใช้งานบนหน้าใด ๆ ก็ตาม ที่เข้าถึงผ่าน www.example.com อย่างไรก็ตาม HSTS ไม่ได้เปิดใช้งานบนหน้าเว็บในโดเมนระดับบน (example.com) และหน้าอื่น ๆ ในโดเมนย่อย เช่น bar.www.example.com ด้วยคำสั่ง includeSubdomains เบราว์เซอร์จะเปิดใช้งาน HSTS บนโดเมนย่อยทั้งหมด ซึ่งเป็นหน้าใดก็ได้บน *.www.example.com ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยจึงมีการแนะนำให้ใช้ includeSubdomains เนื่องจากจะบังคับใช้ HTTPS ทุกหน้าในโดเมนย่อย และหากเป็นไปได้ ควรตั้งค่า includeSubdomains ในระดับชื่อโดเมน (เช่น example.com) เพื่อป้องกันทุกหน้าบนชื่อโดเมน อย่างไรก็ตาม ค่า includeSubDomains ไม่ได้เป็นค่าบังคับและต้องมีตาม RFC 6797 หากแต่เป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยอย่างสมบูรณ์

preload: เป็นหนึ่งในคำสั่งส่วนหัว HSTS ซึ่งควบคุมและบริหารโดย Google[6] โดยคำสั่ง preload HSTS จะถูกโหลดไว้ล่วงหน้าในเบราว์เซอร์ ดังนั้น เว็บไซต์ preload HSTS จะไม่เชื่อมต่อกับ HTTP เลยหากมีการใช้คำสั่งนี้อย่างถูกต้อง หากเว็บไซต์ต้องการอยู่ในรายการ preload เว็บไซต์จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในการส่งทั้งหมด รวมถึงมีใบรับรอง (Certificate) ที่ถูกต้อง การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS โดเมนย่อยของเว็บไซต์ทั้งหมดต้องอยู่บน HTTPS และส่วนหัว HSTS ที่มี max-age อย่างน้อยหนึ่งปี includeSubdomains และคำสั่ง preload ทั้งนี้ค่า preload ไม่ได้เป็นค่าบังคับและต้องมีตาม RFC 6797 หากแต่เป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยอย่างสมบูรณ์

2.1.5 คุกกี้ที่ปลอดภัย (Secure cookie): คุกกี้ HTTP (HTTP cookie หรือ cookie) เป็นข้อมูลขนาดเล็กที่เซิร์ฟเวอร์ส่งไปยังเว็บเบราว์เซอร์ของผู้ใช้ ผ่านส่วนหัวของการตอบสนอง HTTP (HTTP response header) โดยใช้ส่วนหัวที่ชื่อว่า Set-Cookie[7] คุกกี้จะถูกจัดเก็บโดยเบราว์เซอร์ หลักจากการตั้งค่า คุกกี้จะถูกแนบไปกับคำขอ HTTP ในส่วนหัวที่ชื่อ Cookie มีการใช้คุกกี้ อย่างแพร่หลายเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบสิทธิ์ เนื่องจากสามารถใช้เป็น session ID ได้หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบสิทธิ์ (authentication) ดังนั้น จะต้องมีการจัดเก็บและส่งคุกกี้ HTTP อย่างปลอดภัยเพื่อช่วยลดการโจมตีแบบขโมย session (session hijacking) โดยในมาตราฐาน RFC 6265 ได้มีกำหนดค่าสถานะที่ปลอดภัยสำหรับคุกกี้ (Secure attribute) โดยเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่มีให้ ทั้งนี้คุกกี้ที่มีการตั้งค่าสถานะ Secure จะถูกส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ผ่าน HTTPS เท่านั้น ดังนั้น จึงมักมีคำแนะนำให้ใช้การตั้งค่าสถานะ Secure โดยเฉพาะในเว็บไซต์ที่มีเนื้อหาละเอียดอ่อนและการล็อกอิน

[6] Google. HSTS Preload. https://hstspreload.org/.

[7] IETF. RFC 6265 - HTTP State Management Mechanism. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6265.

2.2. การเปิดเผยข้อมูลที่ละเอียดอ่อน

การโจมตีแบบการขโมย Session (Session hijacking attack) เป็นหนึ่งในช่องทางหลักที่เปิดโอกาสให้ผู้โจมตีสามารถขโมยข้อมูลของผู้ใช้ได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยเน้นเฉพาะการโจมตีเกิดขึ้นผ่านการสื่อสารอันเนื่องมาจากความมั่นคงปลอดภัยของการเข้ารหัส ปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากเว็บไซต์ที่ไม่บังคับใช้การเข้ารหัสในทุกหน้าและโดเมนย่อย เพื่อปกป้องคุกกี้ทั้งหมด โดยมีตัวอย่างการโจมตีที่เกิดขึ้นมากมายจากจุดอ่อนดังกล่าว เช่น Marlinspike ได้แสดงให้เห็นการโจมตีแบบ SSL Striping (Marlinspike, 2009) โดยเป็นการโจมตีที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงคำขอ HTTP ครั้งแรกของผู้ใช้ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ (ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น HTTPS) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงในการสนับสนุนเว็บไซต์ที่มีเนื้อหาผสม (mixed content) ระหว่าง HTTP และ HTTPS ซึ่งคือการมีหน้าเว็บที่เข้าถึงผ่าน HTTPS แต่มีเนื้อหาที่ต้องดึงข้อมูลผ่าน HTTP (Jackson and Barth, 2008) นอกเหนือจากนี้ Englehardt et al., 2015 อภิปรายว่าคุกกี้ HTTP ยังสามารถรั่วไหลผ่านการเชื่อมต่อ HTTP นั้น สามารถใช้สำหรับการติดตามการใช้งานของผู้ใช้จากบุคคลอื่น ๆ โดยการเชื่อมโยงคำขอที่แตกต่างกันไปยังผู้ใช้รายเดียวกัน ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ เน้นย้ำถึงภัยคุกคามของการเชื่อมต่อที่ไม่ได้เข้ารหัส Liu et al., 2015 ศึกษาข้อมูลส่วนบุคคล (Personal Identiable Information) ที่ถูกส่งในเครือข่ายที่ไม่ได้เข้ารหัส นอกจากนี้ Sivakorn et al. (2016) แสดงให้เห็นถึงวิธีการในการใช้คุกกี้ เพื่อควบคุมระบบวิเคราะห์ความเสี่ยงขั้นสูงของ Google เพื่อใช้หลีกเลี่ยง Google reCAPTCHA โดยผู้โจมตีสามารถใช้คุกกี้ที่ขโมยมาได้เพื่อหลบเลี่ยงการตอบ CAPTCHA และ ยังศึกษาความไม่ปลอดภัยของเว็บไซต์สำคัญ เช่น Google, eBay และชี้ให้เห็นถึงภัยคุกคามต่อความเป็นส่วนตัวเนื่องจากการไม่บังคับใช้การเข้ารหัส และยังสามารถรวบรวมคุกกี้และข้อมูลผู้ใช้ส่วนใหญ่ผ่านเครือข่ายได้

2.3 ความมั่นคงปลอดภัยของธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

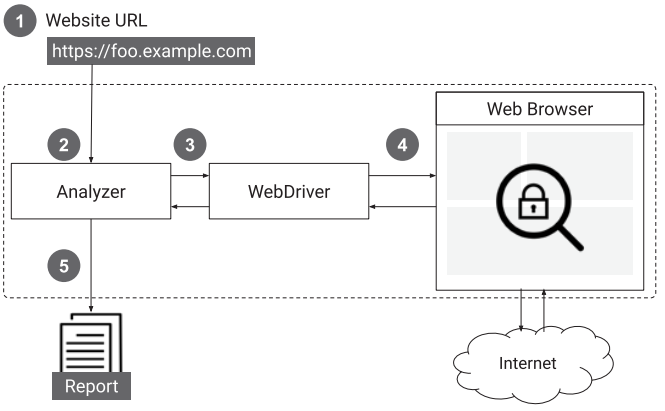
ในระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาธนาคารทางอินเตอร์เน็ตในประเทศไทยเป็นเป้าหมายของการโจมตีของอาชญากรทางไซเบอร์และมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้น (Posttoday, 2015; Bangkok Business, 2021; Prachachat Turakit, 2021) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบระบบธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านั้นไม่ได้ศึกษาความมั่นคงปลอดภัยเชิงเทคนิค แต่เน้นการศึกษาด้านการประเมินความเสี่ยง ความไว้วางใจของผู้ใช้งาน (Namahoot et al., 2018; Aboobucker and Bao, 2018) และการประเมินความมั่นคงปลอดภัยผ่านจากการสำรวจข้อมูล (Khattak et al., 2021)

Kasemsan and Hunngam (2011) ได้นำเสนอคำแนะนำและแบบจำลองแนวทางการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของธนาคารทางอินเทอร์เน็ตสำหรับธุรกิจธนาคารในประเทศไทย โดยนำเสนอแนวคิดที่น่าสนใจหลายประการ เช่น ความเชื่อถือของระบบ รูปแบบการยอมรับเทคโนโลยี การรับรองความถูกต้อง อย่างไรก็ตามผู้ศึกษาไม่ได้ทำการศึกษาแง่มุมของการรักษาความมั่นคงปลอดภัยในการเข้ารหัสเว็บ Hamid et al. (2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยและมาเลเซีย โดยได้พบว่าระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยของธนาคารไทยมีมาตรฐานที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนเหตุการโจมตีที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้รวมผลลัพธ์จากด้านเทคนิคใด ๆ Subsorn and Limwiriyakul (2012) ได้ประเมินความมั่นคงปลอดภัยธนาคารทางอินเทอร์เน็ตโดยการเปรียบเทียบธนาคารพาณิชย์ของประเทศออสเตรเลียและประเทศไทย ประกอบด้วยการวิเคราะห์การเข้ารหัสและใบรับรองดิจิทัล ขนาดของคีย์การเข้ารหัส และได้ข้อสรุปว่า ธนาคารพาณิชย์ของประเทศไทยนั้นที่ได้รับการคัดเลือกมาวิเคราะห์ส่วนใหญ่ยังขาดการรักษาความมั่นคงปลอดภัยในการให้บริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยจากปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันจะสังเกตเห็นได้ว่ามีการปรับปรุงระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยในบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยไปมาก เช่น การใช้งาน HTTPS และ HSTS (Sivakorn et al., 2020)

2. วิธีการวิจัย

ภาพรวมของระบบ

ในส่วนนี้จะอธิบายการออกแบบและการใช้งานแพลตฟอร์มการทดสอบ WEAPONS (Web Encryption Analysis Platform for Online Services) ที่ได้คิดค้นและใช้ในงานวิจัยนี้ โดยระบบได้พัฒนาขึ้นโดยใช้ Python 3, Library หลักที่ชื่อ Selenium[8] ซึ่งเป็นการควบคุมการทำงานอัตโนมัติของเบราว์เซอร์ และ Selenium-wire[9] ซึ่งเป็นส่วนขยายของ Selenium สำหรับการเข้าถึงคำขอ HTTP ผู้วิจัยเลือกใช้ Chromium WebDriver เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายของเบราว์เซอร์ ที่มาจาก Google Chrome เวอร์ชั่น 90.0 โดยใช้ WebDriver ซึ่งสามารถใช้ automate ในการค้นหาองค์ประกอบ HTML, การดึงส่วนหัวของ HTTP ดังนั้น จึงสามารถออกแบบให้โปรแกรมสามารถอ่านค่าที่กำหนดจากเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสเว็บได้หลายอย่าง เช่น HSTS, คุกกี้ HTTP และการเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยน WebDriver ให้เป็นเวอร์ชั่นปัจจุบัน หรือเลือกใช้ WebDriver ของ Browser ชนิดอื่นได้เช่นกัน



ภาพที่ 1 ภาพรวมของสถาปัตยกรรมหลักของระบบ WEAPONS

ภาพที่ 1 นำเสนอภาพรวมของการทำงานของ WEAPONS เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบการเข้ารหัสเว็บของเว็บไซต์ WEAPONS ใช้ URL ของเว็บไซต์จากผู้ใช้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เว็บไซต์และส่งคืนผลลัพธ์ให้ผู้ใช้ โดยระบบประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก (1) การรับ URL เว็บไซต์ตามที่ผู้ใช้กำหนด (2) WEAPONS จะเริ่มการวิเคราะห์โดยการจำลองการใช้งานของผู้ใช้โดยเริ่มจากการส่งการสื่อสารกับ WebDriver ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น (3) WebDriver จะเปิดเว็บไซต์ที่ต้องการทดสอบผ่าน Web Browser โดยทั้งหมดจะทำงานโดยอัตโนมัติ และรวบรวมผลลัพธ์ (4) Analyzer จะรวมรวมข้อมูลที่ได้ และวิเคราะห์ ค้นหาช่องโหว่ที่อาจเกิดขึ้นและการกำหนดค่าที่ไม่ถูกต้องในการเข้ารหัสเว็บตามที่อธิบายไว้ในส่วนที่ 2 ได้แก่ การใช้ HTTPS, การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS, HSTS, HSTS preload และการตั้งค่าสถานะคุกกี้ที่ปลอดภัย (Secure cookie) ขั้นสุดท้าย (5) ระบบจะส่งต่อสิ่งที่ค้นพบทั้งหมดกลับไปที่ได้ เพื่อเตรียมผลที่ผู้ใช้โดยการสร้างรายงาน HTML สำหรับการตรวจสอบเพิ่มเติม โดยกระบวนการทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 60 วินาทีสำหรับแต่ละเว็บไซต์ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ยังมีตัวเลือกเพื่อลดความล่าช้าในการรอโหลดหน้าเว็บจนเต็ม และสามารถเรียกใช้ WEAPONS พร้อมกันกับกระบวนการ WebDriver ที่แตกต่างกันบนเครื่องหรือเซิร์ฟเวอร์ทดลองเดียวกัน เพื่อให้การใช้เวลามีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอผลการใช้ WEAPONS เพื่อตรวจสอบเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยในผลการวิจัยต่อไป

---

[8] SeleniumHQ Browser Automation. https://selenium.dev/.

[9] Selenium-Wire. https://pypi.org/project/selenium-wire/.

ทั้งนี้ หากผู้ที่สนใจสามารถเข้าทดลองใช้ WEAPONS ได้ที่ https://github.com/ssivakorn/WEAPONS พร้อมกับซอร์สโค้ด ตัวอย่างรายงาน คู่มือ และตัวอย่างการใช้งาน อีกทั้งผู้วิจัยยังอนุญาตให้ระบบดังกล่าวเป็นซอฟแวร์ในรูปแบบ Open-source เพื่อให้ผู้สนใจสามารถร่วมพัฒนาซอฟแวร์ดังกล่าวได้อีกด้วย

การประเมินผล

ผู้วิจัยเลือกเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตยอดนิยมในประเทศไทย ที่เปิดให้บริการบนอินเตอร์เน็ต จำนวน 8 แห่ง สำหรับประเมินซอฟแวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยดำเนินการในเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม พ.ศ. 2564 โดยตารางที่ 1 แสดงรายการบริการที่เลือกพร้อมกับ URL บริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตที่ตรวจสอบ

ตารางที่ 1 รายชื่อธนาคารทางอินเทอร์เน็ตและ URL ที่ให้บริการในประเทศไทยที่ได้รับการตรวจสอบ

บริการธุรกรรมทางอินเทอร์เน็ต	ธนาคาร	URL
Bualuang iBanking	กรุงเทพ	https://ibanking.bangkokbank.com
KTB NetBank	กรุงไทย	https://ktbnetbank.com
TTB Direct	ทีเอ็มบีธนชาต	https://ttbdirect.com
Krungsri Online	กรุงศรีอยุธยา	https://www.krungsrionline.com
K-Cyber	กสิกรไทย	https://online.kasikornbankgroup.com/K-Online/
SCB Easy	ไทยพาณิชย์	https://www.scbeasy.com/v1.4/site/presignon/index.asp
KKP e-Banking	เกียรตินาคินภัทร	https://bank.kkpfg.com
GSB Internet	ออมสิน	https://ib.gsb.or.th

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในส่วนนี้เป็นการให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลของการศึกษาการตรวจสอบบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ต ผู้วิจัยเลือกบริการเหล่านี้จากธนาคารที่ได้รับความนิยมที่สุดในประเทศไทย โดยพบว่า ยังมีเว็บไซต์ของธนาคารบางแห่งที่มีการกำหนดค่าผิดพลาดในการใช้ HTTPS ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลรั่วไหลได้ ตารางที่ 2 นำเสนอภาพรวมของบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตและผลลัพธ์ของงานวิจัย ดังต่อไปนี้และเพื่อความเข้าใจเราจะสรุปผลของการตรวจสอบของแต่ละเว็บไซต์ในส่วนต่อไป ทั้งนี้เพื่อให้การศึกษาเป็นไปอย่างปลอดภัยและป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้กำหนดรายชื่อสมมติและไม่เรียงลำดับ (ธนาคาร A – H) เพื่อแทนการใช้ชื่อธนาคารและบริการจริง โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยเพื่อขอรายละเอียดและผลการวิจัยตามชื่อธนาคารและชื่อบริการจริง

3.1 ธนาคาร A: เป็นธนาคารที่ให้บริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตลำดับต้นๆ ในประเทศไทย จากการทดสอบพบว่า บริการดังกล่าวไม่ได้มีการอนุญาตให้เชื่อมต่อผ่าน HTTP และรองรับเฉพาะ HTTPS รวมถึง HSTS ด้วย IncludeSubdomains และ max-age ในระยะเวลาหนึ่งปี แต่ไม่ได้ปรับใช้ HSTS preload อย่างไรก็ตาม เครื่องมือ WEAPONS ได้ตรวจพบว่ายังมีคุกกี้บางส่วนที่ยังไม่ได้ตั้งค่าให้เป็น Secure

3.2 ธนาคาร B: ผลการทดสอบพบว่าธนาคาร B เป็นเพียงเว็บไซต์เดียวที่มีการปรับใช้ HTTPS ที่สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งรวมถึง HTTPS, การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS, HSTS, includeSubdomains, max-age ในระยะเวลาหนึ่งปี และ HSTS preload บริการนี้เป็นเพียงหนึ่งในสองเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตที่ได้รับตรวจสอบว่าได้ปรับใช้ HSTS preload จากการตรวจสอบเพิ่มเติม ธนาคาร B มีการปรับใช้ HSTS บนชื่อโดเมน รวมถึงโดเมนย่อยทั้งหมด (“include_subdomains”: true) ที่สามารถพบใน Preload List[10] ในการให้บริการ ส่งผลให้โดเมนย่อยทั้งหมดรวมถึงหน้าเข้าสู่ระบบ เชื่อมต่อกับ HTTPS บนเบราว์เซอร์ที่รองรับเสมอ นอกจาก HTTPS และ HSTS แล้ว คุกกี้ทั้งหมดที่พบเมื่อโหลดหน้าเข้าสู่ระบบจะถูกตั้งค่าสถานะความปลอดภัย ดังที่กล่าวไว้ ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าคุกกี้ที่ละเอียดอ่อนจะไม่ถูกส่งออกไปผ่านการเชื่อมต่อ HTTP

[10] Google. HSTS Preload List. https://source.chromium.org/chromium/chromium/src/+/master:net/http/transport_security_state_static.json

ตารางที่ 2 สรุปผลการตรวจสอบเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

บริการธุรกรรมทางอินเทอร์เน็ต	HTTPS	การเปลี่ยนเส้นทางเป็น HTTPS (HTTPS Redirection)	HSTS				สถานะคุกกี้ที่ปลอดภัย (Secure Cookie)
			ส่วนหัว (Header)	Include Subdomains	Max-Age	Preload	
ธนาคาร A	Yes	-	Yes	Yes	31536000	No	Mixed
ธนาคาร B	Yes	Yes (302)	Yes	Yes	31536000	Yes	Full
ธนาคาร C	Yes	Yes (302)	Yes	Yes	16070400	No	Mixed
ธนาคาร D	Yes	-	Yes	No	N/A	No	Mixed
ธนาคาร E	Yes	-	Yes	Yes	31536000	No	Mixed
ธนาคาร F	Yes	Yes (301)	No	-	-	-	Full
ธนาคาร G	Yes	Yes (301)	Yes	-	-	-	Mixed
ธนาคาร H	Yes	Yes (302)	Yes	No	15552000	No	Full

Yes: พบการเปิดใช้งาน • No: ไม่พบการเปิดใช้งาน

Mixed: พบการใช้บางส่วน • Full พบการใช้ทั้งหมด

3.3 ธนาคาร C: ธนาคาร C ให้บริการผ่านอินเทอร์เน็ตโดยเว็บไซต์ให้บริการผ่าน HTTPS, การเปลี่ยนเส้นทาง HTTP และ HSTS พร้อมด้วยโดเมนย่อยและ max-age ประมาณ 180 วัน ซึ่งหมายความว่าต้องเข้าใช้บริการภายในสามเดือนเพื่อให้แน่ใจว่ามีการเชื่อมต่อ HTTPS (ก่อนที่นโยบาย HSTS จะหมดอายุ) นอกจากนี้ WEAPONS สามารถตรวจพบคุกกี้บางส่วนของเว็บไซต์ (เช่น JSESSIONID) ที่ไม่ได้ตั้งค่าสถานะความมั่นคงปลอดภัย (Secure)

3.4 ธนาคาร D: จากการตรวจสอบพบว่ามี HTTPS เพื่อความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว และไม่ให้บริการทาง HTTP อย่างไรก็ตาม จากกรอบการทดสอบที่ใช้ พบว่ามีการกำหนดค่าที่ไม่ถูกต้องในส่วนหัว HSTS โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่วนหัว (HSTS Header) ที่มีเนื้อหาว่างเปล่า (strict-transport-security:) ดังนั้น เบราว์เซอร์จึงไม่ตั้งค่า HSTS ในกรณีนี้

3.5 ธนาคาร E: เช่นเดียวกับบริการของธนาคารในประเทศไทยส่วนใหญ่ ธนาคาร E ได้ให้บริการผ่าน HTTPS และ HSTS พร้อมโดเมนย่อยและ max-age ระยะเวลาหนึ่งปี อย่างไรก็ตาม คุกกี้ HTTP บางตัวที่ไม่ได้ตั้งค่าสถานะความมั่นคงปลอดภัย

3.6 ธนาคาร F: จากผลการทดสอบพบว่าบริการธนาคารออนไลน์ของธนาคาร F เป็นเว็บไซต์เดียวที่จากการทดสอบที่ไม่ได้มีการเปิดใช้งาน HSTS ดังนั้นจึงมีระดับความปลอดภัยที่ต่ำกว่าธนาคารอื่น ๆ เนื่องจากอาจถูกโจมตีโดยการขโมย Session หรือ SSL Strip ตามที่ได้กล่าวมาใน 2.2

3.7 ธนาคาร G: เป็นเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตจากธนาคาร G โดยพบว่าได้มีรองรับการใช้งานแบบ HTTPS เท่านั้น เว็บไซต์ได้มีความพยายามในการกำหนดค่า HSTS ในส่วนหัว แต่ได้กำหนดค่าไว้ไม่ถูกต้องโดยใช้ “stricttransport-security: max-age=expireTime” แทนมาตรฐานที่ได้กล่าวมาในส่วนที่ 2.1.3 ดังนั้น การใช้งาน HSTS ของเว็บไซต์ดังกล่าวจึงไม่มีผล และอาจถูกโจมตีในรูปแบบที่ได้กล่าวมาเช่นกัน

ตารางที่ 3 แสดงการตั้งค่า HSTS สองครั้งของธนาคาร H

1	HTTP/1.1 200 OK
2	X-Frame-Options: SAMEORIGIN
3	Strict-Transport-Security: max-age=31536000; includeSubDomains; preload
4	Cache-Control: no-cache="set-cookie, set-cookie2"
5	Connection: close
6	Content-Type: text/html;charset=UTF-8
7	Content-Language: en-US
8	Transfer-Encoding: chunked
9	Strict-Transport-Security: max-age=15552000

3.8 ธนาคาร H: เช่นเดียวกับบริการหลักของธนาคารอื่น ๆ ธนาคาร H ให้บริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตบน HTTPS พร้อมส่วนหัว HSTS โดยมี Max-Age 180 วัน และมีการตั้งค่า includeSubdomains ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ดี ในการทดสอบ เราได้พบการตั้งค่าที่ผิดพลาดจากเว็บไซต์เนื่องจากพบการตั้งค่า "Strict-Transport-Security" ถึงสองครั้งใน Header (ตารางที่ 3 ในบรรทัดที่ 3 และ 9) โดยพบว่าค่าที่ไม่เท่ากันคือ ค่า max-age ได้แก่ 31536000 (1 ปี) และ 15552000 (180 วัน) รวมถึงค่า includeSubdomains และ Preload ที่ไม่มีการตั้งค่าในส่วนหัวที่สอง ทั้งนี้ เมื่อนำค่า domain ของธนาคารดังกล่าวไปค้นหาใน Preload List ตามได้กล่าวไว้ พบว่า domain ดังกล่าวไม่ได้อยู่ใน Preload List ตามที่ได้ตั้งค่าไว้

4. สรุปผลการศึกษา

4.1 HSTS และ HSTS Preload: แม้ว่าเว็บไซต์ทั้งหมดที่ทำการประเมินมีการปรับใช้ HTTPS แล้ว แต่ไม่ได้หมายความว่า คำขอทั้งหมดถูกบังคับใช้เพื่อเชื่อมต่อกับ HTTPS เท่านั้นตามที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 2 ผลลัพธ์ของการทดสอบระบุว่าบริการของธนาคารทางอินเทอร์เน็ต 7 ใน 8 แห่ง ได้ปรับใช้ HSTS ในขณะที่มีเพียง 1 แห่งเท่านั้นที่ใช้ HSTS Preload อย่างไรก็ตาม พบว่า ธนาคาร D และธนาคาร G มีการกำหนดค่าผิดตามที่กล่าวไว้ในส่วนที่แล้ว และธนาคารออมสินที่มีการตั้งค่า HSTS ที่ซ้ำซ้อนและไม่ตรงกัน การศึกษายังพบว่าเว็บไซต์ส่วนใหญ่ตั้งค่า Max-Age ในระยะเวลา 1 ปี และโดยส่วนใหญ่ได้มีที่การใช้คำสั่ง IncludeSubdomains ร่วมด้วย

4.2 การเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS: การกำหนดค่าการเปลี่ยนเส้นทางที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อมอบประสบการณ์การท่องเว็บที่มีความเสถียรและมั่นคงปลอดภัย ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน Chrome ตั้งแต่เวอร์ชั่น 90 จะกำหนดให้มีการใช้ HTTPS เป็นค่าพื้นฐานในการเรียกเว็บแล้วก็ตาม (Chromium Blog, 2021) อย่างไรก็ดีผู้ใช้ที่ยังใช้เวอร์ชันที่เก่าและโปรแกรมอื่น ๆ ยังจำเป็นที่ต้องการเปลี่ยนเส้นทางเป็น HTTPS จากผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตนั้นได้ที่มีการเปลี่ยนเส้นทาง HTTPS โดยได้มีการเปลี่ยนเส้นทางผ่านการใช้ 301 และ 302 redirection หรือเลือกที่จะไม่รอบรับการเชื่อมต่อผ่าน HTTP เลย

4.3 คุกกี้ที่ปลอดภัย: จากการศึกษาวิจัยพบว่ามีเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตเพียง 3 แห่งเท่านั้นที่ตั้งค่าสถานะความมั่นคงปลอดภัยของคุกกี้ทั้งหมด การให้ใช้คุกกี้ที่ปลอดภัย จะช่วยให้แน่ใจว่าคุกกี้จะถูกส่งผ่านช่องทางที่เข้ารหัสเท่านั้น

5. บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับการรักษาความมั่นคงปลอดภัยการเข้ารหัสของเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2564 โดยผู้วิจัยได้ออกแบบและใช้งาน WEAPONS ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเข้ารหัสเว็บแบบอัตโนมัติ โดย WEAPONS จะทำหน้าที่นำทางและรวบรวมชุดของคำขอ HTTP และ HTTPS ของเว็บไซต์ที่ต้องการทดสอบ พร้อมเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกลไกความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสเว็บ

ได้แก่ HSTS การตั้งค่าคุกกี้ เป็นต้น จากนั้นระบบจะทำการวิเคราะห์และสร้างรายงานให้ผู้ใช้ตรวจสอบต่อไป

ในการประเมิน ผู้วิจัยใช้ WEAPONS เพื่อตรวจสอบเว็บไซต์ในเว็บไซต์ธนาคารออนไลน์ของประเทศไทย โดยเลือกบริการธนาคารทางอินเทอร์เน็ตที่สำคัญและได้รับความนิยม จากผลการวิจัยพบว่าเว็บไซต์ธนาคารทางอินเทอร์เน็ตทั้ง 8 แห่งที่ตรวจสอบ มีการปรับใช้ HTTPS และบริการของธนาคารทางอินเทอร์เน็ต 6 ใน 8 แห่ง มีการบังคับใช้การเชื่อมต่อที่เข้ารหัสโดยเสนอ HSTS และ เพียงหนึ่งแห่ง ที่ได้ใช้ HSTS preload นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังสามารถค้นพบว่าบริการส่วนใหญ่ยังคงมีการตั้งค่าคุกกี้ HTTP ที่ไม่ปลอดภัย และยังสามารถตรวจพบการตั้งค่า HSTS ที่ผิดพลาด ทั้งนี้เพื่อให้การศึกษาเป็นไปอย่างปลอดภัยและป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้กำหนดรายชื่อสมมติ โดยไม่เรียงลำดับ (ธนาคาร A – H) เพื่อใช้แทนชื่อจริงของธนาคารและบริการ โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยเพื่อขอรายละเอียดและผลการวิจัยตามชื่อจริงของธนาคารและบริการดังกล่าว

ผู้วิจัยคาดหวังว่าผลลัพธ์ที่สร้างจาก WEAPONS จะมีประโยชน์มากสำหรับนักพัฒนาในการตรวจสอบการปรับใช้การเข้ารหัสเว็บ โดยสามารถช่วยลดโอกาสรั่วไหลของข้อมูลและการโจมตีแบบการขโมย session ได้ ผู้วิจัยได้สร้าง WEAPONS เป็น open-source ขึ้นเพื่อให้สามารถร่วมกันพัฒนาต่อไปได้ และได้นำเสนอชุดคำสั่งและตัวอย่างการใช้งานไว้ที่ https://github.com/ssivakorn/weapons

6. เอกสารอ้างอิง

Aboobucker, I. and Y. Bao. 2018. **What obstruct customer acceptance of internet banking? Security and privacy, risk, trust and website usability and the role of moderators**. The Journal of High Technology Management Research. 29(1), 109-123.

Acar, G., C. Eubank, S. Englehardt, M. Juarez, A. Narayanan and C. Diaz. 2014. **The Web Never Forgets: Persistent Tracking Mechanisms in the Wild**. Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security.

Bangkok Business. 2021. **Attack on mobile banking in ASEAN, up 60%!! 5 Pinning Methods for Minimizing Transactions**. https://www.bangkokbiznews.com/tech/960865. Accessed August 27, 2021.

Bareño-Gutierrez, R., A. López-Sevillano, F. Piraquive and R. Gonzalez Crespo. **2020. Analysis of WEB browsers of HSTS security under a man attack in the MITM environment**. Proceedings of the 5th International Conference on Knowledge Management in Organisations.

Bhargavan, K., A. Delignat-Lavaud, C. Fournet, A. Pironti and P.Y. Strub. 2014. **Triple Handshakes and Cookie Cutters: Breaking and Fixing Authentication over TLS**. Proceedings of the 2014 IEEE Symposium on Security and Privacy.

Bortz, A., A. Barth and A. Czeskis. 2011. **Origin cookies: Session integrity for web applications**. Proceedings of the Web 2.0 Security and Privacy 2011 Workshop.

Capital One. 2019. **Information on the Capital One Cyber Incident**. Retrieved August 27, 2022, from https://www.capitalone.com/facts2019/

Castelluccia, C., E. De Cristofaro and D. Perito. 2010. **Private Information Disclosure from Web Searches**. Privacy Enhancing Technologies.

Chen, P., N. Nikiforakis, C. Huygens and L. Desmet. 2013. **A Dangerous Mix: Large-scale Analysis of Mixed-content Websites**. Proceedings of the 16th Information Security Conference.

Chromium Blog. 2021. **A safer default for navigation: HTTPS**. https://blog.chromium.org/2021/03/a-safer-default-for-navigation-https.html. Accessed August 27, 2022.

Clark, J. and P.C. van Oorschot. 2013. **SoK: SSL and HTTPS: Revisiting Past Challenges and Evaluating Certificate Trust Model Enhancements**. Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Security and Privacy.

Englehardt, S., D. Reisman, C. Eubank, P. Zimmerman, J. Mayer, A. Narayanan and E.W. Felten. 2015. **Cookies That Give You Away: The Surveillance Implications of Web Tracking**. Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web.

Google Transparency Report. 2022. **HTTPS encryption on the web -- HTTPS Encryption by Chrome platform**. https://transparencyreport.google.com/https/overview?hl=en. Accessed August 27, 2022.

Hamid, R., A. Hamid, H. Amin, S. Lada and N. Ahmad. 2010. **A Comparative Analysis of Internet Banking in Malaysia and Thailand**. Journal of Internet Business. No. 4.

Jackson, C. and A. Barth. 2008. **ForceHTTPS: Protecting High-security Web Sites from Network Attacks**. Proceedings of the 17th International World Wide Web Conference.

Kasemsan, K. and N. Hunngam. 2011. **Internet Banking Security Guideline Model for Banking in Thailand**. Communications of the IBIMA. DOI: 10.5171/2011.787725.

Khattak, S., S. Jan, I. Ahmad, Z. Wadud and F.Q. Khan. 2021. **An Effective Security Assessment Approach for Internet Banking Services via Deep Analysis of Multimedia Data**. Multimedia Systems 27: 733-751.

Kranch, M. and J. Bonneau. 2015. Upgrading HTTPS in Mid-Air: **An Empirical Study of Strict Transport Security and Key Pinning**. Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium.

Leelapongprasut, P., P. Praneetpolgrang and N. Paopun. 2005. **A Quality Study of Internet Banking in Thailand**. Proceedings of the 4th International Conference on eBusiness.

Liu, Y., Song, H. H., Bermudez, I., Mislove, A., Baldi, M., and Tongaonkar, A. 2015. **Identifying Personal Information in Internet Traffic**. Proceedings of the 3rd ACM Conference on Online Social Networks.

Marlinspike, M. 2009. **New Tricks For Defeating SSL In Practice**. BlackHat USA.

Namahoot, K. S., and T. Laohavichien. 2018. **Assessing the Intentions to Use Internet Banking: The Role of Perceived Risk and Trust as Mediating Factors**. International Journal of Bank Marketing. 36(2): 256-276.

Posttoday. 2015. **Four banks prepare to deal with hackers**. https://www.posttoday.com/finance-stock/news/396588. Accessed August 27, 2021.

PrachachatTurakit. 2021. **Launching the trend of cybersecurity in Thailand in the year 65 "Government and banks" are the most targeted attacks**. https://www.prachachat.net/ict/news-826506. Accessed August 27, 2021.

Selvi, J. 2014. **Bypassing HTTP Strict Transport Security**. BlackHat EU.

Silver-Greenberg, J., M. Goldstein and N. Perlroth. 2014. **The New York Times. JPMorgan Chase Hacking Affects 76 Million Households**. https://dealbook.nytimes.com/2014/10/02/jpmorgandiscovers-further-cyber-security-issues/. Accessed August 1, 2021.

Sivakorn, S., I. Polakis and A.D. Keromytis. 2016. **The Cracked Cookie Jar: HTTP Cookie Hijacking and the Exposure of Private Information**. Proceedings of the 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy: 724-742.

Sivakorn, S., I. Polakis and A.D. Keromytis. 2016. **I Am Robot: (Deep) Learning to Break Semantic Image CAPTCHAs**. Proceedings of the 1st IEEE European Symposium on Security and Privacy.

Sivakorn, S., A.D. Keromytis and I. Polakis. 2016. **That's the Way the Cookie Crumbles: Evaluating HTTPS Enforcing Mechanisms**. Proceedings of the 2016 ACM on Workshop on Privacy in the Electronic Society: 71-81.

Sivakorn, S., P. Sirawongphatsara and N. Rujiratanapat. 2020. **Web Encryption Analysis of Internet Banking Websites in Thailand**. Proceedings of 17th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering: 139-144.

Subsorn, P. and S. Limwiriyakul. 2012. **A Comparative Analysis of Internet Banking Security in Thailand: A Customer Perspective**. Procedia Engineering, 32: 260-272.

(Received: 29/Aug/2021, Revised: 24/Jun/2022, Accepted: 27/Jun/2022)

ภาคผนวก
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. **ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรสั้น กะทัดรัด ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. **ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. **ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์**
4. **ตัวเลขยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. **บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. **คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. **บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วิธีการทดลอง (Materails and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology)** เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับการวิจัยแต่ละประเภท
3. **ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion)** ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. **สรุปผล (Conclusion)** สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
6. **เอกสารอ้างอิง (References)** ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ	ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซ.ม.
	ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซ.ม.
- กระดาษ	ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซ.ม. ความสูง 27 ซ.ม.
รูปแบบตัวอักษร	แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น
หมายเลขหน้า	ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14
การย่อหน้า	เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9
จำนวนหน้าทั้งหมด	6 - 10 หน้า
การพิมพ์ส่วนปก	พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)
การพิมพ์ส่วนเนื้อหา	พิมพ์ 1 คอลัมน์
ชื่อบทความ	ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ชื่อผู้เขียน	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล	ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์	ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)
ชื่อบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
เนื้อหาบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อคำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)
คำสำคัญ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อหัวเรื่องใหญ่	ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล 4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องรอง	ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องย่อ	ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5
เนื้อหาบทความ	ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย
ชื่อตาราง	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย
ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง
เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al*. (2011) หรือ (Dan *et al*., 2011) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

1. หนังสือ
ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. **ชื่อหนังสือ**. ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์.
2. บทความวารสาร
ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ**. ชื่อย่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่): หน้าแรก - หน้าสุดท้ายของบทความ. (กรณีที่วารสารไม่ระบุฉบับที่ ก็ไม่ต้องใส่ฉบับที่)

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อและชื่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์ (การอ้างอิงจากวารสาร ให้ใช้ชื่อย่อของวารสาร) กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงภาษาไทยใช้รูปแบบเดียวกัน ให้ปรับ (แปล) เป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai)

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** <u>ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง</u>**

Barros, A.K.A., Nunes, G.H.S., Queiroz, M.A., Pereira, E.W.L. and J.H.C. Filho. 2011. **Diallel analysis of yield and quality traits of melon fruits**. Crop Breed Appl Biotechnol. 11: 313-319.

Lertrat, K. 1989. **Techniques in Hand Pollinating Vegetable Plants**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)

Pornsuriya, P. 2005. **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis melo* L. var. *conomon* Makino)**. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok.

Pornsuriya, P. 2014. **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. O.S. Printing House, Bangkok. (in Thai)

Singh, P. and S.S. Narayanan. 2013. **Biometrical Techniques in Plant Breeding**. 5th ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Tindall H.D. 1983. **Vegetables in the Tropics**. The Macmillan Press LTD., London.

United States Department of Agriculture. 2007. ***Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc**. http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41646. Accessed 10 Mar. 2007.

Vianna J.M.S. 2000. **The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis**. Genet. Mol. Biol. 23: 877-881.

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ ขนาด 18 หนา

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา

วีระพล แจ่มสวัสดิ์
Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี
Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi
E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์ ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา **บทคัดย่อ**

ผลจากการทดลองการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเชียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

เนื้อหาบทคัดย่อ ภาษาไทยและอังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow.

ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ

ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดน้อยลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น **ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หนา**

ขอบซ้าย 2.5 ซม. ขอบขวา 2.0 ซม.

วัตถุดิบ	จำนวน
รำละเอียด	45
กากมะพร้าว	30
กากถั่วลิสง	15
ปลาป่น	5
เกลือป่น	2
แร่ธาตุผสม (premix)	1
รวม	**100**

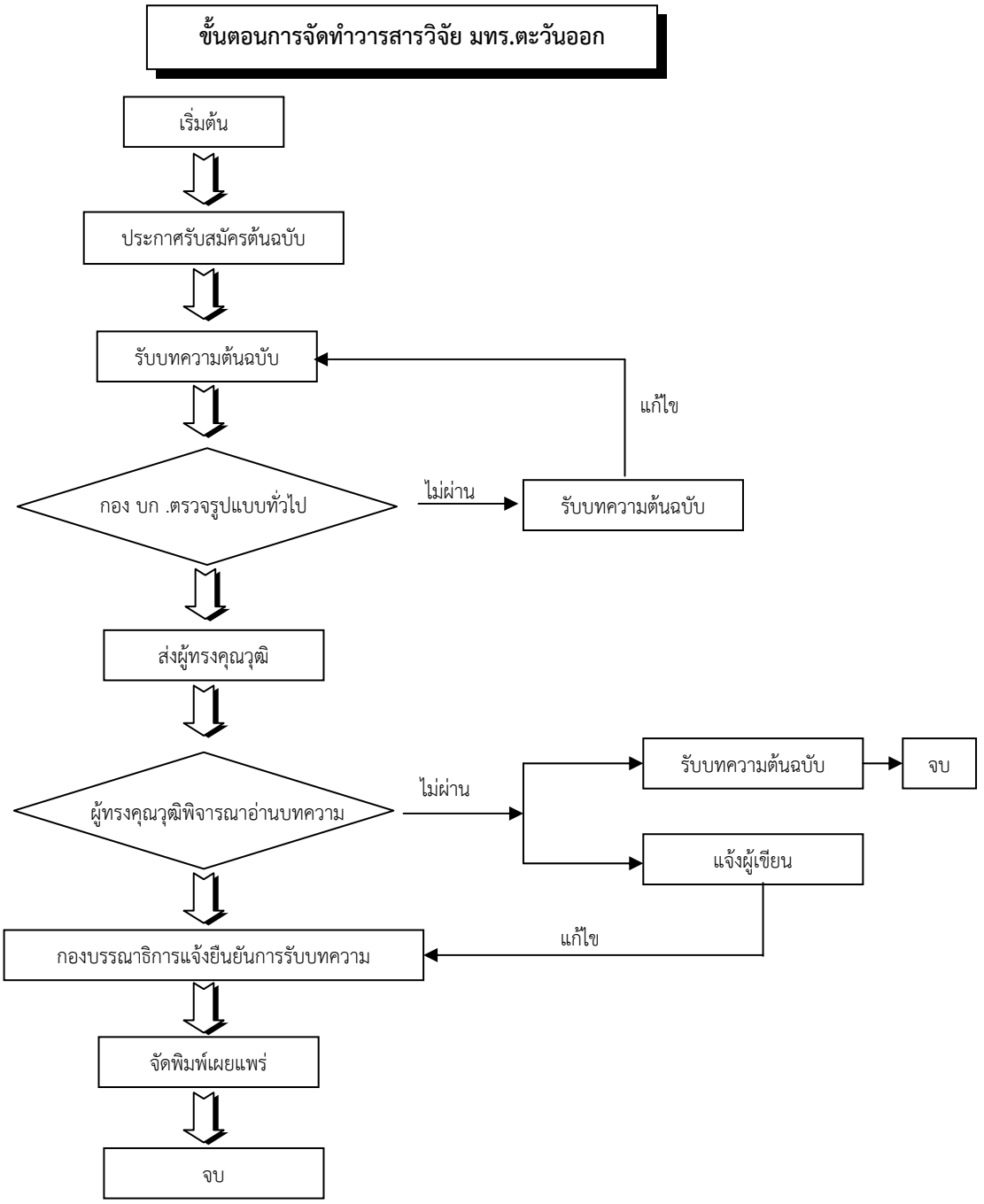
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ



แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว .....

2. ระดับการศึกษาสูงสุด .....
ตำแหน่งทางวิชาการ .....

3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....
(ภาษาอังกฤษ) .....

4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1) .....
(2) .....
(3) .....
(4) .....
(5) .....

5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
.....
.....
.....
โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....
E-mail : .....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
(.....)

แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... **ท่าน**

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....

หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....
.....
.....

โดย

.....
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

.....
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก
ให้ ณ วันที่.....

ISSN 1906-1889

นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่

2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้

   3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยสมบูรณ์พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง

   3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

   3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)

   3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3313-6099 ต่อ 1181-1187 โทรสาร/สายตรง 0-3835-8142
http://ird.rmutto.ac.th, http://journal.rmutto.ac.th