



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal

เรียนรู้เพื่อรับใช้สังคม

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2566

ISSN 2985-1653 (Online)

Volume 9 No.2 July-December 2023



บทความวิจัย

- การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยกลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในหลอดทดลองของสารสกัดใบกระท่อม
- การพัฒนาแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้การฝึกฝนตัวแบบล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ระหว่างรูปภาพและข้อความ
- การเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มสำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต
- การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์สำหรับเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย
- อัลกอร์ิทึมการตัดสินใจแบบใหม่สำหรับการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสของสมุนไพรไทย
- Antioxidant activity and phenolic content in herbal tea in inflorescences and mango (*Mangifera indica*) leaves



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

ISSN 2985-1653 (Online)

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วยสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเพื่อส่งเสริมให้เกิดความรู้ทางวิชาการแก่สังคมทั่วไป และสนับสนุนให้ คณาจารย์ นักวิชาการ ผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนักศึกษาเสนอผลงานวิชาการ

กำหนดเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อุไรพรรณ เจนวาณิชยานนท์

อาจารย์ ดร.จำรูญศรี พุ่มเทียน

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐกุล

รองหัวหน้ากองบรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.สุกัญญา เพชรศิริเวทย์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร ฉางทรัพย์

มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูรศักดิ์ เปลื้องผล

มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

อาจารย์ ดร.สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา

มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

อาจารย์ ดร.ชัชวาลย์ ช่างทำ

มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

อาจารย์ ดร.นพมาศ อัครจันทโชติ

มหาวิทยาลัยห้วยเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ สุขสำราญ

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.อรรพวรรณ ชัยลภากุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.พีรพรรณ ตันอารีย์

มหาวิทยาลัยมหิดล

ศาสตราจารย์ ดร.โกสุม จันทศิริ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศาสตราจารย์ ดร.อรสา สุตเธียรกุล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ ครูส่ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ศาสตราจารย์ ดร.วิไล รังสาดทอง
 รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลยุตต์ วรรณสว่าง
 รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาสันต์
 รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์เพ็ญ วิวัฒน์
 รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี
 รองศาสตราจารย์ ดร.สิริธร สโมสร
 รองศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สายหยุดทอง
 รองศาสตราจารย์ ดร.มาลินี พงศ์เสวี
 รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์ ไชยนอก
 รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติการ สายธนู
 รองศาสตราจารย์ ดร.จันทนา จันทราพรชัย
 รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติพิทย์ ศิริไพศาลพัฒน์
 รองศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา รุกขไชยศิริกุล
 รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข
 รองศาสตราจารย์ นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล
 รองศาสตราจารย์ ดร.วราภา มหากาญจนกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จูอนุวัฒน์กุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 สถาบันวิทยสิริเมธี
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยรามคำแหง
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฝ่ายพิสูจน์อักษรและตรวจการเขียนรายการอ้างอิง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ชุ่มบัวทอง
 อาจารย์ ดร.นพมาศ อัครจันทโชติ
 อาจารย์ยุคลธร สถาปนศิริ

อาจารย์ ดร.สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา
 อาจารย์ ดร.สุกัญญา เพชรศิริเวทย์
 อาจารย์ภัททิศา เลิศจริยพร

ฝ่ายเว็บไซต์และศิลปกรรมวารสาร

คุณอาคม สิมโสม

ฝ่ายการเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐกาล

คุณอริศรา สิทธิพงษ์

ฝ่ายสมาชิการสารและประชาสัมพันธ์

อาจารย์ตติภรณ์ ภัทรานุรักษ์โยธิน

เลขานุการกองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ แก้วกิม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์เพ็ญ บางสำรวจ

อาจารย์ยุคลธร สถาปนศิริ

บทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
 กองบรรณาธิการไม่มีส่วนกับความคิดเห็นในข้อเขียนเหล่านั้น



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความ (peer review)

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.บุษบา ยงสมิทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ สมสุข	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ดลิตา ตันหยง	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ภญ.วารี ลิ้มปวีกรานต์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ปานรักษา	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธางกูร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตบรรจง ตั้งปอง	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงยศ อนุชปรีดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นุชนิภา นันทะวงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร.สฤณี กลั่นทกานนท์ ทองทรง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ตรุณี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ พงษ์ไพจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เศรษฐเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.วีไลลักษณ์ ศิริพรอดุลศิลป์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พรพรม ย่อยสูงเนิน	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ภทรรรณ แสงนวกิจ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อรพินท์ จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชัญญ์ กุมพล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล วัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัชมา อระวีพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร ทองศรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัชร อัศวสัมฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ พรหมสกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร จำเนียรสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ พรรณีภา ศิริเพิ่มพูล	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทศนัย ชุ่มวัฒนะ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ บุญรัตนกรกิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพรรณ สุนทรโชติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กนกกันขพงษ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภก.วีรวัฒน์ ตีระชัยดีกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศราภา ลีละวัฒน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายสัตวแพทย์ปธานิน จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิวธวัฒน์ นาพิรุณ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตศิริ ราชชนะพันธุ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวภา อร่ามศิริจุเวทย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนิษฐพร วังโน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษมกล ณ จอม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร บำรุงไทย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย วิริยะพงษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิริยะพงษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงอรุณ อีระมัลย์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราทิพย์ จันสกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ ชัยสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปรานี มนุรักษ์ชินากร	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวตรี เจียมพานิชกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจิรา อินตะใส	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ อินทโกสม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพิศ สอนโยธา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากานต์ เกียรติอร่ามกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญ แสนราช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัฏจันทร์ ด่านสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล อภิตกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากรณม์ คำสุด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
	วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา แก้วกระจาย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐินี ดีแท้	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร มัชฌิมะปุระ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชนาถ แซ่มซ้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เตมีย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แนวบุตร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศนิ จิระสถิตย์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมาพร ทาไธสง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพ่ายพ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวิทย์ พุ่มอยู่	มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณัน พรหมเด่น	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวรรณา จันคณา	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพิน สุนทรวัฒน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอนก สวาอินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.เทวฤทธิ์ เป็กบาน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น



อาจารย์ ดร.ภก.ฉัตรชัย พิมพ์ศักดิ์

อาจารย์ ดร.ภญ.วิริยาพร ศิริกุล

อาจารย์ ดร.เฉลิมขวัญ รุ่งสว่าง

อาจารย์ ดร.เกษศิริรินทร์ รัชจร

อาจารย์ ดร.กุลวดี ดลโสภณ

อาจารย์ ดร.ชนินท์ วงษ์ใหญ่

อาจารย์ ดร.จิตตภู พูลวัน

อาจารย์ ดร.รัมภ์รดา มีบุญญา

พ.อ.หญิง ดร. มณฑลลี อีรอนิศักดิ์กุล

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยสยาม

มหาวิทยาลัยสยาม

มหาวิทยาลัยทักษิณ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยรังสิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตสมุทรสงคราม

วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความภายใน

รองศาสตราจารย์ ภก.ชาญชัย สาดแสงจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพัฒน์ โสภิตธรรมคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ แก้วกัม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานทิพย์ รัตนศิลป์กุลชาญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ชุ่มบัวทอง

อาจารย์ ดร.ศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล



บรรณาธิการแถลง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วเจี๋ยเฉลิมพระเกียรติ ในฐานะเป็นสื่อกลางสำคัญในการแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการของคณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย และนักวิชาการ เพื่อก่อให้เกิดการสร้างสรรค์ผลงานวิชาการทั้งทางด้านการศึกษาและการวิจัยให้ก้าวหน้าต่อไป วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปี พ.ศ. 2566 (กรกฎาคม - ธันวาคม) ซึ่งเป็นปีที่ 9 ของการดำเนินงานวารสาร ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 8 เรื่อง โดยมีเนื้อหาสาระที่ครอบคลุมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการกลั่นกรองทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชา เพื่อให้ได้คุณภาพและถูกต้องทางวิชาการ ตามเกณฑ์มาตรฐานของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index-TCI) โดยวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วเจี๋ยเฉลิมพระเกียรติ ได้ผ่านการรับรองคุณภาพอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 จากการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ครั้งที่ 2 (2564-2567)

กองบรรณาธิการวารสารจะยังคงรักษาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร โดยปรับปรุงการดำเนินงานของกองบรรณาธิการวารสารในทุกฝ่าย เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทความบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินบทความ (Peer-review) ตรวจสอบบทความอย่างน้อย 3 ท่าน วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วเจี๋ยเฉลิมพระเกียรติ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อควบคุมคุณภาพบทความของวารสารให้ได้มาตรฐานระดับสูง รวมทั้งผู้เขียนบทความในการแก้ไขบทความจนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้สนใจ เพื่อนำประโยชน์ไปใช้ในการอ้างอิง พัฒนางานวิจัย ตลอดจนสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ที่วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วเจี๋ยเฉลิมพระเกียรติ โดยสามารถส่งต้นฉบับตามรายละเอียดในท้ายเล่มนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐีกาล

หัวหน้ากองบรรณาธิการ



สารบัญ

บทความวิจัย

หน้า

- การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย..... 8
กลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
The health risk assessment of exposure to volatile organic compounds (VOCs) emission from municipal solid waste of an open dumpsite disposal in Khlong Luang district, Pathum Thani province
พิตรรค์ กล่อมเกลี้ยง ปิยนุช ใจแก้ว อรอนงค์ ผิวนิล และ ณภัทร โพธิ์วัน
- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในหลอดทดลองของสารสกัดใบกระท่อม..... 25
In Vitro Antioxidant and Cytotoxic Activities of the *Mitragyna speciosa* Kort. leaf extract.
ชวณ พุ่มพงษ์ และ ชยานนท์ เขาวนัญญกุล
- การพัฒนาแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้การฝึกฝนตัวแบบล่วงหน้าแบบคอนทราสต์..... 34
ระหว่างรูปภาพและข้อความ
Development of a Semantic-based Image Retrieval Model Using Contrastive Pre-trained between Image and Text
จักรินทร์ สันติรัตนภักดี และ ศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล
- การเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มสำหรับ..... 52
พยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต
Improving Performance of Rule-Based Predictive Models Using Ensemble Learning Technique for Predicting Graduates' Employability
ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ อภินันท์ จันทกรณ์ มงคล รอดจันทร์ และพุดิยา รัตนศิริวัฒน์
- การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์สำหรับเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย..... 64
The comparison of forecasting models for total premiums of life insurance companies in Thailand
วิกานดา ผาพันธ์ และ วิราวรรณ พุทธิมาตย์
- อัลกอริทึมการตัดสินใจแบบใหม่สำหรับการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม..... 75
A novel decision-making algorithm for choosing green supplier
ไพโรจน์ เียยระยง
- องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสมุนไพรไทย..... 85
Chemical constituents and acetylcholinesterase inhibitory activity of Thai medicinal herbs
คงเดช สวาสดีพันธ์ สิริวัฒน์ บุญชัยศรี ตามรัศมน สุรางกูร อัญชนา ปรีชาวรรณ และ ภรภัทร ลำอานค์
- Antioxidant activity and phenolic content in herbal tea in inflorescences and mango 95
(*Mangifera indica*) leaves
Sirawan Ruangchuay Tuprakay, Parinda Suksabye and Ubol Chuensumran



การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย
จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยกลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

The Health Risk Assessment of Exposure to Volatile Organic Compounds
(VOCs) Emission from Municipal Solid Waste of an Open Dumpsite Disposal
in Khlong Luang District, Pathum Thani Province

พิสิรค์ กล่อมเกลี้ยง¹ ปิยนุช ใจแก้ว² อรอนงค์ ผิวนิล³ และ ณภัทร โพธิ์วัน^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Pisan Klomkliang¹, Piyanuch Jaikaew², Onanong Phewnil³ and Naphat Phowan^{1*}

¹Program of Environmental Technology and Resources Management,
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

²Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok 26120

³Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding author: naphat@g.swu.ac.th

Received: 12 May 2023/ Revised: 7 July 2023/ Accepted: 10 July 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค (BTEXs) โดยใช้อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ชนิดวางติดอยู่กับที่ (Static Flux Chamber) วิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และ Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด จำแนกตามโครงสร้างสารประกอบออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน แอลคีน แอลไคน์ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และฮาโลจิเนตเตด ไฮโดรคาร์บอน พบความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5 อันดับ ดังนี้ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอน-โนเนน ไตรคลอโรเอทิลีน และไอโซพรีน (1376.23 ± 1219.09 , 1248.40 ± 825.41 , 1229.72 ± 424.29 , 1144.63 ± 913.63 และ 1135.22 ± 449.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) พบความเข้มข้นสารกลุ่มบีเทคในแต่ละบริเวณที่เก็บตัวอย่างทุกชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค พบความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารชนิดก่อมะเร็ง ในเพศชายมีค่าเท่ากับ 3.74×10^{-5} และ 4.53×10^{-5} แต่ไม่พบความเสี่ยงของสารชนิดที่ไม่ก่อมะเร็ง ยกเว้นเบนซีนที่พบค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน



กำหนด จึงควรมีแนวทางการป้องกันและเฝ้าระวังที่เหมาะสม เพื่อให้จัดการขยะมูลฝอยชุมชนได้อย่างปลอดภัย มีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ระเหยง่าย ขยะมูลฝอยชุมชน สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Abstract

The research aimed to investigate the concentration of volatile organic compounds (VOCs) emission from the municipal solid waste of an open dumpsite disposal in Khlong Luang district, Pathum Thani province. The BTEXs concentration was used to assess the health risk of inhalation exposure. Using a Static Flux Chamber, measurement was carried out using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID). The results of 83 VOCs were classified by compound structure into 5 groups: Alkanes, Alkenes, Alkynes, Aromatic Hydrocarbons, and Halogenated Hydrocarbons. The highest average concentration of VOCs in the top 5 as follows: Toluene, Carbon tetrachloride (CCl_4), n-Nonane, Trichloroethylene (TCE) and Isoprene (1376.23 ± 1219.09 , 1248.40 ± 825.41 , 1229.72 ± 424.29 , 1144.63 ± 913.63 and $1135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively). The concentration of BTEXs in each sampling site was a difference found (Statistical significance level of 0.05). In addition, the risk assessment of inhalation exposure to BTEXs has been identified. in males was 3.74×10^{-5} and in females was 4.53×10^{-5} but non-carcinogenic risk was not found except Benzene was found to be higher than the criteria standard value. Therefore, there should be appropriate prevention and surveillance guidelines to manage municipal solid waste safely and efficiently and achieve sustainability.

Keywords: Volatile organic compounds, Municipal solid waste, Open dumpsite disposal, Health risk assessment

บทนำ

สถานการณ์ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ขยะมูลฝอยชุมชนยังคงเป็นปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ซึ่งทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่องในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย จากรายงานสถานการณ์ปัญหาขยะมูลฝอยของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2565 พบปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น 25.70 ล้านตัน และมีสถานที่ในการกำจัดขยะมูลฝอยทั่วประเทศ 2074 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกต้อง 111 แห่ง (ร้อยละ 5.35) และสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล 1963 แห่ง (ร้อยละ 94.64) [1] กระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลนั้น อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารมลพิษจากบริเวณแหล่งกำเนิดแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ ดิน และแหล่งน้ำ ซึ่งประเทศไทยส่วนใหญ่มีรูปแบบการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง (Open Dumping) มากถึง 1767 แห่ง (ร้อยละ 90) ซึ่งถือเป็นหนึ่งวิธีในการกำจัดขยะมูลฝอยที่ได้รับความสนใจและมีความนิยม เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ง่าย ต้นทุนต่ำ รองรับขยะมูลฝอยชุมชนในปริมาณมากและกำจัดขยะมูลฝอยได้หลากหลายรูปแบบอย่างไรก็ตาม ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการกำจัดขยะแบบเทกอง ส่งผลกระทบทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดความเสื่อมโทรมเป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค อาจเกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน รวมทั้งเกิดการปลดปล่อยแก๊สที่เป็นอันตรายและแก๊สที่สามารถระเหยง่ายในบรรยากาศปกติ [2]

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ คีโตน เมอร์แคปเทน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบกลุ่มฮาโลเจน สารประกอบอะโรเมติกส์ และสารประกอบพีเทค ซึ่งเป็น

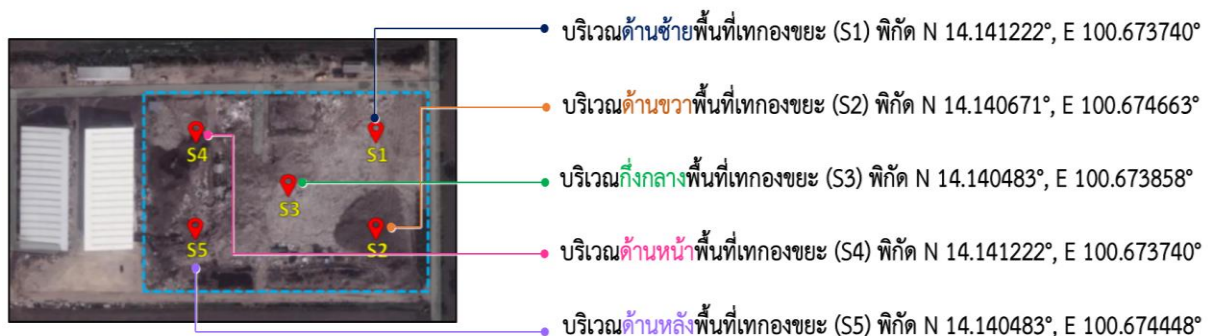
แก๊สที่เกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถระเหยได้ง่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 1-2 ของแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกอง จากปัญหาการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกวิธีที่มีเพิ่มมากขึ้น ถือเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของ VOCs คือ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศถึงร้อยละ 33 อันมาจากการเทกองขยะที่ไม่มีการควบคุมที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล และการเผาขยะกลางแจ้ง นอกจากนี้เมื่อ VOCs เกิดการปลดปล่อยและปนเปื้อนแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ อาจเป็นสาเหตุหลักใน การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (Photochemical Reaction) ในการจับกลุ่มหรือรวมตัวกับออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สามารถเกิดเป็นละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary Organic Aerosol: SOA) และโอโซนที่ระดับใกล้ผิวดิน ซึ่งเป็นอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งชนิดเฉียบพลัน เช่น ระคายเคืองต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อความผิดปกติของฮอร์โมน หากได้รับในปริมาณมาก และเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดเป็นระยะเวลานาน สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพชนิดเรื้อรังก่อให้เกิดความผิดปกติในระบบต่าง ๆ และเกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรม ซึ่งเป็นผลมาจากสารชนิดไม่ก่อมะเร็งอีกทั้งยังส่งผลต่อการเกิดมะเร็งอีกด้วย [3-5] อย่างไรก็ตามกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งที่สำคัญกลุ่มหนึ่ง คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้สัมผัส

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของปัญหามลพิษจากการจัดการขยะมูลฝอยที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อน VOCs ในบรรยากาศ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน และประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสารบีเทค ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน ผ่านเส้นทางการสัมผัสผ่านการหายใจ ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกพื้นที่จังหวัดปทุมธานี เนื่องจากประสบปัญหาเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยและปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์บ่อยครั้ง [6] อีกทั้งประชาชนในพื้นที่มีความกังวลเกี่ยวกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจและใช้เป็นนโยบาย แผนหรือกลยุทธ์ ในการหาแนวทางป้องกันเพื่อลดการเกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อให้สามารถจัดการขยะมูลฝอยชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความยั่งยืน และลดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับคนงานในพื้นที่และประชาชนที่อาศัยใกล้กับบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบ VOCs ที่ปลดปล่อยมาจากกระบวนการกำจัดขยะขั้นสุดท้ายสู่ชั้นบรรยากาศ ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 220 ไร่ หรือ 0.352 ตารางกิโลเมตร สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยปัจจุบันรับกำจัดขยะจาก 10 องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น ในจังหวัดปทุมธานี ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยวันละ 500-1000 ตันต่อวัน สามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยในจังหวัดปทุมธานี และพื้นที่ใกล้เคียงมากกว่าร้อยละ 70 โดยจุดเก็บตัวอย่าง (Sampling Point: S) แบ่งออกเป็น 5 บริเวณ ได้แก่ S1-S5 ซึ่งเป็นตัวแทนบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งทั้งหมด พิกัดและบริเวณพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 1

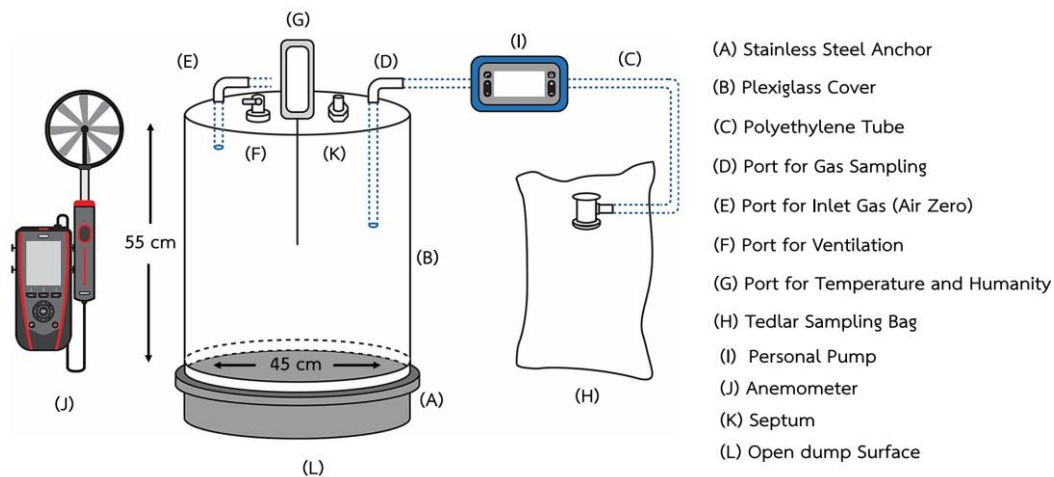


ภาพที่ 1 พิกัดและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับ VOCs (S1-S5) บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



วิธีดำเนินการ

1. เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์แชมเบอร์ชนิดติดอยู่กับที่ (Static Flux Chamber) ดังภาพที่ 2 ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินการปล่อยสารมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ ใช้วัดอัตราการปลดปล่อยแก๊สที่พื้นผิวของกองขยะที่มีและไม่มีดินกลบคลุม ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบฟลักซ์แชมเบอร์เก็บตัวอย่างสารมลพิษที่ปล่อยปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศด้วยถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Sampling Bag) ทำจากวัสดุชนิดเทดลาร์ (Tedlar) ทางเข้าของอากาศมีวาล์วเปิด-ปิด ต่อกับปั๊มสำหรับดูดตัวอย่างอากาศ เป็นการเก็บตัวอย่างตามวิธีของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US EPA) Method 0040 [7] สามารถใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศได้หลายชนิด เพื่อนำส่งไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงในห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ (Flux Chamber) และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง VOCs
ดัดแปลงจาก Chiemchaisri et al. [8] และศิวพันธุ์ ชูอินทร์ [9]

การเก็บตัวอย่าง VOCs เป็นการเก็บตัวอย่างแบบครั้งคราว (Spot Sampling) ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างครั้งละ 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Surface Emission Isolation Fluxes Chamber ดังภาพที่ 3 เป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจวัด VOCs ที่ระเหยออกมาจากแหล่งกำเนิดแบบอยู่กับที่ โดยจะปิดคลุมในส่วนที่ทราบขนาดที่แน่นอน จากนั้นปล่อยให้แก๊สจากพื้นผิวของบริเวณเทกองขยะสะสมภายในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ และดึงตัวอย่างอากาศด้วยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ โดยมีหลักการคือใช้อุปกรณ์ชุดครอบหุ้มล้อมรอบบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ต้องการใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่แหล่งกำเนิดมลพิษ ทำการควบคุมอัตราการไหล โดยการเติมแก๊สสะอาด (Air Zero) ที่มีแรงดันและความบริสุทธิ์สูงเข้าไปในชุดครอบ เพื่อให้เกิดการผสมกันภายใน แล้วจึงระบายออกทางช่องที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นวาล์วทั้งหมดจะถูกปิดเพื่อให้แก๊สสะสมอยู่ในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ ค่าความเข้มข้นของแก๊สมลพิษที่ได้ จะวัดได้จากช่องทางระบายที่เหมาะสม ตัวอย่างชุดทดสอบแบบฟลักซ์แชมเบอร์ ติดตั้งปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับถุงเก็บตัวอย่างอากาศ ขนาด 10 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่าง VOCs โดยปั๊มสุญญากาศมีอัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่ออนาที โดยเก็บในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง ในช่วงเวลาเดียวกัน ได้แก่ 07.00-09.00 น. และ 12.00-14.00 น. ร่วมกับวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ การไหลของอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และความดันในบรรยากาศ ด้วยอุปกรณ์วัดอากาศชนิดมัลติฟังก์ชัน ยี่ห้อ Kimo รุ่น AMI 310 Multifunction Instrument Measures (ประเทศฝรั่งเศส) จากนั้นเก็บตัวอย่างอากาศลงในวัสดุทึบแสง เพื่อป้องกันตัวอย่างอากาศทำปฏิกิริยากับแสงและความร้อน



ภาพที่ 3 การเก็บตัวอย่าง VOCs ด้วยวิธี Surface Emission Isolation Fluxes Chamber

2. นำตัวอย่างอากาศส่งไปยังห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ภายใน 48 ชั่วโมง ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2020 (ประเทศญี่ปุ่น) ในโหมดการวิเคราะห์แบบ Scan Mode โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดมวลต่อประจุ (m/z) ของตัวอย่างอากาศ ซึ่งเป็นสาร Unknown โดยเปรียบเทียบความเหมือนและความคล้ายคลึง (Match and Similarity) สารที่ทำการวิเคราะห์กับสเปกตรัมที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ National Institute of Standards and Technology (NIST) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณ VOCs ด้วย Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) ยี่ห้อ Chromatotec รุ่น A24022 (ประเทศฝรั่งเศส) เพื่อวิเคราะห์สาร VOCs ช่วงการวิเคราะห์คาร์บอนต่ำ (C_2-C_6) และคาร์บอนสูง (C_6-C_{12}) ด้วยเทคนิคการแตกตัวเป็นไอออนของเปลวไฟ (Flame Ionization Detector หรือ FID) จึงเป็นเครื่องมือมีความเฉพาะเจาะจง ในการตรวจวัดปริมาณ VOCs ที่มีปริมาณต่ำได้อย่างน่าเชื่อถือและแม่นยำ ตามมาตรฐานการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศของ US EPA

3. ประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส VOCs ในบรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (หมายเลขรับรอง SWUEC/G-439/2565X)

1) การคำนวณปริมาณสารพิษที่ได้จากการหายใจของมนุษย์ที่ประกอบอาชีพหรืออาศัยอยู่ใกล้กับบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แสดงการคำนวณอัตราการรับสัมผัส VOCs ผ่านการหายใจ [10] ดังสมการ (1)

$$CDI_{inhalation} = \frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

เมื่อ	$CDI_{inhalation}$	คือ ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส (ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน)
	C	คือ ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	IR	คือ อัตราการหายใจระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
	ET	คือ ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
	EF	คือ ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)
	ED	คือ ระยะเวลาการรับสัมผัส (ปี)
	BW	คือ น้ำหนักร่างกายของผู้รับสัมผัสสาร (กิโลกรัม)
	AT	คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสัมผัสสาร (วัน)

2) การประเมินการรับสัมผัสและการตอบสนองของสารในกลุ่มเบนซีน เนื่องจากสารกลุ่มนี้ได้มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย และสามารถแพร่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้แหล่งกำเนิด ทั้งในเขตโรงงานอุตสาหกรรม และชุมชน โดยพิจารณาความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Risk) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ



(International Agency for Research on Cancer: IARC) ยืนยันว่าสารกลุ่มเบนซิน เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1A คือ มีหลักฐานยืนยันชัดเจน การก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง คำนวณความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง แสดงดังสมการ (2)

$$R = CDI \times SF \quad (2)$$

เมื่อ	R	คือ ความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Risk)
	CDI	คือ ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	SF	คือ Slope Factor สำหรับเบนซินมีค่า 0.055 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)
		ตามค่าอ้างอิงจาก US EPA [11]

3) การประเมินความเสี่ยงสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer Risk) ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน ไซลีน และสไตรีน แตกต่างจากชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดย US EPA แนะนำให้ใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิง (Reference Concentration: R_fC) จากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) เป็นค่าประมาณที่ได้จากการรับสัมผัสสารมลพิษในทุก ๆ วัน ของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในเกิดมะเร็ง [11-13] แสดงดังสมการ (3)

$$HQ = \frac{CDI}{R_fC} \quad (3)$$

เมื่อ	HQ	คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง
	CDI	คือ ปริมาณ VOCs เข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)
	R_fC	คือ ค่ามาตรฐานกำหนด (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)
		การอธิบายลักษณะความเสี่ยง พิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการรับสัมผัส [12] สามารถแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

$HQ < 0.1$	หมายถึง ไม่มีอันตราย
$0.1 \leq HQ \leq 1.0$	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับต่ำ
$1.0 < HQ \leq 10$	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับปานกลาง
$HQ > 10$	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับสูง

4. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส ค่าความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง และค่าสัดส่วนความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก อีกทั้งใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดและในแต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างด้วย One-way ANOVA, Post Hoc Multiple Comparison-LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย

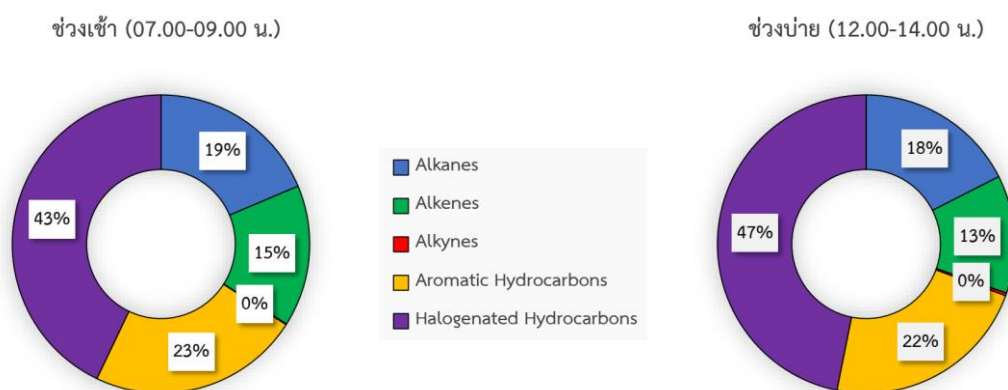
ตอนที่ 1 การศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาทั่วไปบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และความกดอากาศ ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง 5 บริเวณ (S1-S5) ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนมกราคม 2566 โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) เก็บตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าในช่วงเช้า มีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.70 ± 0.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์มีค่าเฉลี่ย 35.30 ± 0.32 องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย 2.42 ± 0.34 เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมค่อนข้างคงที่และมีลมพัดตลอดเวลาระหว่างการเก็บตัวอย่าง ความชื้นในบรรยากาศร้อยละ 73.60 % และความกดอากาศในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง

5 ตำแหน่ง มีค่าเท่ากันคือ 1005 มิลลิบาร์ และช่วงบ่าย จากการตรวจวัดพบอุณหภูมิในทุกจุดสูงกว่าในช่วงเช้า โดยมีค่าเฉลี่ย 41.16 ± 1.77 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์มีค่าเฉลี่ย 50.90 ± 0.49 องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย 0.90 ± 0.38 เมตร/วินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมต่ำ อากาศนิ่ง ความชื้นในบรรยากาศร้อยละ 36.80 และความกดอากาศมีค่าเฉลี่ย 1008.20 ± 0.44 มิลลิบาร์

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

ผลการศึกษา VOCs ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งทั้ง 5 บริเวณ จำแนกกลุ่มตามโครงสร้างออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) แอลไคน์ (Alkynes) อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) และฮาโลจิเนตเตด ไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbons) โดยสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยที่พบในช่วงเช้าคิดเป็นร้อยละ 19, 15, 0, 23 และ 43 ตามลำดับ และช่วงบ่ายคิดเป็นร้อยละ 18, 13, 0, 22 และ 47 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4



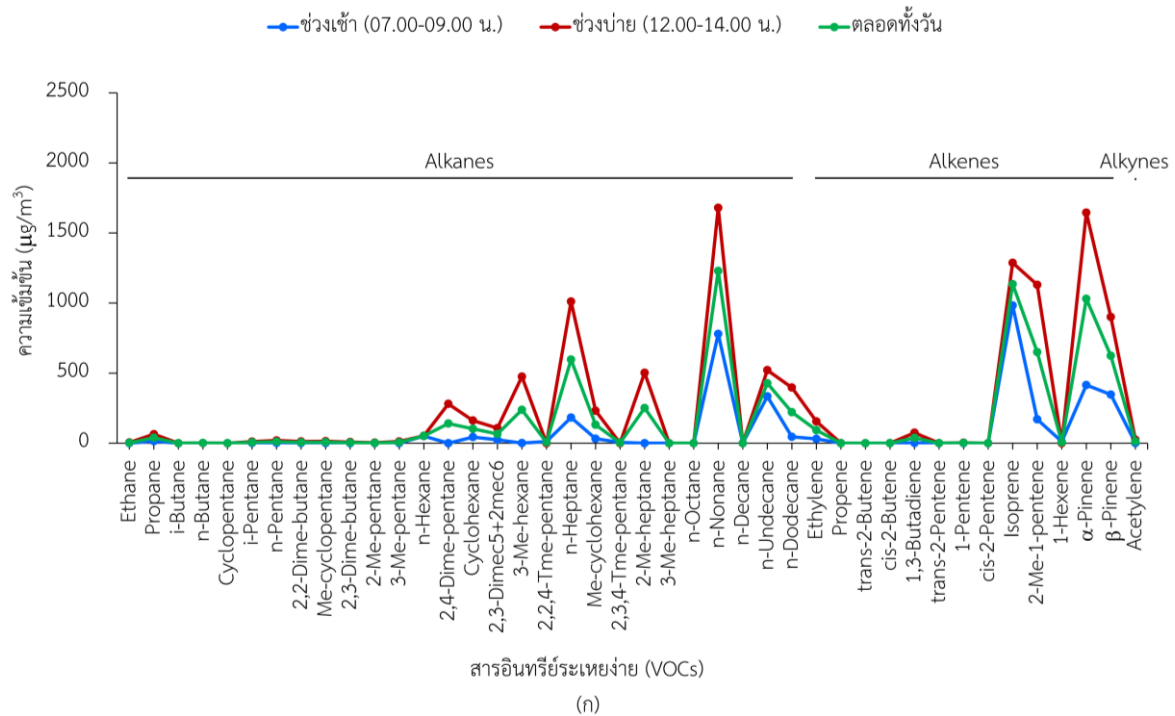
ภาพที่ 4 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) แอลไคน์ (Alkynes) อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) และฮาโลจิเนตเตด ไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbons) ทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs แต่ละชนิด จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 บริเวณ (S1-S5) โดยการใช้การเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) ซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่า บริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 บริเวณ มีความเข้มข้นของสาร VOCs แต่ละชนิดในช่วงเช้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของสาร VOCs แต่ละชนิดในช่วงบ่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงรายงานเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทั้ง 5 บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนทั้งหมดของสาร VOCs ที่เกิดขึ้นจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แสดงดังภาพที่ 5

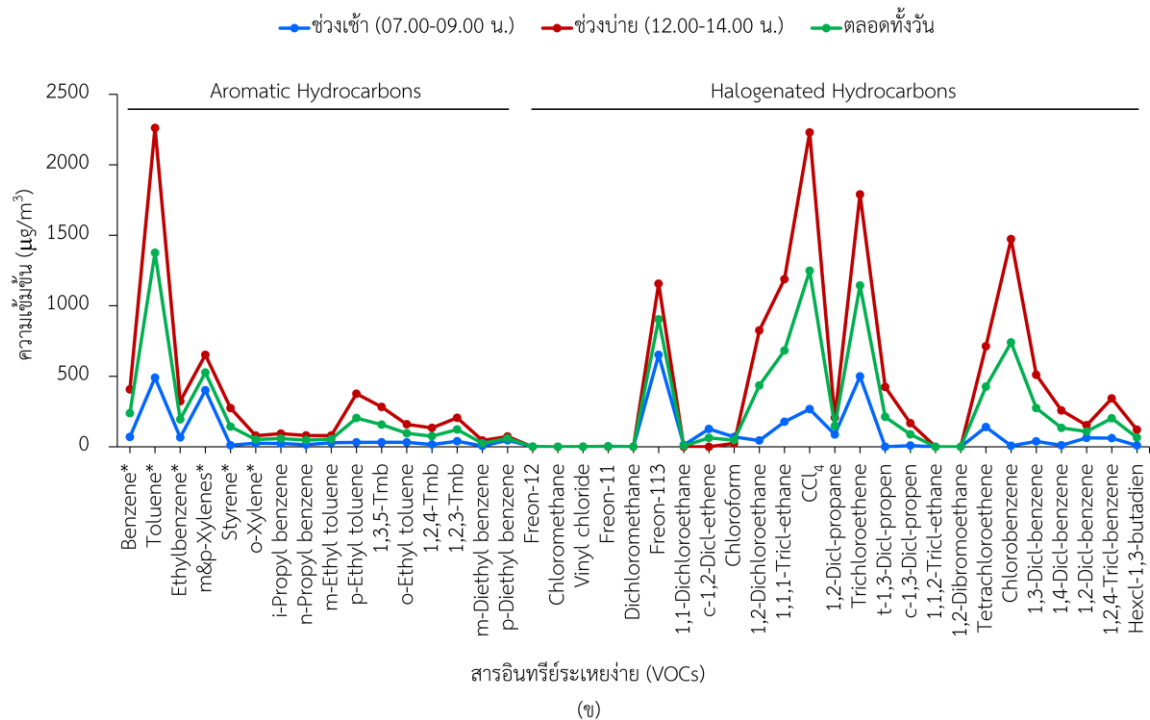
เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs ทั้ง 83 ชนิด โดยเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ การเก็บตัวอย่างในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) จากการตรวจวัดพบว่ามี VOCs บางชนิดที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ 3-เมทิลเฮปเทน (3-Me-heptane), เอน-ออกเทน (n-Octane), เอน-เดเคน (n-Decane), 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) และ 1,2-ไดโบรมออีเทน (1,2-Dibromoethane)



ความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิด เฉลี่ยรวมทุกบริเวณเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุด จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง (S1-S5)



ความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิด เฉลี่ยรวมทุกบริเวณเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุด จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง (S1-S5)



ภาพที่ 5 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของ VOCs ทุกบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง (S1-S5) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.)

ช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) และตลอดทั้งวัน จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

(ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม

Aromatic Hydrocarbons และ Halogenated Hydrocarbons



เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร VOCs ทั้ง 83 ชนิด ระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร VOCs ชนิดเดียวกันระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่าย มีค่าแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 83 ชนิด จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 บริเวณ (S1-S5) ในสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี แบ่งเป็น ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) ช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) และตลอดทั้งวัน

ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
Alkanes						
1	Ethane	0.69±0.27	5.12±2.95	2.90±1.17	0.000	แตกต่างกัน
2	Propane	14.64±8.33	64.31±7.37	39.48±10.79	0.022	แตกต่างกัน
3	i-Butane	0.02±0.07	0.12±0.11	0.07±0.10	0.010	แตกต่างกัน
4	n-Butane	1.18±0.73	1.24±0.17	1.21±0.07	0.939	ไม่แตกต่างกัน
5	Cyclopentane	0.13±0.04	0.21±0.08	0.17±0.06	0.728	ไม่แตกต่างกัน
6	i-Pentane	2.03±0.44	11.47±7.17	6.75±4.12	0.000	แตกต่างกัน
7	n-Pentane	2.68±0.89	19.69±4.30	11.18±7.33	0.000	แตกต่างกัน
8	2,2-Dime-butane	0.90±0.86	12.26±9.26	6.58±5.74	0.000	แตกต่างกัน
9	Me-cyclopentane	1.01±0.87	14.21±8.99	7.61±5.26	0.000	แตกต่างกัน
10	2,3-Dime-butane	0.23±0.78	8.25±7.11	4.24±3.43	0.000	แตกต่างกัน
11	2-Me-pentane	0.04±0.12	4.06±4.70	2.05±2.85	0.003	แตกต่างกัน
12	3-Me-pentane	0.62±0.16	12.60±9.49	6.61±5.02	0.000	แตกต่างกัน
13	n-Hexane	50.48±7.67	53.08±20.24	51.78±27.72	0.929	ไม่แตกต่างกัน
14	2,4-Dime-pentane	0.18±0.43	280.86±68.03	140.52±64.64	0.000	แตกต่างกัน
15	Cyclohexane	43.82±7.56	162.00±42.72	102.91±26.44	0.008	แตกต่างกัน
16	2,3-Dimec5+2mec6	24.77±6.74	107.56±95.24	66.16±20.76	0.010	แตกต่างกัน
17	3-Me-hexane	1.11±0.31	475.42±30.58	238.27±34.31	0.000	แตกต่างกัน
18	2,2,4-Tme-pentane	12.38±18.84	0.14±0.54	6.26±3.58	0.233	ไม่แตกต่างกัน
19	n-Heptane	183.01±130.67	1010.78±75.29	596.90±576.17	0.000	แตกต่างกัน
20	Me-cyclohexane	32.35±25.28	231.97±64.61	132.16±127.34	0.013	แตกต่างกัน
21	2,3,4-Tme-pentane	5.43±3.92	ND	2.72±2.76	0.000	แตกต่างกัน
22	2-Me-heptane	ND	502.72±64.05	251.36±159.35	0.000	แตกต่างกัน
23	3-Me-heptane	ND	ND	ND	-	-
24	n-Octane	ND	ND	ND	-	-
25	n-Nonane	779.81±92.04	1679.63±114.63	1229.72±424.29	0.026	แตกต่างกัน
26	n-Decane	ND	ND	ND	-	-
27	n-Undecane	334.24±306.43	521.42±502.75	427.83±405.42	0.268	ไม่แตกต่างกัน
28	n-Dodecane	45.68±36.82	397.21±293.87	221.44±204.24	0.000	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1537.43±650.27	5576.33±1434.25	3556.88±2122.96	-	-
Alkenes						
29	Ethylene	31.15±23.92	155.7±15.84	93.43±61.63	0.001	แตกต่างกัน
30	Propene	0.01±0.02	0.35±0.77	0.18±0.57	0.099	ไม่แตกต่างกัน
31	trans-2-Butene	0.01±0.03	0.14±0.14	0.01±0.02	0.138	ไม่แตกต่างกัน
32	cis-2-Butene	0.11±0.01	0.47±0.58	0.29±0.47	0.030	แตกต่างกัน



ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
33	1,3-Butadiene	1.98 $\pm$ 0.46	74.74 $\pm$ 6.05	38.36 $\pm$ 35.95	0.000	แตกต่างกัน
34	trans-2-Pentene	0.10 $\pm$ 0.21	0.88 $\pm$ 0.77	0.49 $\pm$ 0.68	0.001	แตกต่างกัน
35	1-Pentene	0.21 $\pm$ 0.01	3.36 $\pm$ 4.93	1.78 $\pm$ 3.78	0.020	แตกต่างกัน
36	cis-2-Pentene	0.53 $\pm$ 0.16	0.29 $\pm$ 0.13	0.41 $\pm$ 0.13	0.579	ไม่แตกต่างกัน
37	Isoprene	983.29 $\pm$ 396.81	1287.15 $\pm$ 331.78	1135.22 $\pm$ 449.81	0.479	ไม่แตกต่างกัน
38	2-Me-1-pentene	170.24 $\pm$ 42.31	1130.22 $\pm$ 123.85	650.23 $\pm$ 464.44	0.004	แตกต่างกัน
39	1-Hexene	11.79 $\pm$ 0.62	ND	5.89 $\pm$ 4.26	0.000	แตกต่างกัน
40	α -Pinene	415.41 $\pm$ 55.26	1645.75 $\pm$ 77.45	1030.58 $\pm$ 669.11	0.006	แตกต่างกัน
41	β -Pinene	346.98 $\pm$ 85.94	901.36 $\pm$ 39.44	624.17 $\pm$ 304.48	0.016	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1961.81 $\pm$ 605.76	5200.41 $\pm$ 601.73	3581.04 $\pm$ 1995.33	-	-
Alkynes						
42	Acetylene	1.18 $\pm$ 1.17	25.01 $\pm$ 0.53	13.11 $\pm$ 12.66	0.002	แตกต่างกัน
Aromatic Hydrocarbons						
43	Benzene*	69.67 $\pm$ 48.69	406.83 $\pm$ 28.08	238.25 $\pm$ 175.31	0.000	แตกต่างกัน
44	Toluene*	490.69 $\pm$ 29.67	2261.77 $\pm$ 318.82	1376.23 $\pm$ 1219.09	0.000	แตกต่างกัน
45	Ethylbenzene*	66.45 $\pm$ 5.49	322.93 $\pm$ 59.76	194.69 $\pm$ 189.65	0.013	แตกต่างกัน
46	m&p-Xylenes*	400.90 $\pm$ 6.75	652.12 $\pm$ 19.88	526.51 $\pm$ 98.49	0.020	แตกต่างกัน
47	Styrene*	11.33 $\pm$ 2.07	274.41 $\pm$ 3.15	142.87 $\pm$ 131.28	0.000	แตกต่างกัน
48	o-Xylene*	25.31 $\pm$ 6.12	78.87 $\pm$ 58.70	52.09 $\pm$ 2.66	0.016	แตกต่างกัน
49	i-Propyl benzene	23.47 $\pm$ 25.41	93.30 $\pm$ 85.82	58.38 $\pm$ 71.61	0.005	แตกต่างกัน
50	n-Propyl benzene	14.85 $\pm$ 5.05	80.07 $\pm$ 7.78	47.46 $\pm$ 71.57	0.010	แตกต่างกัน
51	m-Ethyl toluene	29.14 $\pm$ 5.42	79.47 $\pm$ 9.88	54.30 $\pm$ 46.85	0.020	แตกต่างกัน
52	p-Ethyl toluene	31.51 $\pm$ 9.95	376.38 $\pm$ 61.65	203.95 $\pm$ 204.98	0.000	แตกต่างกัน
53	1,3,5-Tmb	32.01 $\pm$ 33.22	282.95 $\pm$ 212.42	157.48 $\pm$ 96.47	0.000	แตกต่างกัน
54	o-Ethyl toluene	31.92 $\pm$ 50.32	159.46 $\pm$ 133.77	95.69 $\pm$ 18.61	0.002	แตกต่างกัน
55	1,2,4-Tmb	16.34 $\pm$ 30.86	134.38 $\pm$ 147.63	75.36 $\pm$ 20.77	0.005	แตกต่างกัน
56	1,2,3-Tmb	39.57 $\pm$ 38.35	206.02 $\pm$ 154.09	122.79 $\pm$ 139.06	0.000	แตกต่างกัน
57	m-Diethyl benzene	5.86 $\pm$ 0.94	44.96 $\pm$ 0.89	25.41 $\pm$ 18.74	0.005	แตกต่างกัน
58	p-Diethyl benzene	46.14 $\pm$ 38.93	73.02 $\pm$ 49.23	59.58 $\pm$ 45.70	0.108	ไม่แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1335.16 $\pm$ 337.24	5526.94 $\pm$ 1351.55	3431.04 $\pm$ 2550.84	-	-
Halogenated Hydrocarbons						
59	Freon-12	0.82 $\pm$ 0.77	ND	0.91 $\pm$ 4.79	0.306	ไม่แตกต่างกัน
60	Chloromethane	0.07 $\pm$ 0.17	0.01 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.16	0.202	ไม่แตกต่างกัน
61	Vinyl chloride	0.09 $\pm$ 0.25	1.21 $\pm$ 0.86	0.65 $\pm$ 0.84	0.200	ไม่แตกต่างกัน
62	Freon-11	3.80 $\pm$ 8.95	0.14 $\pm$ 0.56	1.97 $\pm$ 6.50	0.126	ไม่แตกต่างกัน
63	Dichloromethane	0.87 $\pm$ 1.81	ND	0.43 $\pm$ 1.33	0.278	ไม่แตกต่างกัน
64	Freon-113	651.70 $\pm$ 549.05	1156.86 $\pm$ 108.19	904.28 $\pm$ 151.95	0.002	แตกต่างกัน
65	1,1-Dichloroethane	12.67 $\pm$ 4.18	ND	6.33 $\pm$ 5.33	0.000	แตกต่างกัน
66	c-1,2-Dicl-ethene	126.73 $\pm$ 3.31	ND	63.36 $\pm$ 58.97	0.000	แตกต่างกัน
67	Chloroform	69.81 $\pm$ 30.38	24.83 $\pm$ 8.05	47.32 $\pm$ 19.75	0.312	ไม่แตกต่างกัน
68	1,2-Dichloroethane	44.69 $\pm$ 4.99	825.31 $\pm$ 81.77	435.00 $\pm$ 419.83	0.002	แตกต่างกัน



ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
69	1,1,1-Tricloroethane	177.27 $\pm$ 33.02	1188.76 $\pm$ 174.47	683.02 $\pm$ 632.33	0.002	แตกต่างกัน
70	CCl ₄	267.32 $\pm$ 59.80	2229.49 $\pm$ 40.10	1248.40 $\pm$ 825.41	0.000	แตกต่างกัน
71	1,2-Dicloropropane	86.97 $\pm$ 53.25	206.76 $\pm$ 85.77	146.87 $\pm$ 108.07	0.064	ไม่แตกต่างกัน
72	Trichloroethene	499.31 $\pm$ 77.16	1789.95 $\pm$ 1059.07	1144.63 $\pm$ 913.63	0.001	แตกต่างกัน
73	t-1,3-Dicloropropen	ND	424.32 $\pm$ 68.22	212.16 $\pm$ 194.69	0.000	แตกต่างกัน
74	c-1,3-Dicloropropen	8.41 $\pm$ 1.76	167.55 $\pm$ 170.64	87.98 $\pm$ 145.23	0.001	แตกต่างกัน
75	1,1,2-Tricloroethane	ND	ND	ND	-	-
76	1,2-Dibromoethane	ND	ND	ND	-	-
77	Tetrachloroethene	140.06 $\pm$ 136.56	712.98 $\pm$ 655.48	426.52 $\pm$ 548.92	0.003	แตกต่างกัน
78	Chlorobenzene	6.90 $\pm$ 0.07	1473.25 $\pm$ 3.85	740.08 $\pm$ 652.48	0.002	แตกต่างกัน
79	1,3-Diclorobenzene	38.25 $\pm$ 17.64	510.82 $\pm$ 372.61	274.54 $\pm$ 266.36	0.000	แตกต่างกัน
80	1,4-Diclorobenzene	10.65 $\pm$ 6.73	258.00 $\pm$ 179.36	134.32 $\pm$ 107.45	0.000	แตกต่างกัน
81	1,2-Diclorobenzene	63.17 $\pm$ 48.09	152.99 $\pm$ 50.42	108.08 $\pm$ 17.83	0.053	ไม่แตกต่างกัน
82	1,2,4-Triclorobenzene	61.45 $\pm$ 6.67	343.13 $\pm$ 31.83	202.29 $\pm$ 96.77	0.005	แตกต่างกัน
83	Hexcl-1,3-butadien	9.67 $\pm$ 7.42	120.88 $\pm$ 86.62	65.27 $\pm$ 82.75	0.000	แตกต่างกัน
รวมทั้งสิ้น		2281.68 $\pm$ 1052.03	11587.24 $\pm$ 3177.89	6934.51 $\pm$ 5261.37	-	-
Σ83 VOCs		7117.26 $\pm$ 2646.47	27915.93 $\pm$ 6565.95	17516.58 $\pm$ 11943.16	-	-

ND (Not Detected): ตรวจไม่พบสารดังกล่าว; * สารประกอบกลุ่มบีเทค (BTEXs) สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การศึกษานี้พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสาร VOCs ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย มีค่าแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงการแปลผลทางสถิติในตารางที่ 1 โดยชนิดของสาร VOCs ที่ปลดปล่อยออกมามาก จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง เป็นผลมาจากการไม่คัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทางและกลางทางในการนำขยะกลับไปใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดการสะสมของขยะประเภทต่าง ๆ ในสถานที่กำจัดขยะ ถือเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการปลดปล่อยสาร VOCs ชนิดต่าง ๆ นอกจากนั้นความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการปลดปล่อยสาร VOCs เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ขยะมูลฝอยในกองขยะสามารถทำปฏิกิริยากับความร้อนและแสงแดด ทำให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอสู่ชั้นบรรยากาศของสาร VOCs ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ VOCs 10 อันดับแรก ในช่วงเช้า ได้แก่ ไอโซพรีน (Isoprene) รองลงมาคือ เอน-โนเนน (n-Nonane) ฟรีออน-113 (Freon-113) ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethene) โทลูอิน (Toluene) แอลฟาไพเนน (α -Pinene) เมตาและพารา-ไซลีน (m&p-Xylenes) บีตาไพเนน (β -Pinene) เอน-อันเดเคน (n-Undecane) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) (983.29 $\pm$ 396.81, 779.81 $\pm$ 92.04, 651.70 $\pm$ 549.05, 499.31 $\pm$ 77.16, 490.69 $\pm$ 29.67, 415.41 $\pm$ 55.26, 400.90 $\pm$ 6.75, 346.98 $\pm$ 85.94, 334.24 $\pm$ 306.43 และ 267.32 $\pm$ 59.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) และช่วงบ่าย ได้แก่ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ไตรคลอโรเอทีลีน เอน-โนเนน แอลฟาไพเนน คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) ไอโซพรีน 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Tricloroethane) ฟรีออน-113 และ 2-เมทิล-1-เพนเทน (2-me-1-Pentene) (2261.77 $\pm$ 318.82, 2229.49 $\pm$ 40.10, 1789.95 $\pm$ 1059.07, 1679.63 $\pm$ 114.63, 1645.75 $\pm$ 77.45, 1473.25 $\pm$ 3.85, 1287.15 $\pm$ 331.78, 1188.76 $\pm$ 174.47, 1156.86 $\pm$ 108.19 และ 1130.22 $\pm$ 123.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ซึ่งสาร VOCs ข้างต้น มีความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงบ่ายมากกว่าช่วงเช้าทุกชนิด จึงแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในด้านของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถส่งผลต่อการปลดปล่อยสาร VOCs ส่วนใหญ่ได้

นอกจากนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 5 อันดับแรก ที่ตรวจวัดได้จากบริเวณเทกองขยะกลางแจ้ง (S1-S5) เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอน-โนเนน ไตรคลอโรเอทีลีน และไอโซพรีน



(1376.23±1219.09, 1248.40±825.41, 1229.72±424.29, 1144.63±913.63 และ 1135.22±449.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)

อีกทั้งพบความเข้มข้นของสารกลุ่มปิเทคในแต่ละบริเวณที่เก็บตัวอย่างทุกชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยของโพลูอินมากที่สุด รองลงมาคือ เมตาและพารา-ไซลีน เบนซีน เอทิลเบนซีน สไตรีน ออร์โธ-ไซลีน ตามลำดับ ปริมาณของสารแต่ละชนิดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้น เป็นผลมาจากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในบริเวณเก็บตัวอย่างที่เป็นแหล่งปลดปล่อยสาร VOCs โดยพบขยะอินทรีย์ พลาสติก ยาง หนัง และกระป๋องใส่สีจำนวนมาก ถือเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารโพลูอินและไซลีน จึงทำให้ตรวจพบความเข้มข้นมาก ส่วนสารเบนซีน และเอทิลเบนซีน ที่พบความเข้มข้นน้อยกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้ส่วนใหญ่พบในการเผาไหม้จากธรรมชาติและ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจปนเปื้อนมากับขยะได้น้อย จึงทำให้พบความเข้มข้นของสารเบนซีนและเอทิลเบนซีนน้อยกว่าสารโพลูอิน เช่นเดียวกับสารสไตรีนที่พบความเข้มข้นน้อย เนื่องจากสารสไตรีนใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และพบในขยะแผงวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นขยะมูลฝอยที่พบจำนวนน้อยมากในบริเวณเก็บตัวอย่าง

การเปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐาน VOCs กับค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน VOCs ในบรรยากาศในเวลา 1 ปี และ 24 ชั่วโมง [14] ยกเว้น เบนซีน 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน และ 1,3-บิวทาไดอิน พบค่าเกินมาตรฐานกำหนด จึงต้องมีมาตรการควบคุมและการป้องกัน เพื่อไม่ให้สารมลพิษดังกล่าวสะสมในบรรยากาศจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศ

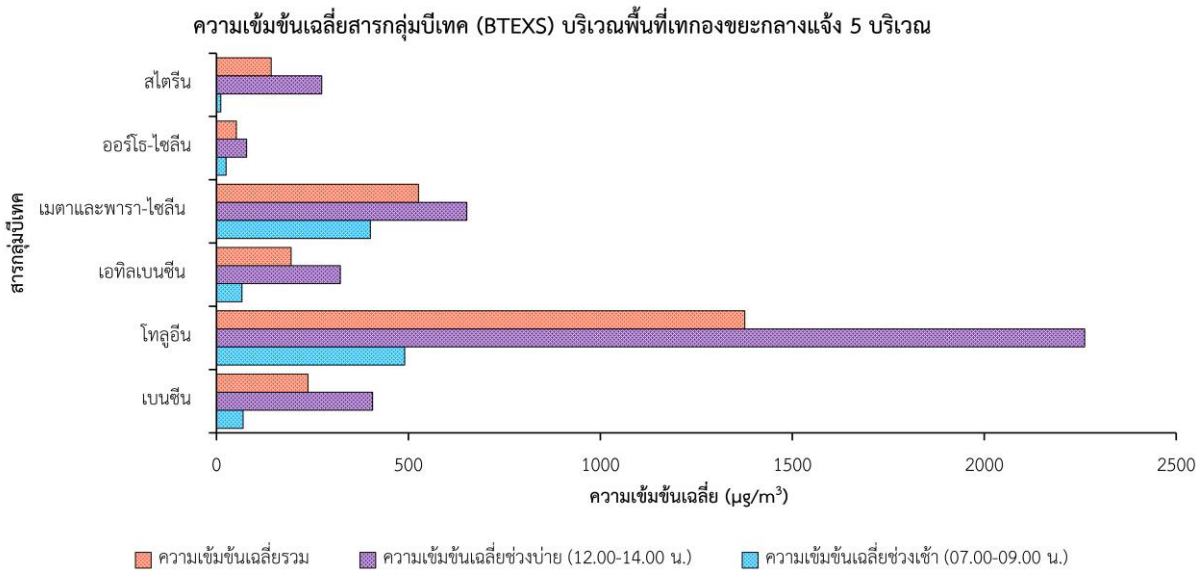
ลำดับ	ชนิดของ VOCs	ค่ามาตรฐานของสาร VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบ $X \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	แปลผล (ในเวลา 24 ชั่วโมง)
		ในเวลา 1 ปี ⁽¹⁾	ในเวลา 24 ชั่วโมง ⁽²⁾		
1	เบนซีน	ไม่เกิน 1.7	ไม่เกิน 7.6	238.25±175.31	เกินค่ามาตรฐาน
2	1,2-ไดคลอโรอีเทน	ไม่เกิน 0.4	ไม่เกิน 48	435.00±419.83	เกินค่ามาตรฐาน
3	ไตรคลอโรเอทิลีน	ไม่เกิน 23	ไม่เกิน 130	1144.63±913.63	เกินค่ามาตรฐาน
4	1,2-ไดคลอโรโพรเพน	ไม่เกิน 4	ไม่เกิน 82	146.87±108.07	เกินค่ามาตรฐาน
5	เตตระคลอโรเอทิลีน	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	426.52±548.92	เกินค่ามาตรฐาน
6	1,3-บิวทาไดอิน	ไม่เกิน 0.33	ไม่เกิน 5.7	38.36±35.95	เกินค่ามาตรฐาน

(1) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานค่า VOCs ในบรรยากาศในเวลา 1 ปี [15];

(2) ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง [16]

ตอนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสมลพิษปิเทค (BTEXs) ผ่านเส้นทางการสัมผัสผ่านการหายใจ

ความเข้มข้นของสารประกอบกลุ่มปิเทค ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เมตาและพารา-ไซลีน (m&p-Xylenes) ออร์โธ-ไซลีน (o-Xylene) และสไตรีน (Styrene) สามารถปลดปล่อยได้จากขยะประเภทพลาสติก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน สารเคมีที่ปนเปื้อนมากับขยะที่ย่อยสลายได้ อีกทั้งปลดปล่อยได้จากเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์ทั้งประเภทเบนซีนและดีเซล อาทิ รถยนต์และรถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เก็บขนขยะ รถบดอัดขยะ เครื่องจักรร่อนขยะสำหรับการแปรรูปเป็นพลังงาน และเครื่องคัดแยกขยะด้วยสายพาน หรือจากกระบวนการเผาไหม้แบบเปิดในบริเวณพื้นที่โดยรอบพื้นที่กองขยะ เป็นต้น และนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพการสัมผัสผ่านการหายใจของสารทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่เกิดมะเร็ง พบความเสี่ยงอันตรายที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสสารปิเทค เรียงลำดับความเข้มข้นเฉลี่ยจากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอิน เมตาและพารา-ไซลีน เบนซีน เอทิลเบนซีน สไตรีน ออร์โธ-ไซลีน ตามลำดับ (1376.23±1219.09, 526.51±98.49, 238.25±175.31, 194.69±189.65, 142.87±131.28, 52.09±2.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่มบีเทคที่ตรวจพบบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment) ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมค่ามาตรฐานและเกณฑ์ระดับความเข้มข้นของ VOCs ในบรรยากาศแต่ละชนิด โดยพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในบรรยากาศทั่วไปของสาร VOCs ในเวลา 24 ชั่วโมง และ 1 ปี ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไข Unit Risk ที่ 10^{-6} หรือ 10^{-5} เป็นค่า Factor สำหรับกำหนดค่ามาตรฐาน ความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งเทียบกับค่ามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการได้รับสาร VOCs และความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง

VOCs	ปริมาณที่ได้รับ (mg/m ³ ·day ⁻¹) (CDI)		ความเสี่ยงทางสุขภาพ (HQ)		ค่าที่ยอมรับได้
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง	
ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากชนิดสารก่อมะเร็ง (Cancer Risk)					
· เบนซีน	1.37x10 ⁻⁴	1.66x10 ⁻⁴	3.74x10 ⁻⁵	4.53x10 ⁻⁵	อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากชนิดสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer Risk)					
· เบนซีน	6.88x10 ⁻³	8.25x10 ⁻³	1.72	2.06	มีอันตรายระดับปานกลาง
· โทลูอิน	5.0x10 ⁻²	6.02x10 ⁻²	0.62	0.75	มีอันตรายระดับต่ำ
· เอทิลเบนซีน	5.60x10 ⁻³	2.75x10 ⁻³	0.05	0.27	มีอันตรายระดับต่ำ
· เมตาและพารา-ไซลีน	1.52x10 ⁻²	6.73x10 ⁻²	0.07	0.33	มีอันตรายระดับต่ำ
· ออร์โธ-ไซลีน	1.50x10 ⁻³	1.80x10 ⁻³	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
· สไตรีน	4.10x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
Hazard index (HI=ΣHQ)	-		2.46	3.41	เกินค่าที่ยอมรับได้

จากตารางที่ 3 แสดงค่าปริมาณการได้รับ VOCs และความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง พบว่าสารก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน และสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โธ-ไซลีน และสไตรีน ทั้งนี้เบนซีนสามารถส่งผลกระทบต่อทั้งการก่อมะเร็งและผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ตัวอย่างผลกระทบที่ไม่เกี่ยวข้องกับการก่อมะเร็ง เช่น อาการที่เกิดขึ้นทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น ระคายเคืองทางเดินหายใจ วิงเวียนศีรษะ และเกิดความผิดปกติที่อวัยวะต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) ของเบนซีนในเพศชายและเพศหญิงคำนวณได้ 3.74×10^{-5} และ 4.53×10^{-5} ตามลำดับ โดยมีค่าไม่เกิน 10^{-6} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แม้จะพบในปริมาณน้อยแต่ควรนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นสารประกอบหรือแก๊สที่แพร่กระจายได้ง่าย มักมีการสะสมในสิ่งแวดล้อม และสารบางชนิดตกค้างยาวนานและสลายตัวได้ยากในสภาวะปกติ รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นพิษ โดยไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อแขวนลอยหรือสะสมในบรรยากาศในระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลให้เกิดมลพิษทางด้านอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน หากไม่มีกระบวนการจัดการที่ถูกต้อง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสาร VOCs ที่พบมาก ได้แก่ กลุ่มสารประกอบฮาโลเจนและสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน โดยสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เช่น ขยะพลาสติกที่มีปิโตรเลียมเป็นองค์ประกอบ และตัวทำละลายที่เป็นสารตั้งต้นและสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตพลาสติก รวมถึงอาจเกิดจากขยะจำพวกสเปรย์ ภาชนะที่บรรจุสีหรือน้ำมัน นอกจากนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยในบรรยากาศของสารประกอบฮาโลเจน ในการศึกษาพบค่าสูงกว่าการศึกษาในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ และการศึกษาบริเวณหลุมฝังกลบขยะ โดยสารประกอบฮาโลเจนในสถานที่กำจัดขยะส่วนใหญ่เกิดการปลดปล่อยจากปฏิกิริยาเคมี เช่นเดียวกับการย่อยสลายทางชีวภาพ สารประกอบคลอรีนบางชนิดสามารถถูกปลดปล่อยจากการสลายตัวของตัวทำละลายฮาโลเจนและโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) รวมถึงจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ VOCs ที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบจะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมหรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือกระตุ้นให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิตได้ VOCs ในกลุ่มสารประกอบฮาโลเจนที่มีความสำคัญและพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม คือ ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene หรือ Trichloroethene) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ระบุว่าสารไตรคลอโรเอทิลีน เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองกลุ่ม 2A (Suspected Human Carcinogen) [17-19] ใช้เป็นตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์ซักล้างในครัวเรือน โดยเฉพาะน้ำยาซักแห้ง สบู่ น้ำยาล้างสี น้ำยาละลายคราบไขมันและน้ำมัน หรืออาจเกิดการปนเปื้อนมากับเศษอาหารหรือขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ได้ง่ายรวมถึงกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ไม่ดีเท่าที่ควร อาจขาดความระมัดระวังในการคัดแยกขยะ อาจทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการปนเปื้อนกับ VOCs ชนิดอื่น ๆ ในภาชนะหรือถุงขยะ

ผลการประเมินความเสี่ยงนี้แสดงให้เห็นว่า หากได้รับสัมผัสสารเบนซีนผ่านการหายใจตลอดอายุขัยหรือในระยะเวลาสั้นในสถานที่นั้น ๆ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (Acute Effect) ได้แก่ ระคายเคืองผิวหนังและเยื่อเมือก เกิดอาการเมื่อยล้าเวียนศีรษะ แสบจมูก อาเจียน อากาศหยาหรือช้ำเกร็ง และแบบเรื้อรัง (Chronic Effect) ได้แก่ มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดมัยอีลอยด์ (Acute Myeloid Leukemia: AML) และทำลายไขกระดูก เม็ดเลือดแดงแตก ส่งผลให้โลหิตจาง รบกวนการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง และอาจเกิดการส่งเสริมการเกิดเนื้องอกบริเวณเนื้อเยื่อปอด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนติบอดีและการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมอีกด้วย [20] และจากการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (Hazard Index: HI) เป็นดัชนีความเสี่ยงอันตรายของสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งพบว่าผลรวมของสารมลพิษทั้งหมดมีค่าเกินกว่า 1 แสดงถึงผู้ได้รับสารมลพิษนี้และผู้ที่เกี่ยวข้องควรพิจารณาแนวทางการป้องกันที่เข้มงวดยิ่งขึ้นต่อไป เพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพให้น้อยที่สุด

การตรวจสอบการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs ที่ตรวจพบ พบองค์ประกอบสารที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบในทุกจุดที่เก็บตัวอย่าง ทั้งในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) มากที่สุดร้อยละ 45 ซึ่งมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในการเกิดมะเร็งสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 22.5 สารประกอบแอลเคนร้อยละ 18.5 สารประกอบแอลคีนร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการแปรผันระดับความเข้มข้นของ VOCs โดยเฉพาะความเร็วลม และอุณหภูมิบรรยากาศ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วลมต่ำ ส่งผลให้การระเหยเป็นไอของ VOCs จากบริเวณพื้นที่กองขยะเกิดได้รวดเร็วและพบความเข้มข้นสูงขึ้น การสนับสนุนแหล่งกำเนิดหลักของ VOCs ในระหว่างการศึกษา ได้แก่

ชนิดและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ตัวทำลายลายในขยะพลาสติก รวมถึงกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยที่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศ ได้แก่ การขนถ่าย การบดอัดที่ก่อให้เกิดการฉีกขาดของถุงขยะ อีกทั้งในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น สามารถส่งผลให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้มากขึ้นตามไปด้วย

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส VOCs กลุ่มบีเทค ประกอบด้วย โทลูอิน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โธ-ไซลีน และสไตรีน สอดคล้องกับ Khademi [21] ที่พบปริมาณสารโพลีไซลีน ไซลีน เบนซีน และเอทิลเบนซีน ปลดปล่อยจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับต่ำและไม่มีความเสี่ยง ยกเว้นเบนซีน ที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพในระดับปานกลาง ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่พบในเพศชายและเพศหญิงคือ 2.46 และ 3.41 ตามลำดับ ซึ่งมีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอยู่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม VOCs ในบรรยากาศที่ตรวจพบในพื้นที่ ไม่ส่งผลกระทบต่อเพียงคนงานในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ แต่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อความกังวลด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของประชาชนโดยรอบ ทั้งชุมชนหรือพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้นทุกภาคส่วนควรตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการรับสัมผัส VOCs จากกระบวนการกำจัดขยะ และหาแนวทางป้องกันหรือวิธีการกำจัดที่เหมาะสม เพื่อลดการเกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนในระยะยาว

จึงเห็นได้ว่าสาร VOCs ในบรรยากาศที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี อาจส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณพื้นที่กำจัดขยะ โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- 1) ประชาชนควรมีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง เพื่อลดปริมาณและการตกค้างของขยะมูลฝอยในกระบวนการกำจัดขยะปลายทาง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการปลดปล่อยสาร VOCs
- 2) ประชาชนหรือผู้ประกอบการที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะมูลฝอย จำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อความปลอดภัยตลอดเวลา รวมถึงเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยควรกำหนดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง อีกทั้งกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม
- 3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนควรนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน อ้างอิงประกอบการจัดทำนโยบาย แผน แนวปฏิบัติที่ดี หรือมาตรการควบคุมการเฝ้าระวังปัญหามลพิษทางอากาศจากสาร VOCs ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบด้านสุขภาพของประชาชนที่อาจเกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสาร VOCs ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีการศึกษา 2566 และขอขอบคุณคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ห้องปฏิบัติการวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 13 มี.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/29509>
2. Chiemchaisri C, Juanga JP, Visvanathan C. Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. Environ Monit Assess 2007;135:13-20.



3. Schultz PW, Shriver C, Tabanico JJ, Khazian AM. Implicit connections with nature. *J Environ Psychol* 2004;24(1):31-42.
4. Deviatkin I, Horttanainen M, Havukainen J. *Encyclopedia of Sustainable Management*. Switzerland: Springer; 2021.
5. Andreae MO, Crutzen PJ. Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science* 1997;276(5315):1052-8.
6. กิตติ ชยางกุล. ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย: ศึกษากรณีการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอลำลูกหลวง จังหวัดปทุมธานี. *EAU Heritage* 2555;2(1):154-65.
7. US Environmental Protection Agency. Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual Part A. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response; 1989.
8. Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Boocho M, Chomsurin C, Urase T, Takemura J. Evaluation of volatile organic compounds emission from solid waste disposal site in Thailand. In: proceedings of 12th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere; November 13, 2006; Peking University, China. Beijing: Peking University Publisher; 2006.
9. ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
10. วิชชากร จารุศิริ. การจัดการของเสียอันตรายและกากอุตสาหกรรม (Hazardous and Industrial Waste Management). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อภัยพิบัติ เซอร์วิส; 2561.
11. Roberts SM, Teaf CM, Bean JA. Hazardous waste incineration: Evaluating the human health and environmental risks. Florida: CRC Press; 1998.
12. Bortey-Sam N, Nakayama SM, Ikenaka Y, Akoto O, Baidoo E, Yohannes YB, Mizukawa H, Ishizuka M. Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicol Environ Saf* 2015;111:160-7.
13. Gutiérrez AJ, Rubio C, Moreno IM, González AG, Gonzalez-Weller D, Bencharki N, Hardisson A, Revert C. Estimation of dietary intake and target hazard quotients for metals by consumption of wines from the Canary Islands. *Food Chem Toxicol* 2017;108:10-8.
14. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือวิชาการ เรื่อง สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์; 2555.
15. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี กรมควบคุมมลพิษ [อินเทอร์เน็ต]. 2550 [เข้าถึงเมื่อ 13 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/2810>
16. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง กรมควบคุมมลพิษ [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [เข้าถึงเมื่อ 13 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/4134>
17. Ighodaro A, Anegebe B, Okuo JM. Emission levels of volatile organic compounds from open dumpsite in Benin Metropolis. *NJAS* 2015;33:253-64.



18. Wu C, Liu J, Zhao P, Li W, Yan L, Piringer M, Schauburger G. Evaluation of the chemical composition and correlation between the calculated and measured odor concentration of odorous gases from a landfill in Beijing, China. *Atmos Environ* 2017;164:337-47.
19. Chiriac R, Carre J, Perrodin Y, Fine L, Letoffe JM. Characterization of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste. *J Hazard Mater* 2007;149(2):249-63.
20. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. เคมีบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552.
21. Khademi F, Samaei MR, Shahsavani A, Azizi K, Mohammadpour A, Derakhshan Z, Giannakis S, Rodriguez-Chueca J, Bilal M. Investigation of the presence volatile organic compounds (BTEX) in the ambient air and biogases produced by a shiraz landfill in southern Iran. *Sustainability* 2022;14(2):1-16.



ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในหลอดทดลองของสารสกัดใบกระท่อม

In Vitro Antioxidant and Cytotoxic Activities of the *Mitragyna speciosa* Kort. leaf extract.

ชวณ พุ่มพงษ์ และ ชยานนท์ ชาวนวฤตกุล*

หลักสูตรการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี กรุงเทพมหานคร 10210

Chawapon Phoomphong and Chayanon Chaowuttikul*

Thai Traditional Medicine Program, Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210

*Corresponding author: chayanon.cha@dpu.ac.th

Received: 7 June 2023/ Revised: 3 August 2023/ Accepted: 16 August 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในหลอดทดลองของสารสกัดใบกระท่อม โดยการตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ Metal chelating assay รวมถึงการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในมนุษย์ ซึ่งได้แก่ เซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT29) เซลล์มะเร็งช่องปาก (KB) เซลล์มะเร็งเต้านม (MCF7) และเซลล์มะเร็งตับ (HepG2) ด้วยวิธี MTT assay ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี DPPH assay มีค่า SC_{50} เท่ากับ 43 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และวิธี Metal chelating assay มีค่า MC_{50} มากกว่า 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดใบกระท่อมก่อให้เกิดความเป็นพิษสูงสุดต่อเซลล์ HepG2 ($IC_{50} = 593$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) รองลงมาคือ เซลล์ KB ($IC_{50} = 1,178$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร), เซลล์ MCF7 ($IC_{50} = 1,412$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และเซลล์ HT29 ($IC_{50} = 2,343$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบกระท่อมมีศักยภาพเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติและสามารถนำไปพัฒนาเป็นยารักษาโรคมะเร็ง อีกทั้งเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนการใช้พืชกระท่อมในภูมิปัญญาไทยสำหรับการรักษาโรคมะเร็ง

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ความเป็นพิษต่อเซลล์ การศึกษาในหลอดทดลอง พืชกระท่อม

Abstract

This research aimed to study *in vitro* antioxidant and cytotoxic activities of *Mitragyna speciosa* Kort. leaf extract (Kratom leaves extract). The antioxidant properties were determined using DPPH assay and Metal chelating assay. The Kratom leaves extract was also tested for *in vitro* cytotoxic potential against various human cancer cell lines including HT29, KB, MCF7 and HepG2 by MTT assay. The results showed that Kratom leaves extract at various concentrations of antioxidant activity were statistically significant differences ($p < 0.05$). It could scavenge DPPH radical ($SC_{50} = 43$ $\mu\text{g/ml}$) and exert a metal chelating activity ($MC_{50} > 500$ $\mu\text{g/ml}$). The Kratom leaves extract showed cytotoxic potential against various human cancer cell lines including HT29, KB, MCF7 and HepG2 by MTT assay. The results showed that Kratom leaves extract at various concentrations of cytotoxic potential were statistically significant differences ($p < 0.05$). The results showed that Kratom leaves extract at various concentrations of cytotoxic potential were statistically significant differences ($p < 0.05$). It could scavenge DPPH radical ($SC_{50} = 43$ $\mu\text{g/ml}$) and exert a metal chelating activity ($MC_{50} > 500$ $\mu\text{g/ml}$).

µg/ml). The cytotoxicity to human cancer cell lines showed the highest cytotoxic activity against HepG2 (IC_{50} = 593 µg/ml) followed by KB (IC_{50} = 1,178 µg/ml), MCF7 (IC_{50} = 1,412 µg/ml) and HT29 (IC_{50} = 2,343 µg/ml) respectively. Based on this research, Kratom leaf extract has the potential to be a natural antioxidant and can be developed into a therapeutic agent for treating cancer. In addition, it provides scientific evidence to support the use of Kratom in Thai wisdom for cancer treatments.

Keywords: Antioxidant, Cytotoxicity, *In vitro*, *Mitragyna speciosa* Korth. (Kratom)

บทนำ

ในอดีตพืชกระท่อมจัดอยู่ในพืชเสพติด (Narcotic Plants) ประเภทที่ 5 ตามพระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ พ.ศ. 2522 ดังนั้นการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การศึกษาวิจัย และการครอบครอง หากยังไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ถือว่าผู้นั้นมีความผิดตามกฎหมายต้องระวางโทษ ต่อมาได้มีการประกาศพระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2564 มีผลทำให้พืชกระท่อมถูกปลดออกจากยาเสพติดให้โทษ ประเภทที่ 5 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 24 สิงหาคม 2564 ที่ผ่านมา ทำให้ประชาชนสามารถปลูก ครอบครอง และจำหน่าย หรือนำมาบริโภคได้อย่างเสรีไม่ผิดกฎหมาย รวมถึงสามารถนำมาศึกษาวิจัยในคุณค่าของพืชกระท่อม ได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น

พืชกระท่อม (*Mitragyna speciosa* Kort., Kratom) เป็นพืชพื้นถิ่นที่พบมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณเขตภาคใต้ของประเทศไทย สำหรับชาวบ้านภาคใต้ของประเทศไทยถือว่าพืชกระท่อมมีความผูกพันทางวัฒนธรรมท้องถิ่นมาช้านาน จึงรู้จักพืชชนิดนี้เป็นอย่างดี มีรายงานและการให้สัมภาษณ์จากชาวบ้านบอกถึงประโยชน์จากการใช้พืชกระท่อม ได้แก่ ช่วยให้งานได้มากขึ้น ไม่เกียจคร้านในการงาน แก้ปวดเมื่อย แก้ไอ แก้ไข้ ขับพยาธิ รักษาโรคมะเร็ง เบาหวาน เริม งูสวัด โรคผิวหนัง แก้แผลอักเสบ แก้ท้องร่วงและลดความดันโลหิตสูง เป็นต้น โดยการฉีกก้านใบทิ้งแล้วขบเคี้ยว ต้มดื่ม บดผงหรืออาจผสมเข้ากับสมุนไพรอื่น ๆ เป็นตำรับยาเฉพาะ [1] ซึ่งตำราเภสัชกรรมไทยได้ระบุสยาของใบกระท่อมว่ามีรสขมฝื่อน (ฝาด) เมา มีฤทธิ์ทางสมาน แก้ปวดท้อง แก้บิด ปวดเบ่ง ท้องร่วงลงแดง แก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย ถ้ารับประทานมากอาจทำให้เมา อาเจียน คอแห้งได้ นอกจากนี้คัมภีร์แพทย์ไทยแผนโบราณเล่ม 1 และเล่ม 3 ของอำพันกิตติขจร (ขุนโสภิตบรรณลักษณ์) [2, 3] กล่าวถึงพืชกระท่อมว่าเป็นส่วนประกอบหนึ่งในตำรับยา ได้แก่ ยาประสะใบกระท่อม ยาหนุมานจองถนนปิดมหาสมุทร ยาทำให้อดฝัน ยาแก้บิดลงเป็นเลือด ยาแก้บิดหัวลูก เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้นทำให้เห็นว่าพืชกระท่อมถูกนำมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณตามภูมิปัญญาบรรพบุรุษที่ได้มีการลองผิดลองถูกจนสามารถสรุปและเขียนเป็นตำรายาไทยสืบทอดกันมาจนถึงปัจจุบัน สำหรับในด้านวิทยาศาสตร์มีหลักฐานงานวิจัยพบว่าสารสกัดกระท่อมมีฤทธิ์ต้านจุลชีพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [4] ฤทธิ์ต้านการอักเสบและฤทธิ์แก้ปวด [5, 6] ซึ่งฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวอาจเป็นเพราะในใบกระท่อมมีสารฟลักเคมีหลากหลายกลุ่ม เช่น alkaloids, flavonoids, triterpenes, steroids, saponins และ tanins [7, 8] สำหรับการแยกสารบริสุทธิ์ของสารสกัดใบกระท่อมพบสารไมทราไจนีน (mitragynine) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม indole alkaloids เป็นสารกลุ่มใหญ่และเป็นสารสำคัญหลัก [9] และมีศักยภาพเป็นสารต้านมะเร็ง [10]

สารไมทราไจนีน ในกลุ่ม indole alkaloids ของใบกระท่อมนั้น อาจมีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจของนักวิจัยหลายท่านที่พยายามค้นหาพืชสมุนไพรต่าง ๆ ตามธรรมชาติ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นยาต้านมะเร็งไว้เป็นทางเลือกหนึ่งของการรักษาโรคมะเร็งและลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้ายาเคมีบำบัดจากต่างประเทศ ตามรายงานทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2564 ของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ กระทรวงสาธารณสุข ได้จัดกลุ่มโรคมะเร็งที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกของเพศชาย ได้แก่ โรคมะเร็งตับและท่อน้ำดี โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่และลำไส้ตรง โรคมะเร็งปอดและหลอดลม โรคมะเร็งในช่องปาก และโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก สำหรับเพศหญิง ได้แก่ โรคมะเร็งเต้านม โรคมะเร็งปากมดลูก โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่และลำไส้ตรง โรคมะเร็งปอดและหลอดลม และโรคมะเร็งตับและท่อน้ำดี [11] จากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์การยับยั้งหรือความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งของสารสกัดใบกระท่อมค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเซลล์มะเร็งเต้านม มะเร็งตับ มะเร็ง



ลำไส้ใหญ่และมะเร็งช่องปาก ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์มะเร็งในมนุษย์ที่ใช้เป็นโมเดลในการศึกษาโรคมะเร็งที่สำคัญข้างต้น ทำให้ขาดข้อมูลหลักฐานทางวิชาการที่จะสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากพืชกระท่อมในการรักษาโรคมะเร็ง ตามวิถีชีวิตชาวบ้านและหมอพื้นบ้านไทย

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดใบกระท่อมในเซลล์มะเร็ง เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปสู่การต่อยอดความรู้ในการใช้ประโยชน์ทางเภสัชวิทยาและการสนับสนุนองค์ความรู้ทางภูมิปัญญาไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกระท่อม
2. เพื่อศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งของสารสกัดใบกระท่อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดหยาบ

นำใบกระท่อมสายพันธุ์ก้านแดงที่ไม่แก่ไม่อ่อน (ใบเพสลาด) เก็บจากหมอพื้นบ้าน หมู่ที่ 1 บ้านทุ่งโพธิ์ ตำบลพุนพิน อำเภอบ้านพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565 มาคัดแยกสิ่งปลอมปน ทำความสะอาดและผึ่งให้แห้งแล้วนำใบกระท่อม จำนวน 250 กรัม มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วหมกด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล 1,500 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman No.1) และนำสารไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) ซึ่งหาน้ำหนักของส่วนสารสกัดหยาบ (% Yield) เก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 Free radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกระท่อม ด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Boonpisuttinant และคณะ [12] เตรียมสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้น 0.5-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ละลายใน 95% เอทานอล เติมลง 96-well plate ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ตามด้วยสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader การทดลองชุดควบคุมใช้ 95% เอทานอล ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แทนสารสกัด และใช้สารละลาย L-ascorbic acid เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากสมการ

$$\% \text{ DPPH radical scavenging activity} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A_0 หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ของการทดลองชุดควบคุม

A_1 หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ของการทดลองชุดที่เติมสารตัวอย่าง

นำค่าร้อยละของการยับยั้งที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการยับยั้งและความเข้มข้นของสารสกัดใบกระท่อม เพื่อคำนวณค่า SC_{50} คือ ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

2.2 Metal chelating activity

การวิเคราะห์ความสามารถในการจับโลหะของสารสกัดจากธรรมชาติ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Boonpisuttinant และคณะ [12] เตรียมสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้น 0.5-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร



50 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย FeCl_2 เข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลาย Ferrozine เข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใน 1% HCl อย่างละ 50 ไมโครลิตร เติกลงใน 96-well plate เขย่าเพื่อให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader โดยใช้ Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) เป็นสารมาตรฐาน ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะ จากสมการ

$$\% \text{ Metal chelation} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A_0 หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 nm ของการทดลองชุดควบคุม

A_1 หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 nm ของการทดลองชุดที่เติมสารตัวอย่าง

นำค่าร้อยละของการยับยั้งที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการยับยั้งและความเข้มข้นของสารสกัดใบกระพ้อม เพื่อกำหนดค่า MC_{50} คือ ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะได้ร้อยละ 50

3. การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT29) มะเร็งช่องปาก (KB) มะเร็งเต้านม (MCF7) และมะเร็งตับ (HepG2) ด้วยวิธี MTT assay ทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยวิธีการดังนี้

3.1 วิธีการเตรียมสารตัวอย่าง

นำสารสกัดใบกระพ้อม ละลายใน 100% Dimethyl Sulfoxide (DMSO) แล้วเจือจางด้วยอาหาร Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) ที่มี 5% Fetal Bovine Serum (FBS) ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร กรองด้วย Syringe Filter ขนาด 0.22 ไมโครเมตร จากนั้นปรับเจือจางสารสกัดใบกระพ้อมให้มีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 5,000, 2,500, 1,250, 625 และ 312.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และใช้ความเข้มข้น 1% DMSO สำหรับใช้ในการทดสอบ

3.2 วิธีการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

เลี้ยงเซลล์จำนวน 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ใน 96-well plate ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มเซลล์ในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศที่ควบคุมความเข้มข้น 5% คาร์บอนไดออกไซด์ นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาเปิดอาหารเลี้ยงเซลล์ในแต่ละหลุมทิ้งและเติมสารสกัดใบกระพ้อมที่ความเข้มข้น 5,000, 2,500, 1,250, 625 และ 312.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในหลุมหลุมละ 100 ไมโครลิตร บ่มในตู้บ่มเซลล์นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาเติมสารละลาย 3, (4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) ความเข้มข้น 5,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 10 ไมโครลิตรต่อหลุม นำไปบ่มในตู้บ่มเซลล์นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นเปิดสารละลาย MTT ทิ้ง และเติมสารที่ละลายผลึก Formazan [100% DMSO : 10% Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)] อัตราส่วน 9:1 จำนวน 100 ไมโครลิตรต่อหลุม ตั้งโปรแกรมเครื่อง Microplate reader ให้เขย่าก่อนวัดค่าดูดกลืนแสง 5 นาที และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร จากนั้นจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ cytotoxicity จากสมการ

$$\% \text{ cytotoxicity} = [(A - B) / A] \times 100$$

A หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 nm ของการทดลองชุดควบคุม (หลุมที่มีเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยง)

B หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 nm ของการทดลองชุดที่เติมสารตัวอย่าง

โดย A และ B จะต้องนำค่าการดูดกลืนแสงของ Blank (100% DMSO : 10% SDS) มาหักลบออกก่อน จึงนำไปคำนวณจากสูตรข้างต้น และหาค่าความเข้มข้นที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตที่ร้อยละ 50 (IC_{50})



การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองทั้งหมดทำ 3 ซ้ำ (Triplicate) แสดงผลการทดลองในรูป ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics (version 25.0)

ผลการวิจัย

ผลจากการสกัดใบกระท่อม ด้วยวิธีการหมักและระเหยแห้ง มีลักษณะเป็นผงสีเขียวเข้ม ได้ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของพืชสด (% yield) ร้อยละ 5.85 จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (SC_{50}) เท่ากับ 43 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารมาตรฐาน L-ascorbic acid มีค่า SC_{50} เท่ากับ 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Metal chelating activity พบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะได้ร้อยละ 50 (MC_{50}) มากกว่า 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารมาตรฐาน EDTA มีค่า MC_{50} เท่ากับ 320 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบกระท่อม ด้วยวิธี DPPH assay และ Metal chelating activity (n=3)

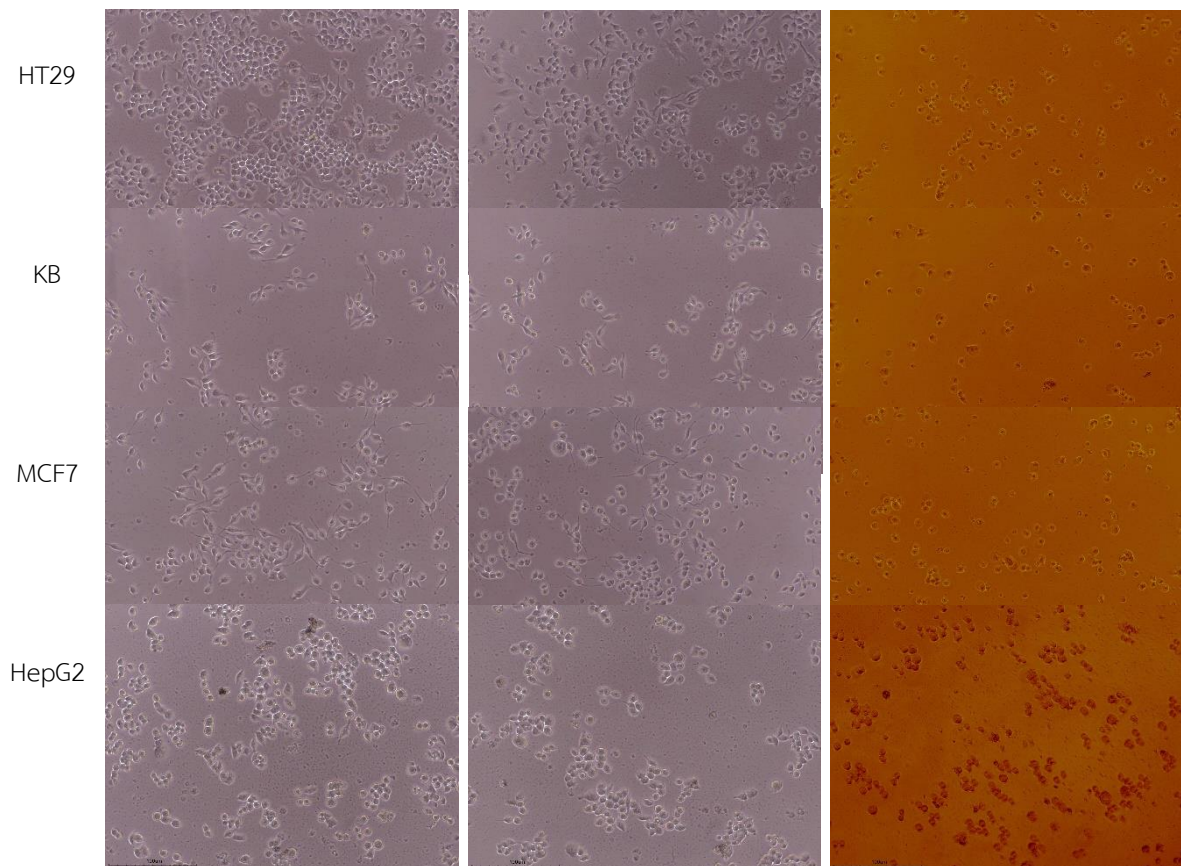
ความเข้มข้นของ สารสกัดใบกระท่อม ($\mu\text{g/ml}$)	ร้อยละการต้านอนุมูลของสารสกัดใบกระท่อม	
	DPPH assay	Metal chelating activity
0.5	22.207 ± 0.152^a	8.767 ± 0.323^a
5	27.817 ± 0.286^b	14.800 ± 0.235^b
50	54.720 ± 0.405^c	17.463 ± 0.850^c
500	95.040 ± 0.135^d	23.613 ± 0.702^d

*ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่า SC_{50} ด้วยวิธี DPPH assay และ MC_{50} ด้วยวิธี Metal chelating activity (n=3)

สารทดสอบ	SC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)	MC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)
สารสกัดใบกระท่อม	43 ± 0.002	>500
L-ascorbic acid	30 ± 0.001	-
EDTA	-	320 ± 0.000

จากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay พบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งทั้ง 4 ชนิด คือ มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT29) มะเร็งช่องปาก (KB) มะเร็งเต้านม (MCF7) และมะเร็งตับ (HepG2) โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2,343, 1,178, 1,412 และ 593 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าภาพจากความเข้มข้นสูงสุดของสารสกัดใบกระท่อมที่ 5,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีการรอดชีวิตของเซลล์มะเร็งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับภาพกลุ่มควบคุมที่ 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งชนิดต่าง ๆ ที่เจริญใน DMEM, DMEM+1% DMSO และ DMEM+1% DMSO+ สารสกัดใบกระเทียม 5,000 µg/ml กำลังขยาย 200 เท่า

ตารางที่ 3 ค่า IC_{50} ของสารสกัดใบกระเทียมต่อเซลล์มะเร็งทั้ง 4 ชนิด

สารทดสอบ	ชนิดของเซลล์มะเร็ง	IC_{50} (µg/ml)
สารสกัดใบกระเทียม	HT29	2,343
	KB	1,178
	MCF7	1,412
	HepG2	593

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวสูง และนิยมใช้ในการทดสอบหากสารสกัดใบกระเทียมมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จะให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ DPPH ส่งผลให้โครงสร้างของอนุมูลอิสระ DPPH เปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีม่วงของอนุมูลอิสระ DPPH เป็นสีเหลือง ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าสารสกัดใบกระเทียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่า SC_{50} ใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน L-ascorbic acid ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Parthasarathy และคณะ [4] พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay มีค่า IC_{50} ของสารสกัดน้ำ สารสกัด



เมทานอล และสารสกัดแอลกอฮอล์จากใบกระท่อม เท่ากับ 213.4, 37.08 และ 104.81 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีรายงานวิจัยของ Yuniarti และคณะ [8] ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากใบกระท่อม ด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดใบกระท่อม มีค่า IC_{50} เท่ากับ 38.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Metal chelating activity เป็นการวิเคราะห์ความสามารถยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะของสารสกัดจากธรรมชาติต่อปฏิกิริยาของสาร $FeCl_2$ กับ Ferrozine หากสารสกัดใบกระท่อมสามารถยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะได้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างปฏิกิริยาของสีจางลง ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการจับโลหะของสารสกัดใบกระท่อมเมื่อมีระดับความเข้มข้นของสารสกัดสูงขึ้น ความสามารถยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะจะแปรผันตามเช่นกัน ซึ่งยังไม่พบรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ในฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Metal chelating activity ของสารสกัดใบกระท่อม

อย่างไรก็ตามการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งวิธี DPPH assay และ Metal chelating activity ในด้านประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพฤกษเคมีในใบกระท่อมที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน โดยสารสกัดใบกระท่อมเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี เมื่อเทียบกับค่าระดับประสิทธิภาพของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง [13] จากการกล่าวข้างต้น ในใบกระท่อมมีสารประกอบฟีนอลได้แก่ flavonoids และ tanins ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาของ Pengpeng Zhang และคณะ [14] พบปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม ในสารสกัดเอทานอลจากใบกระท่อม เท่ากับ 24.62 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และอาจกล่าวได้ว่าพืชสมุนไพรที่พบสารประกอบฟีนอลปริมาณมากจะมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี [15] และมีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการจับโลหะ โดยมีรายงานของ Nathan R. Perron และ Julia L. Brumaghim [16] ได้ทบทวนการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารกลุ่มฟีนอลกับการจับโลหะ โดยสารกลุ่มฟีนอลจะเป็นตัวจับไอออนของโลหะได้

การศึกษาการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay เป็นวิธีการตรวจสอบความอยู่รอดของเซลล์หลังจากที่ได้รับตัวอย่างสารสกัด โดยอาศัยหลักการทำงานของเอนไซม์ Succinate dehydrogenase ในไมโทคอนเดรียของเซลล์ที่มีชีวิตจะสามารถเปลี่ยนสาร 3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) ที่มีสีเหลืองให้กลายเป็นผลึก Formazan ที่มีสีม่วง หากสารสกัดใบกระท่อมมีความสามารถเป็นพิษต่อเซลล์ของมะเร็งได้ ทำให้เซลล์มะเร็งตาย จะมีลักษณะใสไม่มีสีหรือทำให้สีม่วงจางลง ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดใบกระท่อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งทั้ง 4 ชนิด คือ มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT29) มะเร็งช่องปาก (KB) มะเร็งเต้านม (MCF7) และมะเร็งตับ (HepG2) จากงานวิจัยที่มีการรายงานก่อนหน้านี้ พบว่าสารพฤกษเคมีที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชกระท่อมมีมากกว่า 40 ชนิด ที่มีโครงสร้างเป็น alkaloids ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม indole alkaloids และเป็นสารไมทราจินีนอยู่ถึงร้อยละ 66 ของสาร alkaloids ทั้งหมด [17] สารไมทราจินีน จึงเป็นสารสำคัญหลักในพืชกระท่อม โดยสารในกลุ่ม indole alkaloids นี้จะมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งได้ โดยทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมระบบการตายของเซลล์มะเร็ง (Regulated Cell Death, RCD) [18] นอกจากนี้มีการศึกษาความพิษต่อเซลล์ของสารสกัดใบกระท่อมในเซลล์ปกติ ได้แก่ เซลล์ไต (HEK293) และเซลล์ตับ (HeLa Chang liver cells) พบว่าสารสกัดใบกระท่อม ไม่แสดงผลความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ [19]

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดเอทานอลจากใบกระท่อมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระได้ดี มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดคีเลชันของโลหะ และยังทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งทั้ง 4 ชนิดได้ ซึ่งเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์จากพืชกระท่อมทางเภสัชวิทยา และอาจใช้พัฒนายาจากพืชสมุนไพรในการรักษาโรคมะเร็ง อีกทั้งเป็นการสนับสนุนองค์ความรู้ทางภูมิปัญญาไทยว่าพืชกระท่อมมีสรรพคุณช่วยในการต้านมะเร็งได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้บริหาร และศูนย์บริการ RDI มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่สนับสนุนทุนวิจัยของบุคลากร



เอกสารอ้างอิง

1. สวัสดิ์ อัมมวงศ์กรชัย, อาภา ศิริวงศ์ ณ อยุธยา. พิษกระท่อมในสังคมไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด กระทรวงยุติธรรม; 2548.
2. อัมพันธ์ กิตติขจร (ขุนโสภิตบรรณลักษณ์). คัมภีร์แพทย์ไทยแผนโบราณ เล่ม 1. พระนคร: อุตสาหกรรมกรพิมพ์; 2504.
3. อัมพันธ์ กิตติขจร (ขุนโสภิตบรรณลักษณ์). คัมภีร์แพทย์ไทยแผนโบราณ เล่ม 3. พระนคร: อุตสาหกรรมกรพิมพ์; 2504.
4. Parthasarathy S, Azizi JB, Ramanathan S, Ismail S, Sasidharan S, Said MI, Mansor SM. Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of aqueous, methanolic and alkaloid extracts from *Mitragyna Speciosa* (Rubiaceae Family) leaves. *Molecules* 2009;14(10):3964-74.
5. Mossadeq WMS, Sulaiman MR, Mohamad TAT, Chiong HS, Zakaria ZA, Jabit ML, Baharuldin MT, Israf DA. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Mitragyna speciosa* Korth methanolic extract. *Med Princ Pract* 2009;18(5):378-84.
6. Shamima AR, Fakurazi S, Hidayat MT, Hairuszah I, Moklas MAM, Arulselvan P. Antinociceptive action of isolated mitragynine from *Mitragyna Speciosa* through activation of opioid receptor system. *Int J Mol Sci* 2012;13(9):11427-42.
7. Juanda E, Andayani S, Maftuch M. Phytochemical screening and antibacterial activity of kratom leaf (*mitragyna speciosa* korth.) against *aeromonas hydrophilla*. *J Exp Life Sci* 2019;9(3):155-8.
8. Yuniarti R, Nadia S, Alamanda A, Zubir M, Syahputra RA, Nizam M. Characterization, phytochemical screenings and antioxidant activity test of Kratom leaf ethanol extract (*Mitragyna Speciosa* Korth) using DPPH method. *J Phys Conf Ser* 2020;1462(1):012026.
9. Ponglux D, Wongseripipatana S, Takayama H, Kikuchi M, Kurihara M, Kitajima M, Aimi N, Sakai S. A new indole alkaloid, 7 alpha-Hydroxy-7H-mitragynine, from *Mitragyna speciosa* in Thailand. *Planta Med* 1994;60(6):580-1.
10. Xu D, Xu Z. Indole alkaloids with potential anticancer activity. *Curr Top Med Chem* 2020;20(21):1938-49.
11. กลุ่มงานดิจิทัลการแพทย์ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2564 [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 15 ก.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.nci.go.th/e_book/hosbased_2564/index.html
12. Boonpisuttinant K, Srisuttee R, Khong HY, Chutoprapat R, Ruksiriwanich W, Udompong S, Chompoo W, Boonbai R, Rakkaew R, Sangsee J, Sriprasert K, Malilas W. In vitro anti-ageing activities of ethanolic extracts from Pink rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) for skin applications. *Saudi Pharm J* 2023;31(4):535-46.
13. Marjoni MR, Zulfisa A. Antioxidant activity of methanol extract/fractions of Sengani leaves (*Melastoma candidum* D. Don). *Pharm Anal Acta* 2017;8(8):1-6.
14. Zhang P, Wei W, Zhang X, Wen C, Ovatlarnporn C, Olatunji OJ. Antidiabetic and antioxidant activities of *Mitragyna speciosa* (kratom) leaf extract in type 2 diabetic rats. *Biomed Pharmacother* 2023;162:114689.
15. Lebedev VG, Lebedeva TN, Vidyagina EO, Sorokopudov VN, Popova AA, Shestibratov KA. Relationship between Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Berries and Leaves of Raspberry Genotypes and Their Genotyping by SSR Markers. *Antioxidants* 2022;11(10):1961.
16. Perron NR, Brumaghim JL. A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochem Biophys* 2009;53(2):75-100.



17. Kamble SH, Berthold EC, King TI, Kanumuri SRR, Popa R, Herting JR, León F, Sharma A, McMahon LR, Avery BA, McCurdy CR. Pharmacokinetics of Eleven Kratom Alkaloids Following an Oral Dose of Either Traditional or Commercial Kratom Products in Rats. J Nat Prod 2021;84(4):1104-12.
18. Qin R, You FM, Zhao Q, Xie X, Peng C, Zhan G, Han B. Naturally derived indole alkaloids targeting regulated cell death (RCD) for cancer therapy: from molecular mechanisms to potential therapeutic targets. J Hematol Oncol 2022;15(1):133.
19. Goh YS, Karunakaran T, Murugaiyah V, Santhanam R, Bakar MHA, Ramanathan S. Accelerated solvent extractions (ASE) of *Mitragyna speciosa* Korth. (Kratom) leaves: evaluation of Its cytotoxicity and antinociceptive activity. Molecules 2021;26(12):3704.

การพัฒนาแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย
โดยใช้การฝึกฝนตัวแบบล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ระหว่างรูปภาพและข้อความ

Development of a Semantic-based Image Retrieval Model
Using Contrastive Pre-trained between Image and Text

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี^{1,2*} และ ศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล¹

¹สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล นครราชสีมา 30000

Chakkarin Santirattanaphakdi^{1,2*} and Suphakit Niwattanakul¹

¹Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

²Department of Digital Business Technology, Faculty of Business Administrator, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author: chakkarin_san@vu.ac.th

Received: 31 May 2023/ Revised: 21 September 2023/ Accepted: 27 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้การฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ ประกอบด้วย 3 โมดูล ได้แก่ 1) โมดูลการสร้างชุดคำอธิบายรูปภาพ เพื่อฝึกฝนตัวเข้ารหัสรูปภาพ และตัวเข้ารหัสข้อความตามความคล้ายคลึงโคไซน์บนพื้นที่การฝังหลายรูปแบบ ก่อนจะแจกแจงความน่าจะเป็นของคำเอาต์พุตด้วยฟังก์ชันซอฟต์แวร์แม็กซ์ จากนั้นจะคำนวณค่าการสูญเสียเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับจากตัวแบบ เพื่อปรับพารามิเตอร์ในการเรียนรู้ความหมายของรูปภาพตามแนวคิดการแผ่กระจายย้อนหลังเพื่อเรียนรู้ซ้ำอีกครั้งด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง และถ่ายโอนการเรียนรู้เพื่อติดป้ายกำกับข้อมูลให้กับรูปภาพด้วยแนวคิดระดับสูงในรูปแบบนามธรรมของรูปภาพที่ได้จากการเรียนรู้ความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ก่อนจะสร้างเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพ 2) โมดูลการประมวลผลข้อความค้นหาจากผู้ใช้ในรูปแบบภาษาธรรมชาติสำหรับเข้ารหัสข้อความ เพื่อสร้างเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความค้นหา 3) โมดูลการจับคู่เวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพและเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความค้นหาจากค่าความคล้ายคลึงของเวกเตอร์ ก่อนจะเรียงลำดับตามความเกี่ยวข้อง และแสดงเป็นผลลัพธ์การค้นคืนรูปภาพแก่ผู้ใช้ ผลประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายพบว่า 1) ค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับบนชุดข้อมูล Flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองมีค่าเท่ากับ 0.628 และ 0.617 ตามลำดับที่ตำแหน่ง $k = 5$ และ 2) ค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับ จำนวน 1, 3 และ 5 รูปภาพบนชุดข้อมูล Flickr30k มีค่าความครบถ้วนเฉลี่ย 0.585, 0.664 และ 0.761 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองพบว่าค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับลดลงเล็กน้อย



แต่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะช่วยลดปัญหาช่องว่างความหมาย และช่วยสนับสนุนผู้ใช้ด้วยคำค้นหาในรูปแบบภาษาธรรมชาติที่ยึดโยงกับความหมายของรูปภาพแทนที่จะยึดตามหลักไวยากรณ์ของภาษา

คำสำคัญ: การค้นคืนรูปภาพ การฝึกฝนล่วงหน้า การเรียนรู้แบบคอนทราสต์ การเรียนรู้เชิงลึก

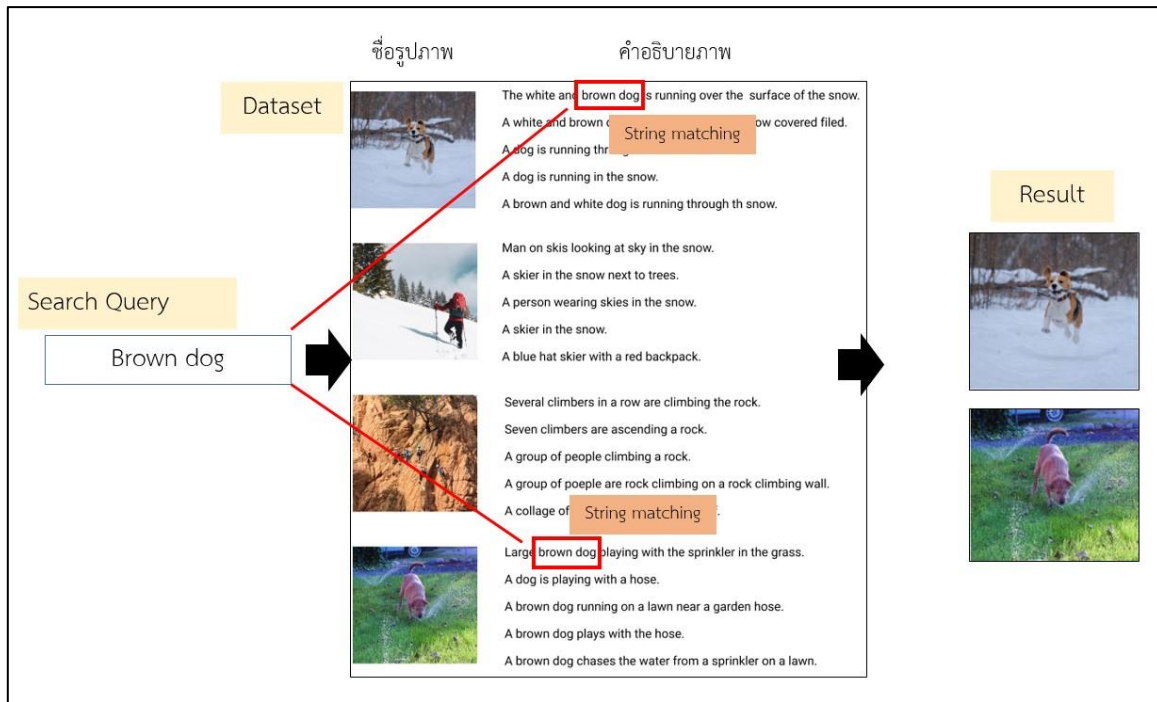
Abstract

The objective of this research is to develop and evaluate the effectiveness of a semantic image retrieval model using contrastive pre-trained. The approach involves 3 modules: 1) the image description set generation module, which trains to encode both image content and textual content in various embedding before estimating the output probability distribution using the softmax function. It then calculates the loss to compare the meaning evaluation of images by experts with the predicted likelihoods of labels from the model. This step involves adjusting parameters for image meaning learning using the concept of retroactive distribution learning and self-paced learning, transferring the learned knowledge to label data for images based on the high-level abstract concept of images obtained from meaning-based similarity learning. This is followed by creating feature vectors for image characteristics, 2) the natural language processing module, which encodes user's natural language queries to generate feature vectors for query characteristics. And 3) the feature matching module, which matches image feature vectors and query feature vectors based on vector similarity values. Then, it ranks the results according to relevance and presents the image retrieval results to the user. The evaluation of semantic image retrieval performance reveals that: The mean reciprocal rank (MRR) values for the top k retrievals on the Flickr30k dataset and the self-collected dataset are 0.628 and 0.617, respectively, at $k = 5$, and the precision at k ($P@k$) values for $k = 1, 3$, and 5 on the Flickr30k dataset are 0.585, 0.664, and 0.761, respectively, when compared to the self-collected dataset. While the precision at k values slightly decrease, the results show a consistent trend. The outcomes of this research will aid in addressing the semantic gap problem and support users in their natural language queries, which are linked to the image semantics rather than following the grammatical rules of the language.

Keyword: Image retrieval, Pre-trained, Contrastive learning, Deep learning

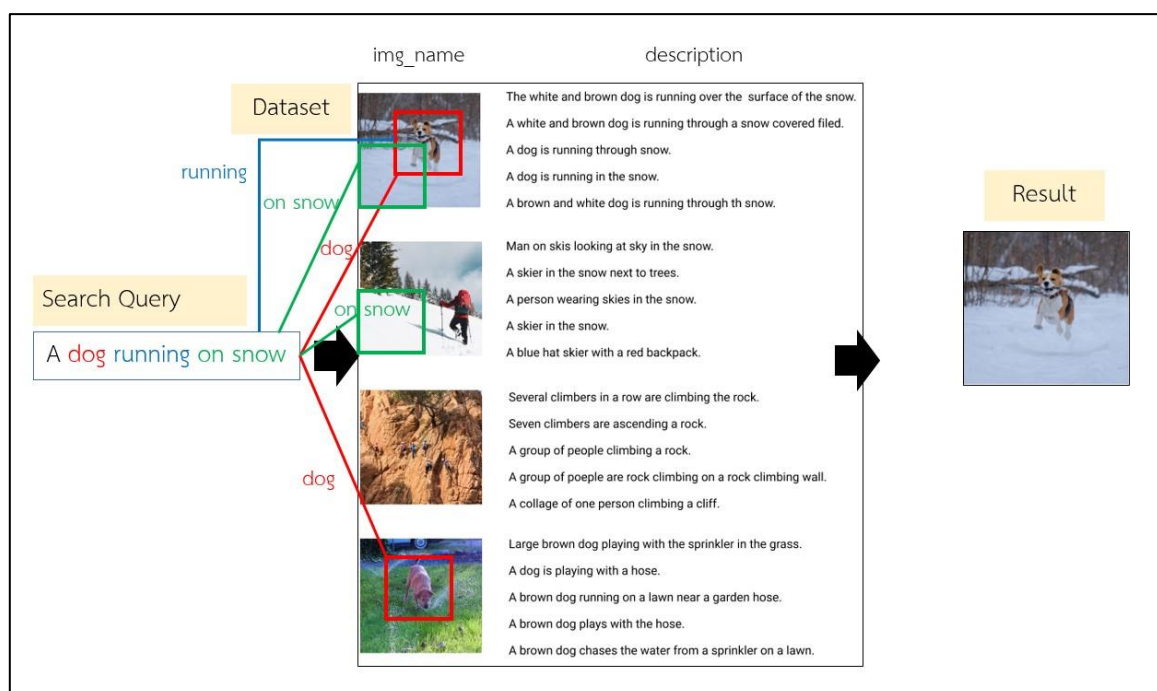
บทนำ

พัฒนาการของอุปกรณ์ถ่ายภาพในรูปแบบของสมาร์ทโฟน ก่อให้เกิดรูปภาพจำนวนมหาศาลบนอินเทอร์เน็ต ตามข้อมูลของเว็บไซต์ Phototutorial [1] รายงานว่าจะมีรูปภาพถึง 1.81 ล้านล้านภาพในปี ค.ศ. 2023 และจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 ล้านล้านภาพในปี ค.ศ. 2025 โดยในปี ค.ศ. 2030 คาดการณ์ว่าจะมีรูปภาพทั่วโลกถึง 2.33 ล้านภาพ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จากพฤติกรรมของผู้คนที่นิยมใช้สื่อสังคมออนไลน์ในการแบ่งปันเรื่องราวและบันทึกความทรงจำ เกิดเป็นระบบค้นคืนรูปภาพตามความต้องการของผู้ใช้ โดยหลักแล้วมี 2 รูปแบบ คือ 1) การค้นคืนรูปภาพด้วยข้อความ (Text-Based Image Retrieval: TBIR) [2] ดังภาพที่ 1 การค้นคืนรูปภาพด้วยข้อความ “brown dog” เมื่อเปรียบเทียบคำค้นกับชื่อไฟล์รูปภาพหรือคำอธิบายภาพที่อยู่ในชุดข้อมูล เมื่อพบข้อความที่ตรงกันรูปภาพนั้นก็จะถูกดึงมาเป็นผลลัพธ์



ภาพที่ 1 การค้นคืนรูปภาพด้วยข้อความ

แม้การค้นคืนรูปภาพด้วยข้อความยังเป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่มักพบปัญหาการตั้งชื่อไฟล์ไม่ตรงกับเนื้อหา
ของรูปภาพ อีกทั้งคำอธิบายภาพที่ใส่โดยมนุษย์อาจไม่สามารถอธิบายได้ครอบคลุมเนื้อหาของรูปภาพได้ทั้งหมด ส่งผลให้
รูปภาพจากการค้นคืนมีประสิทธิภาพต่ำ และ 2) การค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหา (Content-based Image Retrieval: CBIR) [2]
จากการเปรียบเทียบระหว่างคำค้นหาคำค้นหาคำคุณลักษณะระดับต่ำของรูปภาพ (Low-level Features) [3] ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่
มีความหมายในตัวเอง เช่น สี รูปทรง พื้นผิว รวมถึงตำแหน่งในภาพ [4] ร่วมกับคุณลักษณะระดับสูง (High-level Features)
เช่น แนวคิด (Concept) วัตถุ (Object) เหตุการณ์ (Event) เพื่อค้นคืนรูปภาพที่มีความคล้ายคลึงกับคำค้นหามากที่สุดมาแสดง
เป็นผลลัพธ์ ดังภาพที่ 2 การค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหาด้วยข้อความ “a dog running on snow”

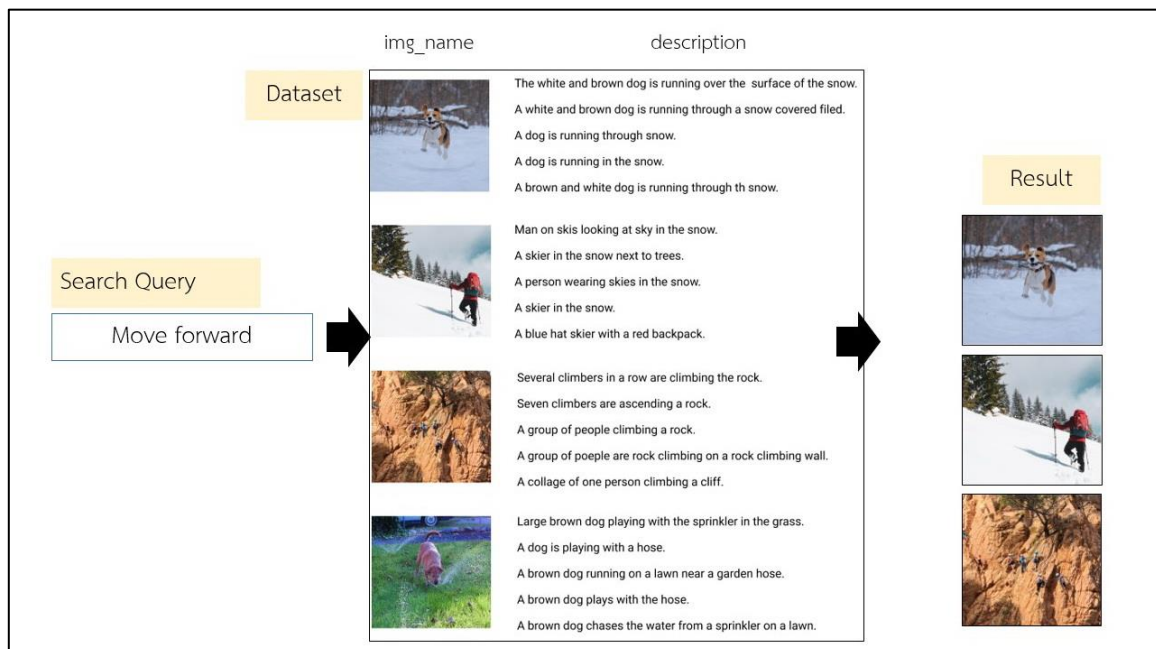


ภาพที่ 2 การค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหา



จากภาพที่ 2 การค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหาจะทำการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงระหว่างคุณลักษณะของรูปภาพจากข้อความค้นหาและคุณลักษณะของรูปภาพในชุดข้อมูลบนพื้นที่เวกเตอร์หลายมิติ (Multi-dimensional Vector) เช่น มิติที่หนึ่งคือสี มิติที่สองคือรูปร่าง มิติที่สามคือพื้นผิว เป็นต้น คุณลักษณะของรูปภาพใดที่มีค่าความคล้ายคลึงกับคุณลักษณะของรูปภาพจากข้อความค้นหาเกินค่าแบ่ง (Threshold) จะถูกดึงออกมาเป็นผลลัพธ์

อย่างไรก็ตาม “A picture is worth a thousand words” แสดงถึงเนื้อหารูปภาพมีความหมายหลากหลายมากกว่าเมื่อเทียบกับข้อความ ดังนั้นการค้นคืนรูปภาพด้วยคุณลักษณะเชิงประจักษ์เพียงอย่างเดียว อาจส่งผลให้เกิดปัญหาช่องว่างความหมาย (Semantic-gap) เนื่องจากคุณลักษณะเหล่านี้ไม่สื่อถึงความหมายที่อยู่ในรูปภาพได้อย่างถูกต้อง และพฤติกรรมผู้ใช้ที่มักจะใช้คำค้นหาที่เป็นตัวอักษรหรือข้อความมากกว่าการระบุเพียงคุณลักษณะต่าง ๆ ของรูปภาพ จึงเกิดเป็นแนวคิดการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย (Semantic-based Image Retrieval: SBIR) [5] ที่มุ่งเชื่อมโยงคุณลักษณะของรูปภาพไปสู่ความหมายที่แท้จริงของรูปภาพ ด้วยการแปลงคุณลักษณะให้อยู่ในรูปแบบของความหมายรูปภาพในระดับสูง (High-Level Semantics) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย

จากภาพที่ 3 ตัวอย่างคำค้นหาที่อาจทำให้เกิดปัญหาช่องว่างความหมาย เช่น “move forward” เมื่อใช้หลักการค้นคืนรูปภาพด้วยข้อความ หรือการค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหาจากรูปภาพทั้งหมดแล้ว อาจไม่พบผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับคำค้นหาเลย แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะเชิงความหมาย จะพบว่ามีผลลัพธ์จำนวน 3 ภาพ ได้แก่ รูปภาพสุนัขที่กำลังวิ่งไปข้างหน้า รูปภาพนักสกีที่กำลังมุ่งหน้าไปบนยอดเขาหิมะ หรือรูปภาพนักไต่เขาที่กำลังปีนมุ่งหน้าไปยังยอดเขาที่ทั้ง 3 รูปภาพไม่ปรากฏ คำว่า “move forward” ภายในรูปภาพหรือคำบรรยายภาพเลย แต่อาจมีความหมายแฝงว่า “move forward” ที่แปลว่ามุ่งไปข้างหน้า อันเป็นคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหาจากผู้ใช้

ปัจจุบันมีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายมากมาย โดยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นหนึ่งในแนวคิดที่ถูกนำมาใช้ในการจำแนกประเภทรูปภาพ (Image Classification) [6] เพื่อสร้างเป็นตัวแปลความหมายระดับสูง (High-level Interpretation) อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องทั่วไปจะเหมาะกับข้อมูลแบบมีโครงสร้าง (Structured Data) ในขณะที่รูปภาพ ข้อความ และเสียงนั้นมักจะอยู่ในรูปแบบข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Data) เป็นที่มาของการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ตามแนวคิดการแบ่งลำดับชั้น

ในการเรียนรู้ ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) ชั้นอินพุต (Input Layer) คือข้อมูลป้อนเข้าโครงข่าย 2) ชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) คือชั้นประมวลผลที่ซ่อนอยู่สามารถมีได้หลายชั้น แต่ละชั้นจะมีนิวรอน (Neuron) มีหน้าที่รับข้อมูลมาประมวลผลร่วมกับค่าน้ำหนักของอินพุตแต่ละตัวด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เช่น ฟังก์ชันซอฟต์แวร์แมกซ์ (Softmax Function) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) 3) ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) คือชั้นที่ประมวลผลอินพุตทั้งหมดจากชั้นก่อนหน้ามาคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก (Weight) และไบอัส (Bias) ของอินพุตแต่ละตัว และ 4) การพยากรณ์ นำเอาผลลัพธ์จากชั้นเอาต์พุตมาสร้างฟังก์ชันตัดสินใจ (Decision Function) โดยมีผลลัพธ์เป็นค่าพยากรณ์ โดยทั้ง 4 ส่วนนี้ทำงานต่อเนื่องกันแบบแผ่กระจายเดินหน้า (Forward Propagation) อย่างไรก็ตามแบบที่ถูกฝึกฝนนั้นยังขาดค่าน้ำหนัก และไบอัสที่ต้องส่งผลให้ค่าที่พยากรณ์ได้อาจจะไม่ตรงกับความจริง เกิดเป็นแนวคิดการแผ่กระจายย้อนหลัง (Backward Propagation) จากการนำค่าพยากรณ์นั้นมาใส่ในฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงด้วยค่าครอสเอนโทรปี (Cross-entropy) ก่อนนำไปปรับแต่งพารามิเตอร์ (Parameter) ให้ตัวแบบสามารถพยากรณ์ผลลัพธ์ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [7] ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยการวางโครงข่ายซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์ ปัจจุบันได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และพยากรณ์ผลลัพธ์ได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบเดิมเป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้ตัวแบบการเรียนรู้เชิงลึกที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ (Contrastive Pre-training) จากการเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างรูปภาพกับข้อความภาษาธรรมชาติ แทนที่จะเรียนรู้ภายใต้คลาสที่จำกัดอย่างสุนัขหรือแมวเช่นเดิม เมื่อตัวแบบได้รับการฝึกฝนจากข้อความทั้งประโยคจะส่งผลให้ตัวแบบสามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้มากขึ้น และสามารถค้นหารูปแบบความสัมพันธ์บางอย่างระหว่างรูปภาพกับข้อความด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง อันจะเป็นแนวทางการค้นคืนสารสนเทศในอนาคตภายใต้คำค้นหาในรูปแบบภาษาธรรมชาติที่ยึดโยงกับความหมายของรูปภาพแทนที่จะยึดตามหลักไวยากรณ์ของภาษา

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การพัฒนาแอปพลิเคชันแบบเร่งรัด (Rapid Application Development model: RAD) [8] มาเป็นกรอบในการพัฒนาแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย ก่อนจะพัฒนาเป็นระบบที่สมบูรณ์ มีรายละเอียดดังนี้

1) การวางแผนความต้องการ (Requirement Planning) ปัจจุบันมีแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างตัวแปลความหมายระดับสูง โดยประยุกต์หลายศาสตร์มาบูรณาการร่วมกัน สามารถจำแนกตามเทคนิคออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ 1) เทคนิคการตอบกลับของผู้ใช้ (Relevance Feedback) [9] ว่ามีข้อมูลใดบ้างที่ตรงกับสิ่งที่กำลังค้นหาอยู่เป็นผลลัพธ์ในการค้นหาครั้งแรก เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ในครั้งต่อไปให้ตรงกับความต้องการมากยิ่งขึ้น 2) เทคนิคการค้นคืนรูปภาพแบบหลายระดับ (Multi-Level Image Retrieval) โดยแทนที่คุณลักษณะของภาพด้วยคำอธิบายที่เป็นลำดับชั้น (Hierarchical Image Analysis) [10] ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจเช่นเดียวกับการรับรู้ของมนุษย์ 3) เทคนิคการใช้คำอธิบายภาพ (Annotation) [11] หรือออนโทโลยี (Ontology) ที่พิจารณาความสัมพันธ์ของรูปภาพที่มีความเกี่ยวข้องกัน เช่น การนิยามรูปภาพตามคุณลักษณะเฉพาะ เช่น ลำตัว ปีก และจะงอยปากที่แตกต่างกัน และนำไปสร้างความสัมพันธ์กับสี ลวดลาย ขนาด ถิ่นอาศัย และอาหาร เป็นต้น 4) เทคนิคการใช้แม่แบบเชิงความหมาย (Semantic Template: ST) [12] เพื่อกำหนดคุณลักษณะของรูปภาพเป็นตัวแทน (Representative Feature) ของกลุ่มข้อมูลที่แสดงเนื้อหาเกี่ยวกับคุณลักษณะต่าง ๆ 5) เทคนิคการใช้ข้อความเพื่อเรียนรู้การค้นคืนรูปภาพ (Using Text to Teach Image Retrieval) [13] จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ปรากฏบนเว็บเพจ เช่น ข้อความโดยรอบแท็ก คำอธิบาย ลิงก์เชื่อมโยง หรือส่วนหัวของเว็บเพจ ร่วมกับคุณลักษณะของรูปภาพในการแปลความหมาย และ 6) เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Classification) ปัจจุบันพัฒนาเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep



Learning) ซึ่งมีจุดเด่นในการวิเคราะห์และจำแนกคุณลักษณะรูปภาพได้อย่างหลากหลาย และมีประสิทธิภาพการพยากรณ์ผลลัพธ์ได้ดีกว่าการเรียนรู้ของเครื่องแบบเดิมเป็นอย่างมาก

แม้การเรียนรู้เชิงลึกมีบทบาทสำคัญต่อการประมวลผลรูปภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ 1) ต้องการชุดข้อมูลฝึกฝนในปริมาณที่เพียงพอ [14] เพื่อป้องกันปัญหา Overfitting ที่ตัวแบบมีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกข้อมูลกับชุดข้อมูลทดสอบ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อทำงานกับข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อน 2) การสร้างชุดข้อมูลนั้นมีต้นทุนมหาศาล [15] เนื่องจากต้องใช้มนุษย์ในการติดป้ายกำกับ อย่างไรก็ตามการรวบรวมข้อมูลต้องเผชิญกับความท้าทายมากมาย ทั้งสิทธิส่วนบุคคล รวมถึงนโยบายทางกฎหมายและวัฒนธรรม [16] และ 3) ตัวแบบจะถูกฝึกฝนบนชุดข้อมูลที่มีลักษณะตายตัว ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างการเรียนรู้ หากมีการเปลี่ยนแปลงต้องเริ่มเรียนรู้ใหม่ตั้งแต่ต้น

จากปัญหาดังกล่าวเป็นที่มาของการใช้งานตัวแบบที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าบนชุดข้อมูลขนาดใหญ่ (Pre-training) จึงสามารถถ่ายโอนความรู้ (Transfer Learning) ไปใช้ได้โดยไม่ต้องฝึกฝนตัวแบบใหม่ตั้งแต่ต้น เพียงปรับแต่ง (Fine-tuning) ตัวแบบเพิ่มเติมด้วยชุดข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงในงานที่ต้องการ เนื่องจากตัวแบบได้เรียนรู้คุณลักษณะที่สำคัญของรูปภาพเอาไว้ ดังนั้นการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) จึงได้นำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ในการฝึกฝนตัวแบบบริบททางภาษา (Language Model) บนข้อความดิบขนาดใหญ่ด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-supervised) เกิดเป็นสถาปัตยกรรม Transformer [17] ด้วยแนวคิดที่ว่าคำแต่ละคำมีความหมายในตัวเอง โดยความหมายเหล่านี้มีผลมาจากบริบทของคำที่อยู่รอบ ๆ ก่อนจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการสกัดคุณลักษณะรูปภาพที่มีหลักการเช่นเดียวกับการทำงานกับข้อความแต่เปลี่ยนมาใช้กับรูปภาพ เรียกว่า Vision in Transformer (ViT) [18]

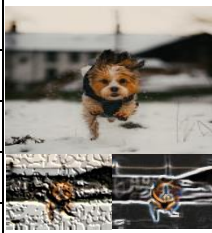
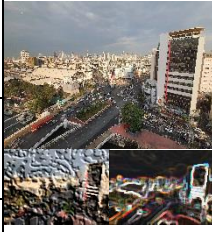
2) การออกแบบ (Design) แบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้การฝึกฝนตัวแบบล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ระหว่างรูปภาพและข้อความ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล 2) การฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ระหว่างรูปภาพและข้อความ และ 3) การปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีรายละเอียดดังนี้

2.1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Dataset Pre-processing) งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูล Flickr30k [19] ที่เป็นชุดข้อมูลรูปภาพที่รวบรวมจากเว็บไซต์ Flickr จำนวน 31,783 รูปภาพและชุดข้อมูลที่มีผู้วิจัยรวบรวมเองจำนวน 92,168 รูปภาพ รวมทั้งสิ้น 123,951 รูปภาพ สำหรับฝึกฝนให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้จากรูปภาพและข้อความภาษาธรรมชาติ กำหนดให้รูปภาพทั้งหมดที่นำมาใช้คือประชากร จึงเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ (Probability Sampling) ด้วยการสุ่มอย่างมีระบบ (Systematic Random Sampling) [20] เป็นกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 400 รูปภาพ แบ่งเป็นรูปภาพบนชุดข้อมูล Flickr30k จำนวน 100 รูปภาพ และอีก 300 รูปภาพจากชุดข้อมูลที่มีผู้วิจัยรวบรวมเอง (Custom Dataset) ตามสัดส่วนของจำนวนรูปภาพที่ใช้ในงานวิจัย มาสร้างข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพในรูปแบบภาษาอังกฤษที่กำหนดขึ้นโดยผู้วิจัย กำหนด 1 รูปภาพต่อ 5 ข้อความบรรยายรูปภาพ รวมทั้งสิ้น 2,000 รายการ ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 กำหนดรูปภาพจากการสุ่มเป็น 4 โดเมน ได้แก่ 1) ภาพบุคคล 2) ภาพสัตว์เลี้ยง 3) ภาพสิ่งของ และ 4) ภาพสิ่งปลูกสร้างและทิวทัศน์ โดยงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับประเด็นลิขสิทธิ์ของรูปภาพจึงใช้ชุดข้อมูลรูปภาพที่มีผู้วิจัยรวบรวมเองมากกว่าร้อยละ 75 ในการเรียนรู้ของตัวแบบ ตลอดจนคำนึงถึงสิทธิส่วนบุคคลที่ปรากฏในภาพ จึงหลีกเลี่ยงการใช้รูปภาพที่ปรากฏใบหน้าของบุคคลหรือส่วนหนึ่งส่วนใดอย่างชัดเจนที่สามารถนำไปสู่การระบุตัวลักษณะบุคคลได้เป็นเงื่อนไขในการสุ่มรูปภาพเพื่อเป็นข้อมูลก่อนการประมวลผล มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1) การสร้างรูปภาพใหม่จากการดัดแปลงรูปภาพต้นฉบับ (Image Augmentation) [21] เพื่อแก้ปัญหา Overfitting เนื่องจากประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้เชิงลึกนั้นขึ้นกับปริมาณข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญอันดับหนึ่ง เกิดเป็นแนวคิดการปรับแต่งรูปภาพ เช่น การบิด ตัด หมุน เปลี่ยนสี ทำภาพให้มืดลงหรือสว่างขึ้น หรือใส่ตัวรบกวน (Noise) ลงไปให้ได้รูปภาพใหม่ออกมา [22] เพื่อให้แบบจำลองจดจำสิ่งที่ไม่จำเป็นได้ยากขึ้น และจดจำคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพได้ดียิ่งขึ้น

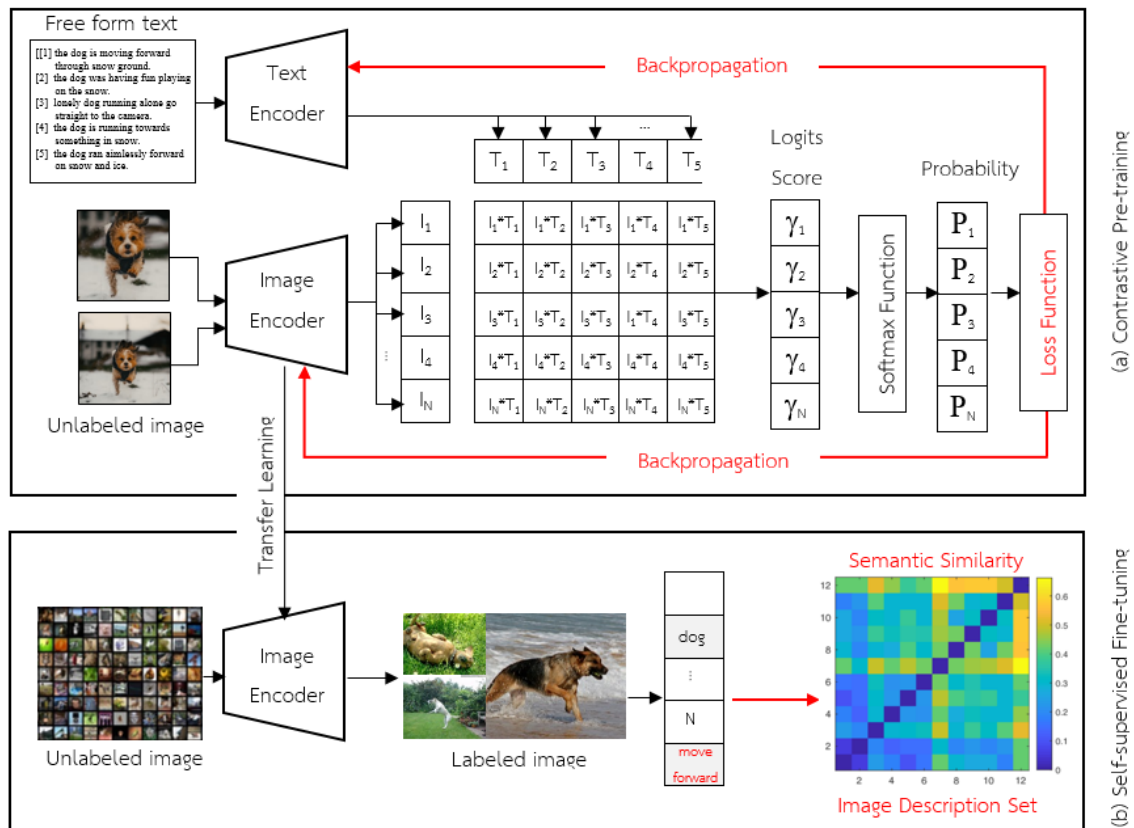
ตารางที่ 1 ตัวอย่างรูปภาพที่สุ่มจากชุดข้อมูล Flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง

ลำดับ	ชุดข้อมูล	ข้อความบรรยายรูปภาพ	รูปภาพ	โดเมน
1	Flickr30k	(1) two women were slowly walking forward.		ภาพบุคคล
		(2) two women are heading somewhere.		
		(3) two women walking on the sidewalk alone.		
		(4) the two women walked aimlessly forward.		
		(5) the two women stepped forward determinedly.		
2	Flickr30k	(1) the dog is moving forward through snow ground.		ภาพสัตว์เลี้ยง
		(2) the dog was having fun playing on the snow.		
		(3) the dog running alone go straight to the camera.		
		(4) the dog is running towards something in snow.		
		(5) the dog ran aimlessly forward on snow and ice.		
...	...		...	...
400	Custom	(1) the towering skyscrapers and the urban landscape stretches as far as the eye can see.		ภาพสิ่งปลูกสร้างและทิวทัศน์
		(2) the cityscape is a mesmerizing blend of sleek architecture and vibrant neighborhoods.		
		(3) the hustle and bustle of the streets below echoes the pulsating rhythm of urban life.		
		(4) this metropolis is a testament to human ingenuity and urban design.		
		(5) the mix of vibrant neighborhoods and bustling streets is absolutely mind-blowing.		

2.1.2) การทำความสะอาดข้อความและการกำหนดมาตรฐานข้อความ (Text Cleansing and Text Normalization) [23] งานวิจัยนี้ไม่มีการกำจัดคำหยุด เนื่องจากถือว่าคำทั้งหมดมีผลต่อการกำหนดคุณลักษณะของรูปภาพ เป็นไปในทิศทางเดียวกับแนวโน้มการกำจัดคำหยุดที่มีจำนวนคำลดลงเรื่อย ๆ จนในปัจจุบันการเรียนรู้เชิงลึกไม่มีการกำจัดคำหยุดเลย อย่างไรก็ตามยังคงกำจัดเครื่องหมายต่าง ๆ และเปลี่ยนเป็นตัวอักษรพิมพ์เล็กทั้งหมดก่อนจะนำไปประมวลผล

2.2) การฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสระหว่างรูปภาพและข้อความ งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบ CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) [24] เป็นโมเดลฐาน (Baseline Model) ดังภาพที่ 4 เพื่อลดภาระการฝึกฝนตัวแบบจากเดิมที่ต้องการข้อมูลจำนวนมากในการเรียนรู้ อีกทั้งมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นมาเองตั้งแต่ต้น

2.2.1) การฝึกฝนตัวเข้ารหัสรูปภาพด้วยตัวแบบ ViT-B/32 สำหรับการสกัดคุณลักษณะรูปภาพตามแนวคิดของสถาปัตยกรรม Transformer ที่ทำงานกับข้อความ แต่นำมาปรับใช้กับรูปภาพ (Vision in Transformer) จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแพทช์เพื่อคำนวณหาฟังก์ชันคุณลักษณะในการหาความสัมพันธ์กับบริเวณทั้งภาพ โดยผลลัพธ์จากการฝังรูปภาพ (Image Embedding) จะแปลงเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพ (Image Feature Vector) ขนาด 2,048



ภาพที่ 4 แบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้การฝึกฝนตัวแบบล่วงหน้าแบบคอนทราสต์

2.2.2) การฝึกฝนตัวเข้ารหัสข้อความด้วยตัวแบบ GPT-2 บนพื้นฐานสถาปัตยกรรม Transformer เพื่อเรียนรู้ความหมายโดยรวมของข้อความบรรยายรูปภาพแต่ละประโยค ผลลัพธ์จากการฝังข้อความ (Text Embedding) แปลงเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความ (Text Feature Vector) ขนาด 768

2.2.3) การเรียนรู้แบบคอนทราสต์บนพื้นที่การฝังหลายรูปแบบ (Contrastive Learning on Multi-modal Embedding Space) [25] เนื่องจากเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความและเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพมีขนาดต่างกัน จึงต้องเรียกใช้ Projection Head [26] ในการเปลี่ยนขนาดเวกเตอร์บนพื้นที่การฝังให้มีมิติเท่ากับ 256 เพื่อฝึกฝนร่วมกันระหว่างตัวเข้ารหัสรูปภาพและตัวเข้ารหัสข้อความด้วยการพยายามขยับเวกเตอร์ตัวแทนด้วยค่าความคล้ายคลึงโคไซน์ (Cosine Similarity) จากการคำนวณดอทโปรดักต์ (Dot Product) ของเวกเตอร์แต่ละคู่ หากเป็นเวกเตอร์คู่เดียวกันจะมีค่าความคล้ายคลึงสูง ตรงกันข้ามหากเป็นเวกเตอร์คู่ที่ต่างกันจะมีค่าความคล้ายคลึงต่ำด้วย ดังสมการที่ 1 [27]

$$\cos \theta = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (1)$$

กำหนดให้

A และ B	คือ เวกเตอร์
i	คือ องค์ประกอบของเวกเตอร์ (Element of Vector)
n	คือ จำนวนขององค์ประกอบ (Number of Element)
$\cdot$	คือ การคูณดอทยูคลิด (Euclidean Dot Product)
$\ \quad \ $	คือ ขนาดของเวกเตอร์ (Magnitude)

จากภาพที่ 4 ยกตัวอย่างการคำนวณเป็นอาร์เรย์ 1 มิติ เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ กำหนดให้รูปภาพแทนด้วย I_1 ประกอบด้วยชุดตัวเลข $I_1 = \{0.45, 0.32, 0.46, 0.23\}$ และข้อความบรรยายรูปภาพในลำดับที่ (1) “the dog is moving forward through snow ground.” ลำดับที่ (2) “the dog was having fun playing on the snow.” ลำดับที่ (3) “lonely dog running alone go straight to the camera.” ลำดับที่ (4) “the dog is running towards something in snow” และลำดับที่ (5) “the dog ran aimlessly forward on snow and ice.” แทนด้วย T_1, T_2, T_3, T_4 และ T_5 ประกอบด้วย ชุดตัวเลข $T_1 \{0.24, 0.46, 0.44, 0.35\}$ $T_2 \{-0.66, 0.69, 0.53, 0.22\}$ $T_3 \{0.82, 0.25, 0.98, 0.99\}$ $T_4 \{0.22, 0.29, 0.35, 0.67\}$ และ $T_5 \{-0.22, 0.64, 0.53, 0.22\}$ ตามลำดับ แทนค่าในสมการที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{sim}(I_1, T_1) &= \frac{(I_{1,1} * T_{1,1}) + (I_{1,2} * T_{1,2}) + (I_{1,3} * T_{1,3}) + (I_{1,4} * T_{1,4})}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2} * \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + T_4^2}} \\ &= \frac{(0.45 * 0.24) + (0.32 * 0.46) + (0.46 * 0.44) + (0.23 * 0.35)}{\sqrt{0.45^2 + 0.32^2 + 0.46^2 + 0.23^2} * \sqrt{0.24^2 + 0.46^2 + 0.44^2 + 0.35^2}} \\ &= \frac{0.54}{0.58} = 0.93 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความคล้ายคลึงโคไซน์ระหว่างรูปภาพ I_1 กับข้อความ T_1 จะเท่ากับ 0.93 จากนั้นนำ I_1 คำนวณต่อกับข้อความบรรยายรูปภาพลำดับ T_2 ถึง T_5 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.26, 0.91, 0.80 และ 0.55 ตามลำดับ

2.2.4) การคำนวณความน่าจะเป็นของป้ายกำกับ (Label Probability) เนื่องจากเอาต์พุตจากการฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์นั้นจะอยู่ในรูปแบบค่า Logits Score ที่เกิดจากค่าความคล้ายคลึงของเวกเตอร์ จึงต้องใช้ฟังก์ชันซอฟต์แวร์ [28] มาแปลงให้เป็นมาตรฐานการแจกแจงความน่าจะเป็นตามสัดส่วนของค่าเอาต์พุตแต่ละคลาส ดังสมการที่ 2

$$f(x_i) = \frac{\exp(x_i)}{\sum_j \exp(x_j)} \quad (2)$$

กำหนดให้ x_i คือ เวกเตอร์อินพุตของฟังก์ชันซอฟต์แวร์ [28]
 $\exp(x_i)$ คือ ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) มีค่าคงที่เท่ากับ 2.71828 ยกกำลังด้วยเวกเตอร์อินพุต
 $\sum_j \exp(x_i)$ คือ การปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน โดยค่าเอาต์พุตทั้งหมดรวมกันเป็น 1 และแต่ละค่าอยู่ในช่วง (0, 1)

จากภาพที่ 4 ตัวอย่างค่า Logits Score ที่เกิดจากค่าความคล้ายคลึงระหว่างเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพ I_1 กับเวกเตอร์คุณลักษณะข้อความบรรยายรูปภาพลำดับที่ T_1 ถึง T_5 มีค่าเท่ากับ 0.93, 0.26, 0.91, 0.80 และ 0.55 ตามลำดับ เมื่อแทนค่าเวกเตอร์อินพุตของคำบรรยายรูปภาพลำดับที่ T_1 เท่ากับ 0.93 ในสมการที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned} f(0.93) &= \frac{\exp(0.93)}{\exp(0.93) + \exp(0.26) + \exp(0.91) + \exp(0.80) + \exp(0.55)} \\ &= \frac{2.5345}{2.5345 + 1.2969 + 2.4843 + 2.2255 + 1.7333} \\ &= 0.2467 \end{aligned}$$



ผลลัพธ์จากการแปลงค่าให้เป็นมาตรฐานการแจกแจงความน่าจะเป็นตามสัดส่วนของค่าเอาต์พุตของค่าบรรยายรูปภาพลำดับที่ T_1 กำหนดทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะเท่ากับ 0.2467 จากนั้นคำนวณต่อกับข้อความบรรยายรูปภาพลำดับที่ T_2 ถึง T_5 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.1262, 0.2418, 0.2166 และ 0.1687 ตามลำดับ ซึ่งมีผลรวมเท่ากับ 1

การประยุกต์ใช้งานตัวแบบ CLIP นั้นส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การปรับปรุงพารามิเตอร์ของตัวแบบเพื่อใช้ในการจำแนกรูปภาพ โดยการสร้างตัวแยกประเภทชุดข้อมูลจากข้อความป้ายกำกับ (Create Dataset Classifier from Label Text) โดยฝังอ็อบเจกต์คลาสลงในข้อความบรรยายรูปภาพ (Object Classes into Captions) ในขั้นตอนสุดท้าย เมื่อใส่รูปภาพเข้าไปในตัวแบบจะสร้างป้ายกำกับจากผลการพยากรณ์ข้อมูลแบบไม่มีตัวอย่าง (Use for Zero-shot Prediction) อย่างไรก็ตามมีบางงานวิจัยที่นำมาประยุกต์ใช้กับการค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหา (Content-based Image Retrieval: CBIR) โดยงานวิจัยของ Le และคณะ [29] ประยุกต์ใช้ตัวแบบ CLIP มาเรียนรู้คำอธิบายภาษาธรรมชาติเพื่อการจำแนกรถยนต์ในมุมมองที่แตกต่างกันจากการฝึกฝนตัวเข้ารหัสรูปภาพด้วยคุณลักษณะแบบโกลบอลและคุณลักษณะแบบโลคอล เช่นเดียวกับการฝึกฝนตัวเข้ารหัสข้อความภาษาธรรมชาติตามแนวคิดการเรียนรู้ด้วยตนเองระหว่างรูปภาพและข้อความ เพื่อติดป้ายกำกับรถยนต์ในรูปภาพประกอบด้วยสี รุ่น และทิศทาง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Xie และคณะ [30] นำเสนอ RA-CLIP ที่นำตัวแบบ CLIP มาปรับปรุงการเรียนรู้แบบคอนทราสต์แบบดั้งเดิม โดยเมื่อมีอินพุตของรูปภาพตัวแบบจะดึงรูปภาพและข้อความที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดจากชุดข้อมูลอ้างอิง (Reference Set) ซึ่งมีคำอธิบายข้อมูลสำหรับรูปภาพที่อินพุตเข้ามาพร้อมอธิบายความหมายของรูปภาพบนโมดูลสนับสนุนการค้นคืน (Retrieval Augmented Module) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์หมวดหมู่ป้ายกำกับ (Category Label) สำหรับการจำแนกรูปภาพที่มีการลงรายละเอียด (Fine-grained Classification) แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมานั้นจะอยู่บนแนวคิดการเรียนรู้แบบคอนทราสต์ แต่ก็ยังมีได้มุ่งค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายโดยใช้ข้อความค้นหาภาษาธรรมชาติ อันจะเป็น Contribution ของงานวิจัยนี้

2.3) การปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-supervised Fine-tuning) แม้ปัจจุบันการค้นคืนรูปภาพเชิงเนื้อหาจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการระบุแนวคิดระดับสูง (High-level Semantics) ที่เป็นรูปธรรม (Concrete Concept) อย่างวัตถุ (Object) กิจกรรม (Activities) หรือเหตุการณ์ (Event) แต่ในความเป็นจริงพฤติกรรมผู้ใช้โดยมากจะค้นคืนรูปภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดระดับสูงที่เป็นรูปธรรม และแนวคิดที่เป็นนามธรรม (Abstract Concept) อย่างอารมณ์และความรู้สึก (Mood and Feelings) [31] รวมเข้าด้วยกันเป็นข้อความค้นหาภาษาธรรมชาติ ในทางกลับกันคุณลักษณะที่ถูกแยกอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์มักเป็นแนวคิดระดับสูงที่เป็นรูปธรรมเท่านั้น เป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ที่มุ่งเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดระดับสูงที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมเข้าด้วยกันแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพ เชิงความหมาย อันเป็นผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้

2.3.1) การปรับปรุงการเรียนรู้ของตัวแบบจากการนำแนวคิดการแพร่กระจายย้อนหลัง (Backpropagation) มาปรับปรุงการอัลกอริทึมการเรียนรู้ จากการหาค่าความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากตัวแบบกับผลลัพธ์ที่ถูกประเมินความหมายโดยผู้เชี่ยวชาญด้วยการหาค่าการสูญเสียจากฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) จากนั้นนำค่าการสูญเสียมาใช้กับฟังก์ชันเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimize Function) สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเรียนรู้ของตัวแบบเพื่อการค้นคืนรูปภาพจากการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงเชิงความหมาย

อย่างไรก็ดี แนวคิดระดับสูงที่เป็นนามธรรมนั้นยากที่จะประเมินผลด้วยค่าความถูกต้อง หรือค่าความแม่นยำ จึงเป็นที่มาของการให้ผู้เชี่ยวชาญ 30 ท่าน เข้ามาร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินผลความหมายของแต่ละรูปภาพให้สอดคล้องกับหลักคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) กำหนดคุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญ [32] ว่าเป็นผู้สำเร็จการศึกษาด้านการจัดเก็บและเรียกค้นสารสนเทศ (Information Storage and Retrieval) หรือสาขาที่เกี่ยวข้อง และมีประสบการณ์การใช้งานคอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ต และเสิร์ชเอนจินในการเรียกค้นรูปภาพอย่างน้อย 10 ปีขึ้นไป ตามหลักการการทดสอบทัวริง (Turing Test) [33] ที่มุ่งทดสอบการทำงานของปัญญาประดิษฐ์เปรียบเทียบกับการทำงานของมนุษย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับจากตัวแบบว่าแปลความหมายของ

รูปภาพได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใด โดยผู้วิจัยสร้างข้อความบรรยายรูปภาพที่อธิบายความหมาย เชิงคุณภาพของรูปภาพที่ได้จากการสุ่มเป็นชุดคำถาม โดยข้อความบรรยายรูปภาพทั้งหมดอยู่ในรูปแบบภาษาอังกฤษ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านประเมินความหมายของแนวคิดระดับสูงเชิงนามธรรมจำนวน 400 รูปภาพ บนชุดคำถามแบบเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการพยากรณ์ป้ายกำกับด้วยการหาค่าครอสเอนโทรปี เพื่อวัดความน่าจะเป็นของป้ายกำกับว่ามีผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงที่ต้องการมากน้อยแค่ไหน (Error Measurement) ด้วยฟังก์ชัน การสูญเสียที่นิยมใช้ในการจำแนกรูปภาพด้วย [34] ดังสมการที่ 3

$$H(p, q) = -\sum_{x \in \text{classes}} p(x) \log q(x) \quad (3)$$

กำหนดให้ $p(x)$ คือ ป้ายกำกับจริง (True Label) จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแบบ one-hot ตัวเลือกที่ผู้เชี่ยวชาญเลือก เท่ากับ 1 ในทางตรงกันข้ามตัวเลือกที่ไม่ถูกเลือกจะเท่ากับ 0

$q(x)$ คือ ผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับ

จากภาพที่ 4 ตัวอย่างป้ายกำกับที่ผู้เชี่ยวชาญเลือกคือลำดับที่ 1 ถือว่าเป็นป้ายกำกับจริง ดังนั้นตัวเลือกลำดับที่ 2 ถึง 5 จะเท่ากับ 0 ทั้งหมด แทนค่า $p[1, 0, 0, 0, 0]$ ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับจากฟังก์ชันซอฟต์แวร์แมชชีนในตัวเลือกที่ 1 ถึง 5 เท่ากับ 0.2467, 0.1262, 0.2418, 0.2166 และ 0.1687 ตามลำดับ แทนค่าใน $q[0.2467, 0.1262, 0.2418, 0.2166, 0.1687]$ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned} H(p, q) &= -[1 * \log_2(0.2467) + 0 * \log_2(0.1262) + 0 * \log_2(0.2418) + \\ &\quad 0 * \log_2(0.2166) + 0 * \log_2(0.1687)] \\ H(p, q) &= 2.0192 \end{aligned}$$

จากภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญคือตัวเลือกที่ 1 ตรงกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับที่สูงที่สุดในตัวเลือกที่ 1 ส่งผลให้ค่าครอสเอนโทรปี เท่ากับ 2.0192 ซึ่งอยู่ระหว่าง 0 ถึงไม่จำกัด (Infinity) โดย 0 คือไม่มีค่าสูญเสียเลย แสดงถึงความมั่นใจในผลการพยากรณ์ของตัวแบบ หากค่าครอสเอนโทรปีมีค่าน้อย แสดงถึงตัวแบบพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับถูกต้องตรงกับผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญได้อย่างมั่นใจ ตรงกันข้ามแม้ผลพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับถูกต้องแต่มีค่าความน่าจะเป็นน้อย ค่าครอสเอนโทรปี ก็จะมีค่ามาก เช่นเดียวกับผลพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับที่ไม่ถูกต้องแม้จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงก็จะทำให้ค่าครอสเอนโทรปีมากตามไปด้วย

2.3.2) การเรียนรู้ซ้ำบนชุดข้อมูลที่กำหนดเอง (Retrain Network on Custom Dataset) โดยค่าการสูญเสียที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญกับผลการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของป้ายกำกับ และผลการประเมินความหมายของรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญคำนวณจากพารามิเตอร์ค่าน้ำหนัก (Weight) ดังนั้นจะทำให้สามารถปรับพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับค่าการสูญเสีย เพื่อให้ค่าการสูญเสียในการพยากรณ์น้อยที่สุดตามแนวคิดการแผ่กระจายย้อนหลัง (Backpropagation) ก่อนจะนำไปเรียนรู้ซ้ำอีกครั้งด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเองบนชุดข้อมูล Flickr30k จำนวน 31,783 รูปภาพ และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองจำนวน 92,168 รูปภาพ รวมทั้งสิ้น 123,951 รูปภาพ

2.3.3) การเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงความหมายด้วยตนเอง (Semantic Similarity Self-supervised) [35] เมื่อตัวแบบได้เรียนรู้ซ้ำเพื่อจดจำคุณลักษณะเชิงความหมายในรูปแบบแนวคิดที่เป็นนามธรรมของรูปภาพบนชุดข้อมูลแบบติดป้ายกำกับอัตโนมัติ (Automatically Labeled) เนื่องจากแบบจำลองมีการเรียนรู้จากรูปภาพที่ไม่จำเป็นต้องมีป้ายกำกับล่วงหน้า (Unlabeled Image) แต่ต้องมีป้ายกำกับสำหรับการค้นหา และใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ (Relations) หรือความเกี่ยวข้อง (Correlations) ระหว่างคุณสมบัติของข้อมูลอินพุตที่แตกต่างกัน โดยบังคับให้แบบจำลองเรียนรู้การแสดงความหมายเกี่ยวกับข้อมูล จากนั้นชุดความรู้ (Knowledge) ที่เป็นผลลัพธ์จากการเรียนรู้ด้วยตนเองจะถูกถ่ายโอนการเรียนรู้ไป



ยังแบบจำลองเพื่อใช้สำหรับงานหลัก (Main Task) เพื่อติดป้ายกำกับข้อมูลให้กับรูปภาพ (Labeled Image) เปรียบเทียบกับแนวคิดระดับสูงในรูปแบบนามธรรมของรูปภาพที่ได้จากการเรียนรู้ความคล้ายคลึงเชิงความหมาย (Semantic Similarity) ก่อนจะสร้างเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะรูปภาพจัดเก็บไว้ในชุดคำอธิบายรูปภาพ (Image Description Set) ต่อไป

3) การสร้าง (Construction) แบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายพัฒนาขึ้นด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนบน Google Colaboratory เพื่อลดระยะเวลาการประมวลผลของเครื่อง เนื่องจากคอมพิวเตอร์ทั่วไปการเรียนรู้ของตัวแบบ 1 ครั้งอาจใช้เวลาถึง 2-3 ชั่วโมง แต่บน Google Colaboratory นั้นจะใช้เวลาประมาณ 30-35 นาที อีกทั้งการเรียนรู้นั้นอาจต้องทำหลายสิบครั้งไปจนถึงหลายร้อยครั้ง ดังนั้นการเรียนรู้ของตัวแบบบนคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะต้องใช้เวลานานมาก

4) การทดสอบและการกลับมาตรวจสอบซ้ำ (Testing and Turnover) เพื่อประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายแบบไม่ทราบจำนวนผลลัพธ์ที่ถูกต้อง (Order-Unaware Metrics) [36] ที่ใช้ค้นคืนเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง เช่น ค้นคืนเนื้อหาหรือวิดีโอบนเว็บไซต์ที่มีผลลัพธ์จำนวนมากและไม่สามารถระบุจำนวนผลลัพธ์ที่ถูกต้องทั้งหมดได้ โดยผู้วิจัยระบุข้อความค้นหาที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพ (Qualitative semantic concepts of the image) ในรูปแบบภาษาอังกฤษจำนวน 30 รายการ ภายใต้แนวคิดระดับสูงของรูปภาพที่อยู่ในลักษณะนามธรรมบนชุดข้อมูล Flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง แต่ละรายการแสดงผล 5 รูปภาพ แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ร่วมกันประเมินผลลัพธ์จากการค้นคืนแต่ละครั้งแบบเป็นอิสระต่อกัน ประกอบด้วย

4.1) ค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ (Mean Reciprocal Rank: MRR) เพื่อประเมินความสามารถในการค้นคืนรูปภาพอันดับแรกที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหาจากจำนวนผลการค้นคืนทั้งหมด [36, 37] ดังสมการที่ 4 เมื่อ Q คือจำนวนการสืบค้นทั้งหมด และ $Rank_q$ คือ ลำดับของผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องอันดับแรก ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินผลรูปภาพตามความเกี่ยวข้องลำดับที่ 1 ที่พบจาก 5 รูปภาพต่อข้อความค้นหาแต่ละรายการ

$$MRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q \frac{1}{Rank_q} \quad (4)$$

ตัวอย่างข้อความค้นหา 3 รายการได้แก่ 1) move forward together 2) feel alone in the city และ 3) strive for victory ที่ผ่านการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 ดังตารางที่ 2 มีค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ เท่ากับ 0.567

จากตารางที่ 2 จะดำเนินการกับข้อความค้นหาไปจนครบทั้ง 30 รายการ แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ร่วมกันประเมินลำดับของผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องอันดับแรก โดยในแต่ละรายการจะยึดลำดับของรูปภาพที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบ 2 ใน 3 ตรงกันข้ามหากผลลัพธ์จากรายการค้นหาใดที่นอกเหนือจากเงื่อนไขที่กำหนดจะถือว่าค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับในรายการนั้นจะเท่ากับ 0 คะแนน ก่อนจะคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับรวมของตัวแบบจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

ตารางที่ 2 การประเมินค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับจากข้อความค้นหา 3 รายการ ผ่านการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

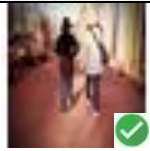
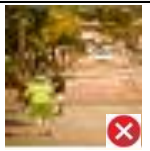
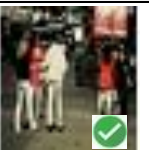
Query	Reciprocal Rank					MRR
	1)	2)	3)	4)	5)	
1) move forward together						$Query1: \frac{1}{Rank_1} = \frac{1}{1} = 1.0$
2) feel alone in the city						$Query2: \frac{1}{Rank_2} = \frac{1}{5} = 0.2$
3) strive for victory						$Query3: \frac{1}{Rank_3} = \frac{1}{2} = 0.5$
						$\sum_{q=1}^Q \frac{1}{Rank_q} = \frac{(1.0+0.2+0.5)}{3} = 0.567$

4.2) ค่าความครบถ้วน (Recall) เป็นอัตราส่วนของรูปภาพที่เกี่ยวข้อง และถูกค้นคืนออกมาจากจำนวนรูปภาพที่เกี่ยวข้องทั้งหมด แทนจำนวนผลลัพธ์จากการค้นคืนด้วย k [36, 37] ที่ถูกใช้ในการประเมินว่าตัวแบบนั้นมีประสิทธิภาพในการค้นคืนรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหาจากผู้ใช้งานหรือไม่ โดยมุ่งพิจารณาเฉพาะรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหาเท่านั้น กำหนดให้ $@k$ เป็นจำนวนเต็มของรายการที่พิจารณาตามลำดับที่กำหนด เพื่อลดข้อจำกัดของการค้นคืนที่มีผลลัพธ์จำนวนมากและไม่สามารถระบุจำนวนผลลัพธ์ที่ถูกต้องทั้งหมดได้ ดังสมการที่ 5

$$\text{Recall}@k = \frac{TP@k}{(TP@k) + (FN@k)} \quad (5)$$

ผลลัพธ์จากข้อความค้นหา “move forward together” จำนวน 5 รูปภาพ ที่ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 ประเมินว่าถูกต้องจำนวน 3 รูปภาพ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินค่าความครบถ้วนจำนวน 5 รูปภาพ ที่ผ่านการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

Rank	1)	2)	3)	4)	5)
k					
$\text{Recall}@k$	$\frac{1}{(1+2)} = \frac{1}{3} = 0.33$	$\frac{1}{(1+2)} = \frac{1}{3} = 0.33$	$\frac{2}{(2+1)} = \frac{2}{3} = 0.67$	$\frac{2}{(2+1)} = \frac{2}{3} = 0.67$	$\frac{3}{(3+0)} = \frac{3}{3} = 1.00$

จากตารางที่ 3 จะดำเนินการกับข้อความค้นหาไปจนครบทั้ง 30 รายการแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ร่วมกันประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ หากรูปภาพใดมีผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญถูกต้องทั้งหมดจะถือว่ารูปภาพนั้นถูกต้องตามข้อความค้นหา เท่ากับ 1 คะแนน ตรงกันข้ามหากรูปภาพใดที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าไม่ถูกต้องแม้เพียงท่านเดียว จะถือว่ารูปภาพนั้นไม่ถูกต้อง เท่ากับ 0 คะแนน ก่อนจะคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยความครบถ้วนของตัวแบบจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

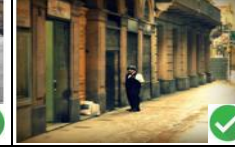
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย โดยใช้ตัวแบบการเรียนรู้เชิงลึกที่ถูกฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ ผลการประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายบนชุดข้อมูลรูปภาพ Flickr30k เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่ถูกวิจัยรวบรวมเองด้วยค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ (MRR) และค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับ ดังตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายบนชุดข้อมูล Flickr30k ที่ผ่านการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญความคลาดเคลื่อน (Error) คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากแสดงว่าการวัดนั้นมีความถูกต้องสูง [38] โดยการวัดทุกครั้งมักมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ 1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้วัด (Human Error) อันเกิดจากความประมาทเลินเล่อในการวัด 2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) มักเกิดจากเครื่องมือวัดไม่ได้ประสิทธิภาพ และ 3) ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Error) ซึ่งความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และ 2 สามารถจัดการได้ด้วยความรอบคอบ ระวัง และ การพัฒนาเครื่องมือวัดให้มีประสิทธิภาพ แต่ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 3 นั้นไม่มีทางกำจัดให้หมดไปได้ เนื่องจากอยู่นอกเหนือการควบคุม จึงมักใช้การวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนลดน้อยลง ดังนั้นเมื่อครบรอบจะทำการประเมินอีกจนครบ 3 รอบด้วยข้อความค้นหาเดิมแบบผลลัพธ์เป็นอิสระต่อกัน แล้วนำผลการประเมินมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนลดน้อยลงจนถึงในระดับที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 5



ตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายที่ผ่านการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

1) move forward together				
				
2) feel alone in the city				
				
n) ...				
...	...	...	...	...
30) strive for victory				
				

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ และค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับจากการค้นคืนรูปภาพ

Dataset	MRR	Recall @ k		
		$k = 1$	$k = 3$	$k = 5$
Flickr30k	0.628	0.585	0.664	0.761
Custom	0.617	0.572	0.632	0.731

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายด้วยค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ และค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับจากการค้นคืนรูปภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน เมื่อพิจารณาไปในรายละเอียด พบว่า

1) ผลการวัดประสิทธิภาพในการจัดอันดับด้วยค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ (MRR) ซึ่งจะพิจารณาความแม่นยำในการค้นคืนรูปภาพใน k อันดับแรกแล้ว จะต้องพิจารณาด้วยว่ารูปภาพที่คาดว่าจะจะเป็นรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหานั้นถูกค้นคืนมาในอันดับที่ใดในจำนวน k รูปภาพที่ถูกค้นคืน หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ารูปภาพที่ค้นคืนได้ใน k อันดับแรกยอมรับได้ ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้พบว่าค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับบนชุดข้อมูล Flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองมีค่าเท่ากับ 0.628 และ 0.617 ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง $k = 5$ โดยค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับจะสะท้อนถึงพฤติกรรมของผู้ใช้ต้องการเพียงผลลัพธ์ที่ตนเองสนใจเท่านั้น [39] ดังนั้นผลลัพธ์จำนวนมากจากการค้นคืนอาจทำให้ผู้ใช้เสียเวลาคัดเลือกรูปภาพที่ตรงกับความต้องการอย่างแท้จริง โดย Jansen และ Spink [40] พบว่า ผู้ใช้จะเรียกดูเอกสารไม่เกิน 5 รายการที่ค้นคืนมีเพียงผู้ใช้ร้อยละ 28.3 เท่านั้นที่เรียกดูเพียง 2-3 รายการ อีกทั้งร้อยละ 55 จะเรียกดูผลลัพธ์เพียง 1 รายการต่อ 1 คำค้นหา และมีแนวโน้มจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งนับเป็นความสูญเสียทางสารสนเทศ เนื่องจากเป็นไปได้น้อยมากที่ผู้ใช้จะเลือกรูปภาพจากการค้นคืนทั้งหมด จึงเป็นการเสียโอกาสสำหรับผู้ใช้งานหากมีรูปภาพบางส่วนที่ไม่ถูกเรียกดู ดังนั้นระบบค้นคืนรูปภาพจึงต้องมุ่งเพิ่มค่าความครบถ้วนอันดับ 1, 3 และ 5 ที่เกี่ยวข้องกับข้อความค้นหาเป็นหลักเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้

2) ผลการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายจากคำค้นที่อธิบายความหมายเชิงคุณภาพของรูปภาพที่ค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับ จำนวน 1, 3 และ 5 รูปภาพบนชุดข้อมูล Flickr30k นั้นมีค่าความครบถ้วนเฉลี่ย 0.585, 0.664 และ 0.761 ตามลำดับ แสดงถึงการฝึกฝนล่วงหน้าแบบคอนทราสต์ระหว่างรูปภาพและข้อความของแบบจำลองการค้นคืนรูปภาพดิจิทัลเชิงความหมายนั้นสามารถแก้ปัญหาช่องว่างความหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยสนับสนุนผู้ใช้ด้วยคำค้นในรูปแบบภาษาธรรมชาติที่ยึดโยงกับความหมายของรูปภาพ แทนที่จะยึดตามหลักไวยากรณ์ของภาษา อย่างไรก็ตามแนวคิดระดับสูงในรูปแบบนามธรรมนั้นมีความซับซ้อน เนื่องจากมีอารมณ์และความรู้สึกเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการแปลความหมายจึงเป็นไปตามหลักการรับรู้ของมนุษย์ (Human Perception) [41] ซึ่งมีที่มาจากประสบการณ์หรือความรู้เดิมของแต่ละบุคคลจึงแตกต่างกัน

3) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมายบนชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองนั้น พบว่าค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับ จำนวน 1, 3 และ 5 รูปภาพนั้นเท่ากับ 0.572, 0.632 และ 0.731 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูล Flickr30k ที่นำมาใช้ฝึกฝนตัวแบบ พบว่า ติดกันค่าความครบถ้วนที่ k จะลดลงเล็กน้อยและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งค่าความถูกต้องและค่าความครบถ้วนเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ต่างกลุ่มกันไป โดยผู้ใช้จะให้ความสำคัญกับค่าความถูกต้องมากกว่าค่าความครบถ้วน เนื่องจากผู้ส่วนใหญ่ต้องการให้ข้อมูลที่ตรงที่สุดกับสิ่งที่ต้องการค้นหา แต่ในทางกลับกันระบบค้นคืนรูปภาพนั้นจะเน้นไปที่ค่าความครบถ้วน เนื่องจากต้องการให้ระบบค้นคืนรูปภาพที่ถูกต้องจากชุดข้อมูลให้ได้มากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยต่อไปจึงควรวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยค่าความถูกต้องมาประกอบด้วย

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพเชิงความหมาย พบว่า 1) ค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับ (MRR) บนชุดข้อมูล Flickr30k และชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเองมีค่าเท่ากับ 0.628 และ 0.617 ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง $k = 5$ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Le และคณะ [29] ที่ประยุกต์ใช้ตัวแบบ CLIP มาเรียนรู้คำอธิบายภาษาธรรมชาติเพื่อการจำแนกรถยนต์ในมุมมองที่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับเท่ากับ 0.477 งานวิจัยของ Bianchi และ คณะ [42] ที่ประยุกต์ใช้ตัวแบบ CLIP มาใช้ค้นคืนรูปภาพจากการฝึกฝนตัวแบบให้เรียนรู้ข้อความบรรยายรูปภาพที่แปลงจากภาษาอังกฤษเป็นภาษาอิตาลีที่มีค่าเฉลี่ยส่วนกลับของลำดับเท่ากับ 0.504 2) ค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับ จำนวน 1, 3 และ 5 รูปภาพบนชุดข้อมูล Flickr30k นั้นมีค่าความครบถ้วนเฉลี่ย 0.585, 0.664 และ 0.761 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามก็ตีผลลัพธ์จำนวนมากอาจทำให้ผู้ใช้เสียเวลาคัดเลือกรูปภาพที่ตรงกับความต้องการอย่างแท้จริง ดังนั้นระบบค้นคืนรูปภาพจึงต้องมุ่งเพิ่มค่าความครบถ้วนอันดับ 1, 3 และ 5 เป็นหลักเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ที่มีแนวโน้มการเรียกดูจำนวนผลลัพธ์จากการค้นคืนที่ลดลงเรื่อย ๆ และ 3) ค่าความครบถ้วนที่ k ลำดับจำนวน 1, 3 และ 5 รูปภาพบนชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมเอง เท่ากับ 0.572, 0.632 และ 0.731 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการค้นคืนบนชุดข้อมูล Flickr30k นั้นจะลดลงเล็กน้อยแต่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และไม่เกิดปัญหาที่ตัวแบบจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อทำงานกับข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อน อย่างไรก็ตามก็ปัญหาช่องว่างความหมายของรูปภาพนั้นยากที่จะทำให้หมดไป ทำได้เพียงลดช่องว่างความหมายระหว่างคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้ และรูปภาพลงด้วยเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ เท่านั้น [43] งานวิจัยต่อไปจึงควรให้ความสำคัญกับการลดช่องว่างความหมายของข้อความค้นหาจากผู้ควบคุมไปกับการวิเคราะห์ความหมายของรูปภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นคืนให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Broz M. Number of Photos (2023): Statistics, Facts, & Predictions. [Internet]. 2023 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://photutorial.com/photos-statistics/>



2. Tyagi V. Content-Based Image Retrieval Ideas, Influences, and Current Trends. Gateway East: Springer; 2017.
3. Alkhawlan M, Elmogy M, Elbakry H. Content-Based Image Retrieval using Local Features Descriptors and Bag-of-Visual Words. *Int J Adv Comput Sci Appl* 2015;6(9):212-9.
4. Marques O, Furht B. Content-based image and video retrieval. New York: Springer; 2002.
5. Barz B. Semantic and Interactive Content-based Image Retrieval. Ph.D. Dissertation, Friedrich Schiller University Jena. Germany; 2020.
6. Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep Learning. Massachusetts: MIT Press; 2016.
7. Aggarwal CC. Neural Networks and Deep Learning A Textbook. Cham: Springer; 2018.
8. McConnell S. Rapid Development: Taming Wild Software Schedules. Washington, D.C.: Microsoft Press; 1996.
9. Manning CD, Raghavan P, Schütze H. Introduction to information retrieval. Cambridge: Cambridge University Press; 2008.
10. Perret B. Hierarchical image analysis: theory, algorithms, and applications. [Internet]. 2021 [cited 2023 May 28]. Available from: https://hal.science/tel-03231061/file/HDR_BP.pdf
11. Liu Y, Zhang J, Tjondronegoro D, Geve S. A Shape Ontology Framework for Bird Classification. In: proceedings of the 9th Biennial Conference of the Australian Pattern Recognition Society on Digital Image Computing Techniques and Applications, December 3-5, 2007; South Australia, Australia; 2007. p. 478-84.
12. Liu Y, Huang Y, Zhang S, Zhang D, Ling N. Integrating object ontology and region semantic template for crime scene investigation image retrieval. In: proceedings of the 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), June 18-20, 2017; Siem Reap, Cambodia; 2017. p. 149-53.
13. Dong H, Wang Z, Qiu Q, Sapiro G. Using Text to Teach Image Retrieval. [Internet]. 2020 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/2011.09928.pdf>
14. Mikolajczyk A, Grochowski M. Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. In: proceedings of the 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW), May 9-12, 2018; Swinoujscie, Poland; 2018. p. 117-22.
15. Roh Y, Heo G, Whang SE. A Survey on Data Collection for Machine Learning: A Big Data - AI Integration Perspective. *IEEE Trans Knowl Data Eng* 2019;33(4):1328-47.
16. Althnian A, AlSaeed D, Al-Baity H, Samha A, Dris AB, Alzakari N, Elwafa AA, Kurdi H. Impact of Dataset Size on Classification Performance: An Empirical Evaluation in the Medical Domain. *Appl Sci* 2021;11(2):796-813.
17. Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, Uszkoreit J, Jones L, Gomez A, Kaiser L, Polosukhin I. Attention Is All You Need. In: proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), December 4 - 9, 2017; NY, USA; 2017. p. 6000-10.



18. Dosovitskiy A, Beyer L, Kolesnikov A, Weissenborn D, Zhai X, Unterthiner T, Dehghani M, Minderer M, Heigold G, Gelly S, Uszkoreit J, Houlsby N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. In: proceedings of the 9th International Conference on Learning Representations 2021 (ICLR 2021), May 3 - 7, 2021; Virtual Event, Austria; 2021. p. 1-21.
19. Plummer BA, Wang L, Cervantes CM, Caicedo JC, Hockenmaier J, Lazebnik S. Flickr30k Entities: Collecting Region-to-Phrase Correspondences for Richer Image-to-Sentence Models. [Internet]. 2015 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1505.04870.pdf>
20. Brase CH, Brase CP. Understanding Basic Statistics. Boston: Cengage Learning; 2018.
21. Mumuni A, Mumuni F. Data augmentation: A comprehensive survey of modern approaches. Array 2022;16(2022):100258.
22. Xu M, Yoon S, Fuentes A, Park DS. A Comprehensive Survey of Image Augmentation Techniques for Deep Learning. Pattern Recognition 2023;137(2023):109347.
23. Mitchell R. Web Scraping with Python: Collecting Data from the Modern Web. 2nd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media Inc.; 2018.
24. Radford A, Kim JW, Hallacy C, Ramesh A, Goh G, Agarwal S, Sastry G, Aspell A, Mishkin P, Clark J, Krueger G, Sutskever I. Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision. [Internet]. 2021 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/2103.00020.pdf>
25. Baltrusaitis T, Ahuja C, Morency L. Multimodal Machine Learning: A Survey and Taxonomy. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2019;41(2):423-33.
26. Weers F, Shankar V, Katharopoulos A, Yang Y, Gunte T. Masked Autoencoding Does Not Help Natural Language Supervision at Scale. In: proceedings of the 2023 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 18-22, 2023; Vancouver, Canada; 2023. p. 1-19.
27. Zizka J, Darena F, Svoboda A. Text Mining with Machine Learning Principles and Techniques. Boca Raton: CRC Press; 2020.
28. Nwankpa C, Ijomah W, Gachagan A, Marshall S. Activation Functions: Comparison of trends in Practice and Research for Deep Learning. [Internet]. 2018 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1811.03378.pdf>
29. Le HD, Nguyen QQ, Nguyen VA, Nguyen TD, Chung NM, Thái T, Ha SV. Tracked-Vehicle Retrieval by Natural Language Descriptions with Domain Adaptive Knowledge. In: proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops, June 19-20, 2022; Los Angeles, USA; 2022. p. 3300-9.
30. Xie C, Sun S, Xiong X, Zheng Y, Zhao D, Zhou J. RA-CLIP: Retrieval Augmented Contrastive Language-Image Pre-training. In: proceedings of the 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 17-24, 2023; Vancouver, Canada; 2023. p. 19265-74.



31. Barz B, Denzler J. Content-based Image Retrieval and the Semantic Gap in the Deep Learning Era. In: proceedings of the International Workshop on Content-Based Image Retrieval: where have we been, and where are we going (CBIR 2020), January 10, 2021; Milan, Italy; 2021. p. 2-19.
32. Srisa-ard O. Validation of measurement tools by experts. JEM-MSU 2018;1(1):45-9.
33. Christian B. The Most Human Human: What Talking with Computers Teaches Us About What It Means to Be Alive. New York: Doubleday; 2011.
34. Rosebrock A. Deep Learning for Computer Vision with Python. New York: PYIMAGESEARCH; 2017.
35. Sawarka K. Deep Learning with PyTorch Lightning Swiftly build high-performance Artificial Intelligence (AI) models using Python. Birmingham: Packt Publishing; 2022.
36. Chaudhary A. Evaluation Metrics For Information Retrieval. [Internet]. 2023 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://amitnness.com/2020/08/information-retrieval-evaluation/>
37. Carnevali L, Briggs J. Metrics in Information Retrieval. [Internet]. 2023 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://www.pinecone.io/learn/offline-evaluation/>
38. Sangsuriyong R. Risks of Error in the Quantitative Sociology Research. JHSS BUU 2022;30(1):158-85.
39. Jansen BJ, Spink A. How are we searching the world wide web? A comparison of nine search engine transaction logs. Inform Process Manag 2006;42(1):248-63.
40. Jansen BJ, Spink A. An Analysis of Web Documents Retrieved and Viewed. In: proceedings of the 4th International Conference on Internet Computing, April 26-28, 2003; Chennai, India; 2003. p. 65-9.
41. Dix A, Finlay J, Abowd GD, Beale R. Human-Computer Interaction. 3rd ed. Harlow: Pearson; 2004.
42. Bianchi F, Attanasio G, Pisoni R, Terragni S, Sarti G, Lakshmi S. Contrastive Language-Image Pre-training for the Italian Language. [Internet]. 2021 [cited 2023 May 28]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/2108.08688.pdf>
43. Liu C, Song G. A Method of Measuring the Semantic Gap in Image Retrieval: Using the Information Theory. In: proceedings of the 2011 International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP 2011), October 21-23, 2011; Hubei, China; 2011. p. 1-5.

การเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม สำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต

Improving Performance of Rule-Based Predictive Models Using Ensemble Learning Technique for Predicting Graduates' Employability

ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์^{1*} อภินันท์ จุ่นกรณ¹ มงคล รอดจันทร² และพุดธิยา รัตนศิริวัฒน์³

¹สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

³สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

Paranya Palwisut^{1*}, Apinan Junkorn¹, Mongkol Rodjan² and Phutthiya Ratanasiriwat³

¹Department of Data Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000

²Department of Computer Technology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000

³Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000

*Corresponding author: paranya@npru.ac.th

Received: 29 June 2023/ Revised: 20 September 2023/ Accepted: 27 September 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคแบบรวมกลุ่มสำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต การพยากรณ์ตามกฎที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัยจำนวน 4 เทคนิค ได้แก่ MODEL, PART, J48 และ Random Trees ได้เพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Boosting Method แบบ AdaBoost ใช้ 10-fold cross validation ในการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสอนและชุดข้อมูลทดสอบ และได้ใช้ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงดุล ในการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของตัวแบบ ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ตัวแบบเพิ่มขึ้นในทุกเทคนิคที่ได้นำมาเปรียบเทียบสรุปได้ว่าค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 6.99 ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 6.90 ค่าความระลึกเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 7.05 และค่าความถ่วงดุลเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 7.15 โดยที่ตัวแบบพยากรณ์จากอัลกอริทึม J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วย



วิธี AdaBoost เป็นตัวแบบที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 89.47 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 89.50 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 89.50 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 89.50

คำสำคัญ: ตัวแบบตามกฎ การเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม การมีงานทำของบัณฑิต

Abstract

This research proposes to compare the efficiency rule-based predictive models using ensemble learning techniques to improve the predictive performance for graduates' Employability. Four rule-based techniques were used: MODEL, PART, J48, and Random Trees, and predictive performance was improved using ensemble learning techniques based on Boosting Method (AdaBoost). Moreover, 10-fold cross-validation was utilized to split the data into the training and test set. This research has measured performance models with accuracy, precision, recall, and f-measure. The experimental result demonstrated that improving the performance of rule-based predictive models using ensemble learning techniques can increase performance for all techniques, that the accuracy increased by an average of 6.99%, the precision increased by an average of 6.90%, the recall increased by an average of 7.05%, and the f-measure increased by an average of 7.15%. The predictive model from the J48 algorithm combined with AdaBoost highest efficiency with accuracy 89.47%, precision 89.50%, recall 89.50%, and f-measure 89.50%.

Keywords: Rule-Based Models, Ensemble Learning, Graduates Employability

บทนำ

ปัจจุบันแต่ละปีจะมีบัณฑิตผู้สำเร็จการศึกษาเพื่อเข้าสู่ตลาดแรงงานในสาขาวิชาชีพตามกลุ่มอาชีพต่าง ๆ และตามประเภทงานที่บัณฑิตสนใจเป็นจำนวนมาก สถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่งได้มีการจัดเก็บข้อมูลภาวะการมีงานทำของบัณฑิต เช่น สถานะภาพการทำงาน ระยะเวลาในการหางานทำ ลักษณะอาชีพ เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนเพื่อผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพ ตรงกับความต้องการของตลาดแรงงาน ซึ่งได้จัดเก็บเป็นประจำในแต่ละปี และข้อมูลที่ถูกรวบรวมมีปริมาณมากขึ้นและข้อมูลเหล่านั้นมีองค์ความรู้สำคัญซ่อนอยู่ การนำข้อมูลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สามารถช่วยในการพัฒนาหลักสูตรให้มีศักยภาพในการแข่งขันเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงานได้อย่างแท้จริง

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) [1] คือการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือวิธีการทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือจัดเก็บในรูปแบบอื่น การวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นความรู้ที่ถูกซ่อนอยู่ในฐานข้อมูล เพื่อนำความรู้สารสนเทศที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ วางแผนการตัดสินใจในด้านต่างๆ การทำเหมืองข้อมูลนั้นมีเทคนิคที่สามารถประยุกต์ใช้ได้มากมาย ได้มีงานวิจัยด้านการศึกษาค้นคว้าจากข้อมูลที่มีอยู่ในสถาบันอุดมศึกษาโดยนำเหมืองข้อมูลมาประยุกต์ใช้เป็นจำนวนมาก เช่น ตัวอย่างงานวิจัยของปริญญาและคณะ [2] ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาตัวแบบเทคโนโลยีสารสนเทศเกี่ยวกับการคาดการณ์อาชีพในอนาคตของบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา สำราญและคณะ [3] ได้ทำการการศึกษาเทคนิคพยากรณ์อาชีพสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

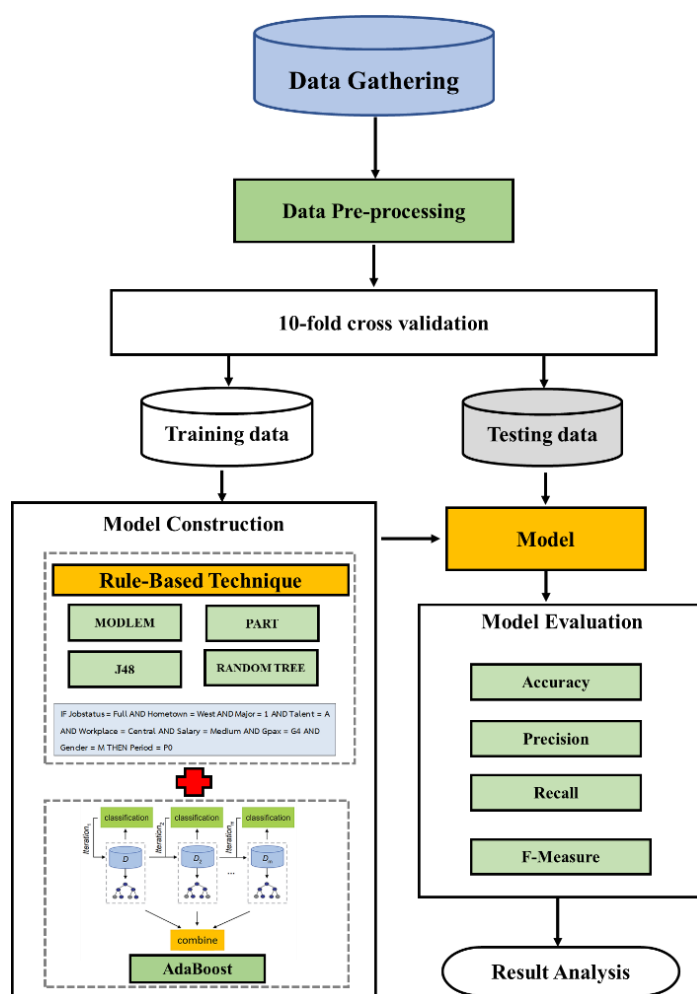
เทคนิคการพยากรณ์ตามกฎ (Rule-Based Technique) [4] ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของเหมืองข้อมูลโดยได้ใช้ชุดลำดับของกฎมาสร้างรูปแบบการแยกประเภทข้อมูล ส่วนใหญ่แล้วจะใช้กฎที่เป็น If...Then ซึ่งเป็นกฎอย่างง่าย ได้มีการนำเทคนิคการพยากรณ์ตามกฎมาใช้ในการวิจัยด้านการศึกษา เช่น วรารินทร์ [5] ได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบกฎการพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการสำเร็จการศึกษาของนิสิตคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม นนทวัฒน์ และคณะ [6]

ได้สร้างระบบทำนายการฟื้นสภาพของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) มาช่วยในการสร้างกฎ เป็นต้น ในการสร้างตัวแบบกฎการพยากรณ์มีข้อดีคือง่ายต่อการแปลผลตัวแบบและมีข้อเสียคือประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ไม่สูงนัก จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอการรวมเทคนิคมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแบบ เช่น ปัทมาและจารี [7] ได้เพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบตามกฎ ได้แก่ FURIA, MODLEM และ RIPPER ด้วยเทคนิคแบบรวมกลุ่ม (Ensemble Techniques) ซึ่งทำให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์เพิ่มขึ้น

ดังนั้นในบทความวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้มีการจัดเก็บมาเข้าสู่กระบวนการทำเหมืองข้อมูล เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วยการพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎสำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิตและเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สถานศึกษาได้นำไปประยุกต์ใช้พยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิตได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มสำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต โดยได้ดำเนินการตามกระบวนการ CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) ซึ่งเป็นกระบวนการมาตรฐานในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเทคนิคเหมืองข้อมูล สรุปเป็นกรอบแนวคิด ได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย



1. การทำความเข้าใจปัญหา (Business Understanding)

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเพื่อทำความเข้าใจปัญหาที่จะทำ และได้ทำการศึกษาเอกสารความรู้ งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์การมีงานทำของบัณฑิต ทั้งในส่วนของเทคนิคที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ศึกษาปัญหา

สถาบันอุดมศึกษาแต่ละแห่งได้มีการจัดเก็บข้อมูลภาวะการมีงานทำของบัณฑิตและข้อมูลที่ถูกจัดเก็บมีปริมาณมากขึ้นและข้อมูลเหล่านั้นมีองค์ความรู้สำคัญซ่อนอยู่ การนำข้อมูลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สามารถช่วยในการพัฒนาหลักสูตรให้มีศักยภาพในการแข่งขันการเข้าทำงานของนักศึกษา และสามารถตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงานได้ ซึ่งการทำเหมืองข้อมูลสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บไว้เพื่อหาองค์ความรู้ที่ถูกซ่อนอยู่ในข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ การวางแผน และการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) เหมืองข้อมูล

เหมืองข้อมูล [1] เป็นหนึ่งในความรู้สมัยใหม่ที่ได้รับการนิยามอย่างมากในปัจจุบัน โดยได้ถูกประยุกต์ใช้ในแทบทุกองค์กรไม่ว่าจะเป็นภาครัฐและเอกชนเพื่อใช้ในการตัดสินใจ การวางแผนกลยุทธ์ การปรับปรุงการให้บริการและการดำเนินงานต่าง ๆ ในองค์กร เหมืองข้อมูลเป็นการทำงานที่เน้นการค้นหาสารสนเทศหรือองค์ความรู้จากข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อนำสิ่งที่ได้มาซึ่งใช้เป็นประโยชน์ โดยเหมืองข้อมูลเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางสถิติ ปัญญาประดิษฐ์ การรู้จำ และฐานข้อมูลเข้าด้วยกัน

2) เทคนิคการพยากรณ์ตามกฎ (Rule-Based Technique)

เทคนิคการพยากรณ์ตามกฎ [7] เป็นการพยากรณ์ข้อมูลด้วยกฎ เป็นตัวแบบที่แสดงผลด้วยเซตของกฎที่มีลักษณะแบบ ‘IF-THEN’ ซึ่งกฎหนึ่งๆ จะถูกแสดงอยู่ในรูปฟอร์ม IF condition THEN conclusion จากรูปแบบฟอร์มของกฎจะประกอบไปด้วยข้อมูลสองส่วนด้วยกัน [8] คือ ส่วนแรก ส่วนเงื่อนไข ‘IF’ จะเป็นส่วนที่เรียกว่า ‘rule antecedent’ หรือ ‘precondition’ ประกอบไปด้วยเซตของแอทริบิวต์ต่างๆ ประกอบกันเป็นเงื่อนไข โดยส่วนเงื่อนไขของกฎจะทำการเชื่อมโยงแอทริบิวต์ต่างๆ เข้าด้วยกันด้วยเครื่องหมาย AND เป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดไว้ทั้งหมดในส่วนที่สองจะเรียกว่า ‘rule consequence’ ที่จะมีหมวดหมู่ของข้อมูลบรรจุอยู่

เทคนิคการพยากรณ์ตามกฎที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย จำนวน 4 เทคนิค มีดังนี้

- MODEL [9] เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อสร้างกฎที่กำหนดไว้สำหรับการจำแนกประเภทที่มีประสิทธิภาพและเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกประเภทโดยการรวมตัวจำแนกประเภทต่าง ๆ อัลกอริทึมกฎการอุปนัย (Rule Induction) ที่เรียกว่าเทคนิค MODEL ในกรอบของตัวจำแนกประเภทรวมกัน ได้แก่ bagging, n 2-classifier และ combiner aggregation

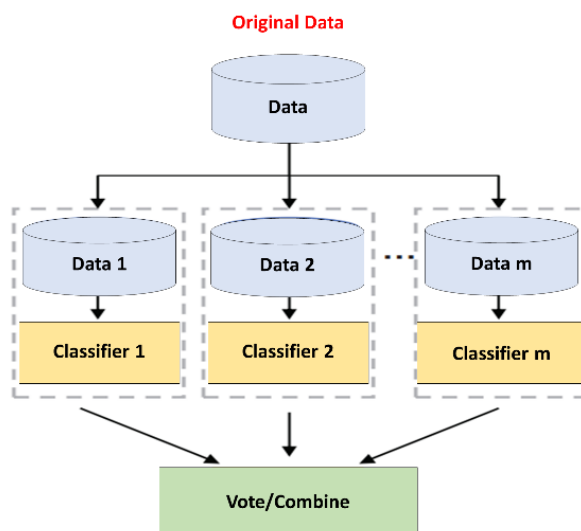
- PART [10] เป็นเทคนิคการเรียนรู้กฎที่พัฒนาจาก C4.5 และ RIPPER โดยรวมทั้ง 2 เทคนิคเข้าด้วยกัน มีจุดเด่นคือ เรียนรู้กฎได้เองเหมือนเทคนิค RIPPER และสามารถจัดการกับข้อมูลที่หายไปและคุณลักษณะทางตัวเลขที่ต่างกันได้ดี

- J48 [11] หรืออัลกอริทึมของ C4.5 เป็นอัลกอริทึมในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจจากกลุ่มของข้อมูลฝึกสอน โดยใช้ความถูกต้องของแต่ละคุณลักษณะของข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจแบ่งกลุ่มข้อมูลกลุ่มย่อย ๆ โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างใน Entropy ผลลัพธ์จากการเลือกคุณลักษณะสำหรับแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยค่า normalized information gain ที่สูงสุด

- Random Trees (RT) [12] ใช้สำหรับปัญหาการจำแนกประเภทและการถดถอย เป็นที่รวมของต้นไม้ในการพยากรณ์ (tree predictors) ที่เรียกว่าป่า เป็นหนึ่งในกลุ่มของโมเดลที่เรียกว่า Ensemble learning ที่มีหลักการคือการเทรนโมเดลที่เหมือนกันหลายๆ ครั้ง โดยหาค่าเฉลี่ยจากการพยากรณ์ของแบบจำลองที่เป็นอิสระหลายๆ แบบ

3) การเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble Learning)

การเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม [13] เป็นวิธีการรวมเอากลุ่มของตัวจำแนกประเภทข้อมูล (classifier) ที่สร้างขึ้นหลาย ๆ ตัวจำแนกและมีความเป็นอิสระต่อกันมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อช่วยในการตัดสินใจสำหรับการหาคำตอบโดยใช้วิธีการรวม (Combine) หรือด้วยวิธีการโหวต (Voting) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม

จากภาพที่ 2 มีขั้นตอน คือ 1) สร้างข้อมูลใหม่จากข้อมูลเดิม 2) สร้างตัวจำแนกจากข้อมูลที่สร้าง และ 3) รวมตัวจำแนกที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยกันพิจารณาหาคำตอบ ซึ่งเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มนั้น มีเทคนิคอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ Bagging, Boosting และ Stacking สำหรับวิธีการที่มีประสิทธิภาพและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Boosting Method ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

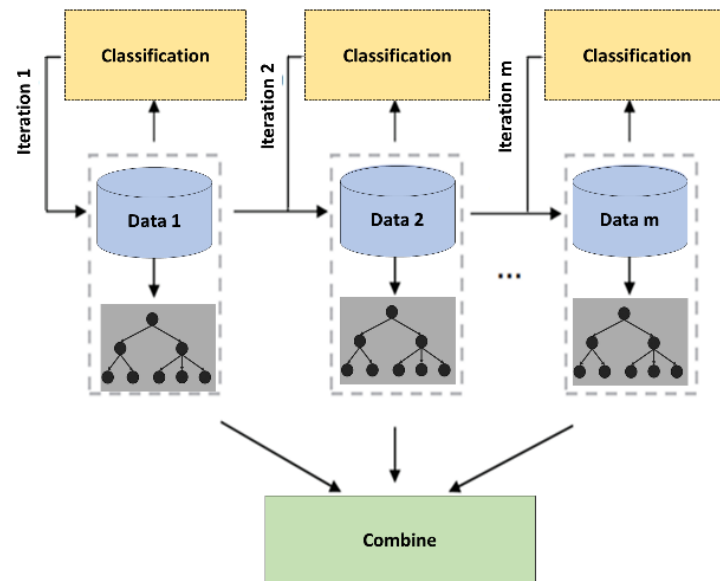
Boosting Method [14] เป็นวิธีการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มที่นิยมนำมาสร้างตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม โดยใช้การถ่วงค่าน้ำหนักให้กับข้อมูลตัวอย่างที่ได้ทำการเรียนรู้ โดยเน้นไปที่การหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเรียนรู้ข้อมูล เรียกว่า “Weak Learning” และในขั้นตอนสุดท้ายจะใช้วิธีรวมตัวจำแนกประเภทที่สร้างขึ้นหลาย ๆ ตัวจำแนกโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยในการถ่วงน้ำหนัก (Mean Weight) และทำการโหวตเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เพียงคำตอบเดียวสำหรับวิธีการของ Boosting ที่นิยมนำมาใช้ คือ Adaptive Boosting (AdaBoost) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Freund, Y. และ Schapire, R.E. วิธีการของ AdaBoost จะทำการถ่วงค่าน้ำหนักให้กับข้อมูลตัวอย่างที่ถูกเรียนรู้ของแต่ละรอบในการสร้างตัวแบบ โดยข้อมูลตัวอย่างที่ทำการจำแนกประเภทได้ถูกต้องจะถูกลดค่าน้ำหนักลง ส่วนข้อมูลตัวอย่างที่ทำการจำแนกประเภทผิดพลาดจะถูกเพิ่มค่าน้ำหนักให้มีความสำคัญมากขึ้นเพื่อให้ข้อมูลนั้นมีโอกาสถูกเลือกในการเรียนรู้ของรอบต่อไป แสดงวิธีการทำงานได้ดังภาพที่ 3

2. การทำความเข้าใจข้อมูลที่จัดเก็บ (Data understanding)

เป็นขั้นตอนที่เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมาเพื่อดูความถูกต้องของข้อมูล และพิจารณาว่าจะใช้ข้อมูลทั้งหมดหรือเลือกข้อมูลบางส่วนมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data gathering)

เป็นขั้นตอนที่เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาสร้างตัวแบบ ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการสร้างตัวแบบได้ทำการรวบรวมจากข้อมูลภาวะการมีงานทำของบัณฑิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2564 จำนวนทั้งสิ้น 13,548 ระเบียบ โดยมีการที่สมบูรณ์สามารถนำมาใช้ได้จำนวน 11,971 ระเบียบ และมีจำนวนคุณลักษณะ (Attribute)



ภาพที่ 3 Boosting Method แบบ AdaBoost

ทั้งหมด 20 คุณลักษณะ หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ทำกรรวบรวมมาได้ เพื่อดูความถูกต้องของข้อมูลและพิจารณาว่าจะใช้ข้อมูลทั้งหมดหรือจำเป็นต้องเลือกคุณลักษณะบางส่วนมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งคุณลักษณะที่คัดเลือกมาใช้ในการสร้างตัวแบบได้ตัดคุณลักษณะที่ไม่มีผลต่อการสร้างตัวแบบ เช่น รหัสนักศึกษา ชื่อ นามสกุล เบอร์ติดต่อ หมู่เรียน จนได้คุณลักษณะที่นำมาสร้างตัวแบบจำนวนทั้งสิ้น 13 คุณลักษณะ

2.2 การอธิบายข้อมูล (Describe data)

ทำการอธิบายข้อมูลที่นำมาสร้างตัวแบบ เช่น อธิบายถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ในตาราง อธิบายถึงลักษณะของข้อมูลที่นำมาใช้ และทำการประเมินว่าข้อมูลที่ได้มาตรงกับความต้องการหรือไม่ แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 คุณลักษณะที่ 13 ระยะเวลาการได้งานทำเป็นคุณลักษณะที่เป็นกลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการจำแนกข้อมูล โดยแบ่งออกได้ 7 กลุ่ม ได้แก่ 1) ได้งานทันที 2) ได้งานภายใน 1 – 3 เดือน 3) ได้งานภายใน 4 – 6 เดือน 4) ได้งานภายใน 7 – 9 เดือน 5) ได้งานภายใน 10 – 12 เดือน 6) ได้งานมากกว่า 1 ปี และ 7) ได้งานระหว่างศึกษา

3. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับทำเหมืองข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้า ดังต่อไปนี้

3.1 การทำความสะอาดข้อมูล (Cleaning data) เพื่อเพิ่มคุณภาพข้อมูลที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การแทนค่าข้อมูลที่ขาดหายไป หรือการแทนค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมของข้อมูล

3.2 กำจัดข้อมูลที่มีความผิดปกติ (Outliers) ข้อมูลรบกวน (Noisy Data) ข้อมูลมีความไม่สอดคล้องกัน (Inconsistent Data) โดยจัดการให้มีความถูกต้องสมบูรณ์

3.3 การแปลงข้อมูล (Data Transformation) เป็นขั้นตอนการแปลงข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ได้ทำการแปลงข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมมา (raw data) ให้กลายเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นถัดไปได้โดยยึดการแปลงข้อมูลให้ตรงตามตารางรายละเอียดคุณลักษณะ และในงานวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรม Weka มาใช้ในการสร้างตัวแบบซึ่งต้องจัดเตรียมแฟ้มงานให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ arff



ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณลักษณะ

ลำดับ	ชื่อ	คำอธิบาย
1	Gender	เพศ เช่น F = หญิง M = ชาย
2	Major	สาขาวิชา (ยึดสาขาวิชาตามระบบของ ISCED) เช่น 1 = โปรแกรมทั่วไป 2 = การศึกษา 10 = สุขภาพและสวัสดิการ
3	faculty	คณะที่ศึกษา เช่น 1 = กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 = กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ 3 = กลุ่มสาขาสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์
4	Gpax	เกรดเฉลี่ยสะสม เช่น G1 = 0.00 - 2.00 G5 = 3.51 - 4.00
5	Honor	เกียรตินิยม เช่น First = เกียรตินิยมอันดับ 1 Second = เกียรตินิยมอันดับ 2 Non = สำเร็จการศึกษา
6	hometown	ภูมิภาคของจังหวัดที่เป็นภูมิลำเนา เช่น Central = ภาคกลาง West = ภาคตะวันตก
7	Jobstatus	สถานภาพการทำงาน เช่น Full = ทำงานประจำ Free = ทำงานอิสระ
8	Jobtype	ประเภทงานที่ทำ เช่น Gov = ข้าราชการ/เจ้าหน้าที่หน่วยงานรัฐ Agri = เกษตรกรรม
9	Talent	ความสามารถพิเศษ เช่น A = ภาษาต่างประเทศ B = การใช้คอมพิวเตอร์ G = การคำนวณ
10	Workplace	ภูมิภาคจังหวัดที่ดำเนินงาน เช่น Central = ภาคกลาง West = ภาคตะวันตก
11	Salary	เงินเดือน/รายได้เฉลี่ยต่อเดือน เช่น Low = ต่ำกว่า 10,000 Medium = 10,001 – 30,000 High = มากกว่า 30,001 ขึ้นไป
12	Match	งานที่ทำตรงกับสาขาที่เรียน เช่น Yes = ตรง No = ไม่ตรง
13	Period	ระยะเวลาการดำเนินงาน เช่น P1 = ได้งานทันที P7 = ได้งานระหว่างศึกษา



4. การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ (Modeling)

การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ ได้พัฒนาโดยการเปรียบเทียบเพื่อหาเทคนิคในการพยากรณ์ภาวะการมีงานทำที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด การพยากรณ์ตามกฎที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย จำนวน 4 เทคนิค ได้แก่ MODEL PART J48 และ Random Trees ได้เพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Boosting Method แบบ AdaBoost

5. การตรวจสอบประสิทธิภาพตัวแบบ (Evaluation)

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบความแม่นยำของตัวแบบ ด้วยเทคนิค 10-fold Cross-Validation เพื่อให้ข้อมูลทุกตัวมีโอกาสเป็นชุดทดสอบและชุดสอน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสอนและชุดทดสอบ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วนเท่าๆ กัน ใช้ 9 ส่วนเป็นชุดข้อมูลสอน และอีก 1 ส่วนเป็นชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งจะสลับกันจนครบทั้งหมด 10 รอบ แล้วทำการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบของแต่ละเทคนิคมาทำการทดลองเปรียบเทียบ โดยวัดจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถ่วงดุล (F-measure) เพื่อหาตัวแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุด

การตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบในแต่ละเทคนิควิธีที่นำมาเปรียบเทียบ โดยใช้ค่าความถูกต้องของตัวแบบ จะต้องทำการเลือกข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Set) และข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการสุ่มเลือกข้อมูลแบบความเที่ยงตรง k กลุ่ม (k-fold Cross Validation) การวัดค่าประสิทธิภาพของตัวแบบนั้นจะอาศัย Confusion matrix [15] ในการคำนวณค่า แสดงดังภาพที่ 4

		Predicted Class			
		C ₁	C ₂	...	C _N
Actual Class	C ₁	C _{1,1}	FP	...	C _{1,N}
	C ₂	FN	TP	...	FN
	...	...	...	...	...
	C _N	C _{N,1}	FP	...	C _{N,N}

		Predicted Class	
		Positive	Negative
Actual Class	Positive	TP	FN
	Negative	FP	TN

ภาพที่ 4 Confusion matrix [16]

โดยที่ True Positive (TP) เป็นจำนวนข้อมูลประเภทเป็นบวก และถูกจำแนกประเภทว่าเป็นบวก
 False Positive (FP) เป็นจำนวนข้อมูลประเภทเป็นลบ แต่ถูกจำแนกประเภทว่าเป็นบวก
 True Negative (TN) เป็นจำนวนข้อมูลประเภทเป็นลบ และถูกจำแนกประเภทว่าเป็นลบ
 False Negative (FN) เป็นจำนวนข้อมูลประเภทเป็นบวก แต่ถูกจำแนกประเภทว่าเป็นลบ
 ตัวชี้วัดที่สามารถคำนวณได้จาก Confusion Matrix

- ค่าความแม่นยำ เป็นการวัดความแม่นยำของตัวแบบ โดยพิจารณาแยกทีละคลาส ดังสมการที่ (1)

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (1)$$

- ค่าความระลึก เป็นการวัดความถูกต้องของตัวแบบ โดยพิจารณาแยกทีละคลาส ดังสมการที่ (2)

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (2)$$

- ค่าความถ่วงดุล เป็นการวัดค่าความแม่นยำและค่าความระลึกพร้อมกันของตัวแบบ โดยพิจารณาแยกทีละคลาส ดังสมการที่ (3)



$$F\text{-measure} = (2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (3)$$

- ค่าความถูกต้อง เป็นการวัดความถูกต้องของตัวแบบ โดยพิจารณารวมทุกคลาส คือ จำนวน True Positive ของทุกคลาสรวมกัน ดังสมการที่ (4)

$$\text{Accuracy} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (4)$$

6. การนำไปใช้งาน (Deployment)

นำตัวแบบที่ดีที่สุดจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎที่ได้เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มสำหรับพยากรณ์การมีงานทำของบัณฑิตไปใช้งานในสถานศึกษาเพื่อสนับสนุนการวางแผนและตัดสินใจ

ผลการวิจัย

การพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎที่ได้เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มสำหรับพยากรณ์การมีงานทำของบัณฑิต การพยากรณ์ตามกฎที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย จำนวน 4 เทคนิค ได้แก่ MODEL, PART, J48 และ Random Trees ได้เพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ Boosting Method แบบ AdaBoost ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแบบจากค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงดุล โดยได้ทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์ตามกฎแบบดั้งเดิมและการพยากรณ์ตามกฎที่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม สรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพในแต่ละอัลกอริทึม (ร้อยละ)

Algorithm	Accuracy	Precision	Recall	F-measure
Rule-Based Technique				
MODEL	68.42	70.40	68.40	60.70
PART	77.19	77.00	77.20	77.10
J48	73.78	74.80	73.70	74.00
RT	78.94	78.90	78.90	78.90
Rule-Based Technique + Boosting Method				
MODEL + AdaBoost	70.16	73.00	70.20	63.70
PART + AdaBoost	80.70	80.40	80.70	80.30
J48 + AdaBoost	89.47	89.50	89.50	89.50
RT + AdaBoost	85.96	85.80	86.00	85.80

เทคนิค MODEL ได้ผลการวัดประสิทธิภาพดังนี้ ค่าความถูกต้อง เท่ากับร้อยละ 68.42 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 70.40 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 68.40 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 60.70 ซึ่งเทคนิค MODEL ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost ได้ดังนี้ ค่าความถูกต้อง เท่ากับร้อยละ 70.16 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 73.00 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 70.20 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 63.70

เทคนิค PART ได้ผลการวัดประสิทธิภาพดังนี้ ค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 77.19 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 77.00 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 77.20 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 77.10 ซึ่งเทคนิค PART ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost ได้ดังนี้ ค่าความถูกต้อง เท่ากับร้อยละ 80.70 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 80.40 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 80.70 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 80.30



เทคนิค J48 ได้ผลการวัดประสิทธิภาพดังนี้ ค่าความถูกต้อง เท่ากับร้อยละ 73.78 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 74.80 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 73.70 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 74.00 ซึ่งเทคนิค J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost ได้ดังนี้ ค่าความถูกต้อง เท่ากับร้อยละ 89.47 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 89.50 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 89.50 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 89.50

เทคนิค Random Tree ได้ผลการวัดประสิทธิภาพดังนี้ ค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 78.94 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 78.90 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 78.90 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 78.90 ซึ่งเทคนิค Random Tree ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost ได้ดังนี้ ค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 85.96 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 85.80 ค่าความระลึกเท่ากับร้อยละ 85.80 และค่าความถ่วงดุลเท่ากับร้อยละ 85.80

เมื่อนำค่าความถูกต้องมาเปรียบเทียบกับเพื่อหาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของตัวแบบ (ร้อยละ)

Algorithm	Accuracy	Algorithm	Accuracy	Improvement
MODEL M	68.42	MODEL M + Boost	70.16	1.74
PART	77.19	PART + Boost	80.70	3.51
J48	73.78	J48 + Boost	89.47	15.69
RT	78.94	RT + Boost	85.96	7.02

จากการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของตัวแบบ พบว่าตัวแบบที่ได้จากอัลกอริทึม J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 89.47 ซึ่งเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15.69 ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกตัวแบบจากอัลกอริทึม J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost ไปพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิตต่อไป และตัวอย่างกฎที่ได้จากตัวแบบสามารถแสดงให้เห็นถึงความง่ายในการพยากรณ์ ดังภาพที่ 5

IF Jobstatus = Full AND Hometown = West AND Major = 1 AND Talent = A
AND Workplace = Central AND Salary = Medium AND Gpax = G4 AND
Gender = M THEN Period = P0

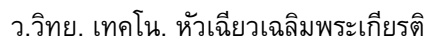
ภาพที่ 5 ตัวอย่างกฎที่ได้จากอัลกอริทึม J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost

จากภาพที่ 5 ตัวอย่างกฎที่ได้จากอัลกอริทึม J48 ที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี AdaBoost สามารถแปลกฎได้ดังนี้

“ถ้าสถานภาพการทำงานเป็นงานประจำและภูมิลำเนาอยู่ภาคตะวันตกและความสามารถพิเศษคือภาษาต่างประเทศ และภูมิภาคที่ทำงานทำคือภาคกลาง และเงินเดือนอยู่ระหว่าง 10,001-30,000 และเกรดเฉลี่ยสะสมอยู่ระหว่าง 3.01 - 3.50 พยากรณ์ได้ว่าระยะเวลาการได้งานทำคือ ได้งานทันทีหลังจากจบการศึกษา”

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎสำหรับพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิต และเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์ตามกฎด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สถานศึกษาได้นำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ภาวะการมีงานทำของบัณฑิตได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ และการศึกษาได้



1. จรัสศรี รุ่งรัตนอุบล. เทคนิคเหมืองข้อมูล (DATA MINING TECHNIQUES). พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2566.



2. ปริญญา ชินจ่อหอ, สายสุณีย์ จัปโจร, เบญจภาค จงหมื่นไวย. การพัฒนาตัวแบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการคาดการณ์อาชีพอนาคตของบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. วารสารวิชาการ TM 2564;8(2):20–32.
3. สำราญ วานนท์, ธรัช อารีราษฎร์, จริญญา แสนราช. การศึกษาเทคนิคพยากรณ์อาชีพสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการ TM 2561;5(1):164–71.
4. สายชล สันสมบูรณ์ทอง. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลค่านอกเกณฑ์ด้วยการจำแนก 6 วิธี. TJST 2020;9(3): 255–68
5. วราริทธิ์ ปัญญาวงษ์. การประยุกต์ใช้ตัวแบบกฎการพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการสำเร็จการศึกษาของนิสิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยการทำเหมืองข้อมูล. JADC 2020;2(2):109–19.
6. นนทวัฒน์ ทวีชาติ, อรยา เพ็งประจัญ, วิไลรัตน์ ยาทองไชย, ชูศักดิ์ ยาทองไทย. ระบบทำนายการฟื้นสภาพของนักศึกษา ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 2563;4(1):47–60.
7. ปพิชญา กลางนอก, จาริ ทองคำ. การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตัวแบบตามกฎในเหมืองข้อมูล. Journal of Ind Tech UBRU 2562;9(1):97–108.
8. ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ, อภินันท์ จุ่นกรณ์, มงคล รอดจันทร์, ธาณิล ม่วงพูล. การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลเศรษฐกิจชุมชน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการ ITM 2563;7(2):72–83.
9. ปพิชญา กลางนอก. การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองตามกฎ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม; 2561.
10. ผดุง นันอำไพ, จาริ ทองคำ. การตรวจจับการบุกรุกด้วยเทคนิคการจำแนกในการทำเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการ ITM 2562;6(2):111–8.
11. Panigrahi R, Borah S. Rank Allocation to J48 Group of Decision Tree Classifiers using Binary and Multiclass Intrusion Detection Datasets. Procedia Comput Sci 2018;132(16):323–32.
12. Addario-Berry L, Brandenberger A, Hamdan J, Kerriou C. Universal height and width bound for random trees. Electron J Probab 2022;27:1–24.
13. อัศวิน สุรวัชโยธิน, วรภัทร ไพรีเกรง. การสร้างตัวแบบการทำนายในการเลือกศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา โดยใช้เทคนิคแบบบูรณาการในการแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูลไม่สมดุลของกลุ่มผู้เรียน. JIST 2564;11(1):65–74.
14. Tanha J, Abdi Y, Samadi N, Razzaghi N, Asadpour M. Boosting methods for multi-class imbalanced data classification: An experimental review. J Big Data 2020;7(1):70.
15. Markoulidakis JG, Kopsiaftis G, Rallis I, Georgoulas I. Multi-Class Confusion Matrix Reduction method and its application on Net Promoter Score classification problem. Technologies 2021;9(4):81.



การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์สำหรับเบี้ยประกันภัยรวบรวม ของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย

The Comparison of Forecasting Models for Total Premiums of Life Insurance Companies in Thailand

วิกานดา ผาพันธุ์¹ และ วิราวรรณ พุทธมัตย์^{2*}

¹ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

Wikanda Phaphan¹ and Wirawan Puttamat^{2*}

¹Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Department of Mathematics, Faculty of Education, Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum, 36000

*Corresponding author: pwirawan6251@gmail.com

Received: 7 June 2023/ Revised: 28 September 2023/ Accepted: 30 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ 4 ตัวแบบ คือ 1) การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ 2) การถดถอยแบบป่าสุ่ม 3) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย และ 4) การถดถอยพหุนาม ในการศึกษาเบี้ยประกันภัยรวบรวมของบริษัทประกันชีวิตรายเดือนในประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 72 เดือน โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากการศึกษาพบว่า ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ มีค่า RMSE เท่ากับ 1654.00 และ ค่า MAPE เท่ากับ 2.93% ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย มีค่า RMSE เท่ากับ 5560.59 และค่า MAPE เท่ากับ 9.03% ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย มีค่า RMSE เท่ากับ 6283.63 และ ค่า MAPE เท่ากับ 11.36% และ ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ มีค่า RMSE เท่ากับ 6723.48 และ ค่า MAPE เท่ากับ 11.76% ซึ่งพบว่าตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจมีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่เนื่องจากตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ไม่เหมาะสำหรับการพยากรณ์ในระยะยาว จึงเลือกใช้ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอยแทน เนื่องจากตัวแบบมีประสิทธิภาพรองลงมาและมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่น่ามาใช้งาน

คำสำคัญ: การพยากรณ์ การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ การถดถอยแบบป่าสุ่ม ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย
การถดถอยพหุนาม



Abstract

The purpose of this research, in the study of total premiums of monthly life insurance companies in Thailand during a period of 72 months from January 2017 to December 2022, was to study and compare the forecasting performance of four forecasting models, 1) Decision Tree Regression model, 2) Random Forest Regression model, 3) Support Vector Regression (SVR) model and 4) Polynomial Regression model. The forecasting efficiency was compared in the four models using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Square Error (RMSE). The results of the research showed that 1) the Decision Tree Regression model with 1654.00 of RMSE and 2.93% of MAPE, 2) SVR model with 5560.59 of RMSE and 9.03% of MAPE, 3) Polynomial Regression model with 6283.63 of RMSE and 11.36% of MAPE and 4) Random Forest Regression model with 6723.48 of RMSE and 11.76% of MAPE. The model with the suitable forecast performance is the Decision Tree Regression, but the Decision Tree Regression model is not suitable for long-term forecasting, so then the SVR model was chosen as a better fit for long-term forecasting.

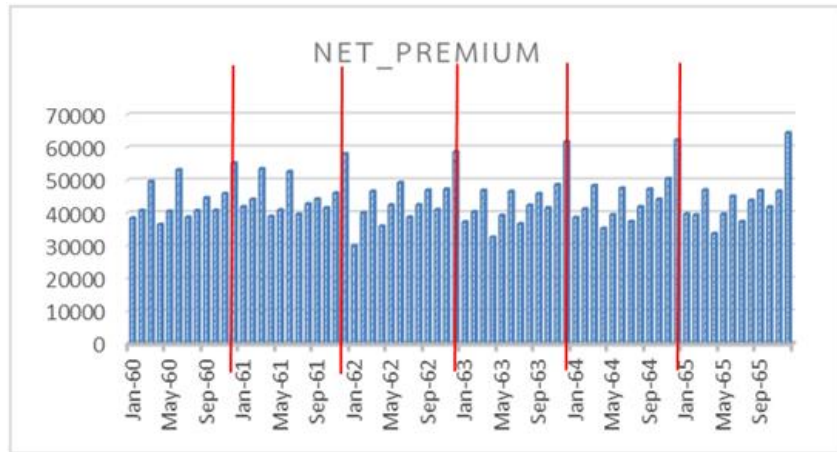
Keywords: Forecasting, Decision Tree Regression, Random Forest Regression, Support Vector Regression, Polynomial Regression model

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมประกันชีวิตเข้ามามีบทบาทในระบบเศรษฐกิจและสังคมในประเทศไทยอย่างมาก การทำประกันสุขภาพ ประกันชีวิตกับบริษัทประกันชีวิต จะช่วยบริหารความเสี่ยง บรรเทาความเดือดร้อน และคุ้มครองตั้งแต่การเจ็บป่วย การเกิดอุบัติเหตุ ไปจนถึงการเสียชีวิต ในปัจจุบันมีบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย 21 แห่ง โดยบริษัทที่มีสัดส่วนการตลาด (Market Share) มากที่สุดคือ บริษัท เอไอเอ (American International Assurance) 24.90% รองลงมาคือ บริษัท ไทยประกันชีวิต จำกัด (มหาชน) 14.41% และบริษัท เอฟดับบลิวดี ประกันชีวิต จำกัด (มหาชน) 13.65% ตามลำดับ [1]

เบี้ยประกันภัยรับรวม (Total Premium) คือจำนวนเบี้ยประกันภัยที่ผู้รับประกันภัยได้รับทั้งหมดก่อนหักเบี้ยประกันภัยต่อ โดยนำมาใช้คำนวณเปรียบเทียบกับความคุ้มครองที่ผู้เอาประกันภัยจะได้รับ จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตนั้นจะมียอดสูงสุดในช่วงเดือนธันวาคมของทุกปี และมียอดต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคมของทุกปี นั่นคือข้อมูลมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งส่งผลให้การประมาณการค่าเบี้ยประกันภัยรับรวมยากขึ้นด้วย เนื่องจากเบี้ยประกันภัยรับรวมถือเป็นรายได้ของบริษัท เพื่อให้บริษัทประกันชีวิตสามารถจัดสรรเบี้ยประกันภัยต่อและจำนวนเงินสำรองเพื่อการเสี่ยงภัยได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นบริษัทประกันชีวิตจึงจำเป็นต้องนำหลักการพยากรณ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ทิศทางแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเบี้ยประกันภัยรับรวม เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินงานได้

มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญเกี่ยวกับการพยากรณ์โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น สร้างแบบจำลองการขยายผลิตภัณฑ์และพยากรณ์ยอดขายประกันชีวิตโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล [2] การพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงในกรมธรรม์หลัก (ประเภทสามัญ) ของบริษัทไทยประกันชีวิต [3] การพยากรณ์เบี้ยประกันชีวิตรายใหม่ประเภทสามัญด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลทวินเทอร์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ [4] การพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงโดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา SARIMA และ SARIMAX [5] เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เป็นวิธีการพยากรณ์แบบเชิงเส้นตรง (Linear approach) ซึ่งมีข้อเสียคือไม่สามารถอธิบายอนุกรมเวลาที่ซับซ้อนหรือมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรงได้ ทำให้ค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก [6]



ภาพที่ 1 เบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยรายเดือนตั้งแต่ พ.ศ.2560 ถึง พ.ศ.2565 [7]

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวแบบการพยากรณ์ 4 ตัวแบบ คือ 1) การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Regression) 2) การถดถอยแบบป่าสุ่ม (Random Forest Regression) 3) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย (Support Vector Regression) และ 4) การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression) ในการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย เนื่องจากตัวแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงได้ดี โดยเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดด้วยเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการนำตัวแบบการพยากรณ์ไปใช้กับปัญหาการประมาณการเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย
- 2) เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์สำหรับเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย
- 3) เพื่อให้ได้ตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลมากที่สุด สำหรับนำไปพยากรณ์ล่วงหน้า

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Regression)

เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ค่าต่อเนื่อง โดยการนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ในรูปแบบของโครงสร้างต้นไม้ [8] โดยมีหลักการในการพยากรณ์ คือ 1) เลือกตัวแปรอิสระ X มา 1 ตัวแปร โดยเลือกจากตัวแปร X_j ที่ให้ค่า residual sum of squares (RSS) น้อยที่สุด มาทำการเรียงลำดับข้อมูล 2) หาจุดแบ่งข้อมูล (split point) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากข้อมูล n ค่าสังเกต 3) สำหรับการแบ่งข้อมูลแต่ละแบบที่เป็นไปได้ ทำการคำนวณค่า residual sum of squares (RSS) ตามสูตรในสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม Y ภายในโหนดของตัวเอง 4) เลือกจุดแบ่งข้อมูลที่ทำให้ค่า RSS น้อยที่สุด และสร้างเงื่อนไขจากจุดแบ่งข้อมูลในโครงสร้างต้นไม้ 5) หาจุดแบ่งข้อมูลของตัวแปรอิสระ X_i ที่เหลือจนครบ (ตามข้อ 1) – 4)) เมื่อสิ้นสุดการแบ่งข้อมูลแล้วจะพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม Y จากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม Y ภายใน



โหนดของตัวเอง สำหรับโหนดที่ยังสามารถแบ่งข้อมูลได้ต่อ จะแบ่งต่อไปจนได้เงื่อนไขที่กำหนด ตามสมการที่ (1)

$$RSS = \sum_{w=1}^W \sum_{i \in R_w}^n (Y_i - \hat{Y}_{R_w})^2 \quad (1)$$

โดยที่ R_w คือ แต่ละกลุ่มของค่าสังเกตที่ถูกแบ่งออกมาเป็นทั้งหมด w กลุ่ม

Y_i คือ ตัวแปรตาม

$\hat{Y}_{R_w}$ คือ ค่าประมาณในแต่ละกลุ่ม คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามในกลุ่มนั้น ๆ

2) การถดถอยแบบป่าสุ่ม (Random Forest Regression)

เป็นวิธีที่อิงจากแบบจำลองต้นไม้ถดถอย (Regression tree model) ดังที่จะอธิบายต่อไป แบบจำลองต้นไม้ถดถอยเป็นการประยุกต์หลักการของแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree model) เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรที่พิจารณาโดยอาศัยวิธีการแบ่งกลุ่มของตัวแปรต้น หลักการของแบบจำลองต้นไม้ถดถอย สามารถอธิบายได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ [9]

1. แบ่งปริภูมิของตัวแปรต้น $X_1, X_2, \dots, X_p$ ออกเป็น j ส่วนที่ไม่มีการซ้อนทับซึ่งกันและกัน ให้ปริภูมิย่อยนั้นเรียกว่า $R_1, R_2, \dots, R_j$ ซึ่งมีลักษณะเป็น high-dimensional rectangles เพื่อให้ได้ปริภูมิย่อย $R_1, R_2, \dots, R_j$ ซึ่งให้ค่า RSS ที่น้อยที่สุด กำหนดโดยสมการที่ (2)

$$RSS = \sum_{j=1}^J \sum_{i \in R_j} (Y_i - \hat{Y}_{R_j})^2 \quad (2)$$

โดยที่ R_j คือ แต่ละกลุ่มของค่าสังเกตที่ถูกแบ่งออกมาเป็นทั้งหมด j กลุ่ม

Y_i คือ ตัวแปรตาม

$\hat{Y}_{R_j}$ คือ ค่าประมาณในแต่ละกลุ่ม คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามในกลุ่มนั้น ๆ

2. สำหรับทุกๆ ข้อมูลของตัวแปรต้นที่อยู่ใน R_j เราจะพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามให้มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรตามในชุดข้อมูลทั้งหมด ซึ่งค่าของตัวแปรต้นตกอยู่ใน R_j

3) ซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย (Support Vector Regression)

เป็นการดัดแปลงมาจากวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยใช้สมการไฮเปอร์เพลน (hyperplane) เป็นสมการพยากรณ์ ข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนจริง หลักการคือจะลดความเสี่ยงเชิงโครงสร้างให้มีค่าต่ำที่สุด โดยใช้ฟังก์ชันในการปรับรูปแบบข้อมูล เรียกว่า ฟังก์ชันเคอร์เนล (kernel function) [10] โดยมีสมการถดถอยเป็นดังสมการที่ (3)

$$\hat{Y} = \langle w, x \rangle + b \quad (3)$$

โดยที่ w คือ เวกเตอร์น้ำหนักหรือความชันของเส้นถดถอย

b คือ ความคลาดเคลื่อนของเส้นถดถอย

x คือ เวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า (Input data) แทนด้วยสัญลักษณ์ $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$

ขนาดเท่ากับ n ; $x_i \in R^n$; $i = 1, 2, \dots, n$

หลักการในการหาไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกลุ่มของข้อมูล ในกรณีของซัพพอร์ตเวกเตอร์ จะหาตำแหน่งของข้อมูลที่เป็นซัพพอร์ตเวกเตอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากไฮเปอร์เพลนมากที่สุด และตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่บนเส้นแบ่งระยะขอบเขต (boundary line) ที่กำหนดขึ้น ในทางทฤษฎีจะพยายามให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ภายในเส้นแบ่งระยะขอบเขต และสร้างไฮเปอร์เพลนที่ใช้แทนกลุ่มข้อมูลขึ้น [11]

ฟังก์ชันเคอร์เนลที่นิยมใช้สำหรับซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย มีดังนี้

- Radial basis function; $k(x, x_i) = \exp(-\gamma \|x - x_i\|^2), \gamma > 0$

- Polynomial; $k(x, x_i) = ((x^T \cdot x_i) + \eta)^d$

- Sigmoidal; $k(x, x_i) = \tanh(\gamma(x^T \cdot x_i) + \eta), \gamma > 0$

- Linear; $k(x, x_i) = x^T \cdot x_i$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันเคอร์เนลที่นิยมใช้ในการสร้างตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย คือ radial basic function ดังนั้นสมการไฮเปอร์เพลนสามารถเขียนใหม่ในรูปแบบการถดถอยไม่เชิงเส้น โดยใช้ฟังก์ชันเคอร์เนลได้ดังสมการที่ (4)

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x_j) + b \quad (4)$$

โดยที่ x_i คือ เวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า (input data)

x_j คือ ซัพพอร์ตเวกเตอร์ (support vector)

α_i, α_i^* คือ ตัวคูณลากรางจ์ (lagrange multipliers) โดยกำหนดให้ค่าตัวคูณลากรางจ์มีค่ามากกว่าศูนย์ และ สามารถหาค่าโดยใช้ขั้นตอนวิธีการโปรแกรมกำลังสอง (quadratic programming)

4) การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression)

เป็นตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นรูปแบบหนึ่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง (ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง) แต่ใช้ตัวแปรกำหนดเพียง 1 ตัว ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์จะมีความยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยรูปแบบความสัมพันธ์เขียนแสดงในรูปแบบสมการที่ (5)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n \quad (5)$$

การถดถอยพหุนามมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ 1) ความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน 2) ความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ 3) ความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ และ 4) ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ [12]

การถดถอยแบบพหุนามนี้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นรูปแบบพิเศษรูปแบบหนึ่งของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวแบบได้โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด เช่นเดียวกับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ [13]

วิธีดำเนินการวิจัย

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิรายเดือน โดยรวบรวมข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทย จากสมาคมประกันชีวิตไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2560 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวน 72 เดือน [7] ด้วยการใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

1) ตัวแปรตาม (Y) คือ เบี้ยประกันภัยรับรวม ประเภทสามัญ (Ordinary) ของบริษัทประกันชีวิตรายเดือน ในประเทศไทย ณ เดือนที่ t แทนด้วย $Net_Premium$ มีหน่วยเป็นล้านบาท

2) ตัวแปรอิสระ (X) คือ ระยะเวลาที่มีหน่วยเป็นเดือน ในที่นี้เก็บเป็นรายเดือน ตั้งแต่มกราคม 2560 – ธันวาคม 2565



2) การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบจำนวน 57 รายการ (ชุดการเรียนรู้ 80%) และส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 15 รายการ (ชุดทดสอบ 20%) โดยใช้ฟังก์ชัน split ในโปรแกรม R จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบการพยากรณ์ 4 ตัวแบบ คือ

ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ

สร้างตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ในโปรแกรม R โดยใช้คำสั่ง rpart () ในแพ็คเกจชื่อ rpart [14] กำหนดการแบ่งข้อมูลออกเป็นแบบไบนารี กำหนดให้ตัวแปรตามคือ เบี้ยประกันภัยรวบรวม ประเภทสามัญ (Ordinary) ของบริษัทประกันชีวิตรายเดือน ในประเทศไทย ณ เดือนที่ t แทนด้วย Net_Premium มีหน่วยเป็น ล้านบาท และตัวแปรอิสระคือระยะเวลาในทศวรรษที่เก็บเป็นรายเดือน ตั้งแต่ มกราคม 2560 – ธันวาคม 2565

ตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม

ในการสร้างตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม ผู้วิจัยเลือกใช้แพ็คเกจของโปรแกรม R ในแพ็คเกจชื่อ randomForest [15] เพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ทำการปรับแต่งไฮเปอร์พารามิเตอร์ในตัวแบบด้วยวิธีการค้นหาแบบกริด โดยกำหนดให้ช่วงของจำนวนต้นไม้ (ntrees) อยู่ระหว่าง 5 ถึง 500 ต้น โดยให้เพิ่มขึ้นทีละ 5 ต้น ช่วงของจำนวนตัวแปรที่สุ่มเลือกในแต่ละการแบ่ง (mtry) อยู่ระหว่าง 1 ถึง 12 ช่วงของจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำในโหนดปลาย (nodesize) มีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 10 และช่วงของจำนวนสูงสุดของโหนดปลาย (maxnodes) มีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 10 จากการค้นหาค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม พบว่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่ทำให้ค่า out-of-bag (OOB) RMSE ต่ำที่สุด คือ ntree = 500, mtry = 1, nodesize = 3, และ maxnodes = 4

ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย

หาตัวแบบพยากรณ์ซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย ในโปรแกรม R โดยใช้คำสั่ง svm () ในแพ็คเกจชื่อ e1071 [16] โดยสร้างตัวแบบพยากรณ์จำนวน 6 ตัวแบบ เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 6 เดือน ใช้ฟังก์ชัน tune () ค้นหาเคอร์เนลฟังก์ชันและกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยฟังก์ชัน tune () จะค้นหาค่าที่เหมาะสมแบบกริดเสิร์จ (Grid search) ตลอดช่วงของพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ งานวิจัยนี้กำหนดค่าไว้ที่ 0 -1 และให้เพิ่มค่าทีละ 0.001 และกำหนดค่า Cost ไว้ที่ 1-16 และประเมินความเหมาะสมด้วยการวัดค่า RMSE ผลลัพธ์การค้นหาเคอร์เนลฟังก์ชันที่เหมาะสม จากฟังก์ชัน tune () พบว่า เคอร์เนลแบบเรเดียลเบซิส (Radial Basis Function) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับข้อมูลชุดนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เคอร์เนลแบบเรเดียลเบซิสเป็นเคอร์เนลฟังก์ชัน

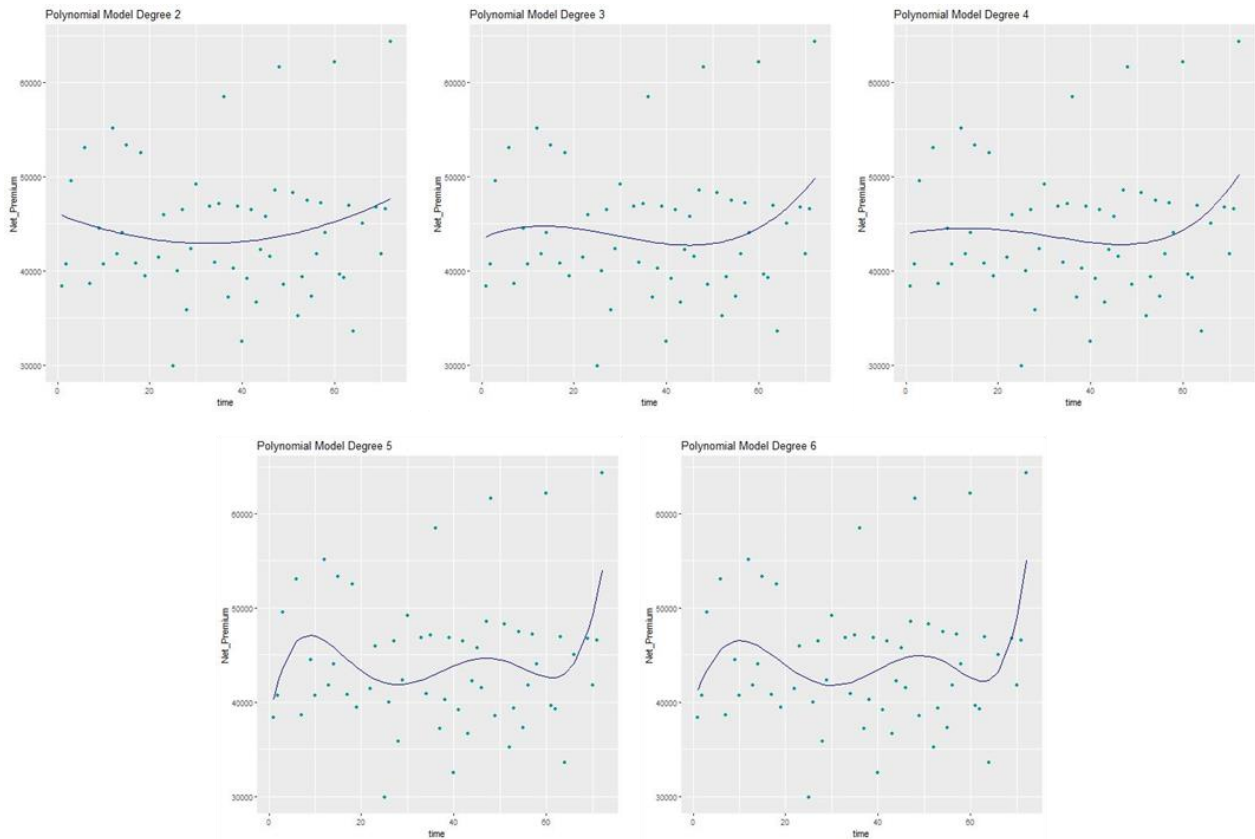
กำหนดตัวแปรตามคือค่า Net_Premium และตัวแปรที่เหลือคือตัวแปรอิสระ กำหนด type เป็น ‘eps-regression’ สำหรับตัวแปรตามที่เป็นจำนวนต่อเนื่อง และกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่า default

ตัวแบบการถดถอยพหุนาม

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างตัวแบบ โดยตรวจสอบการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน และตรวจสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีการวิเคราะห์ดังนี้ ในการตรวจสอบการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ทำการทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบของ Kolmogorov-Smirnov (เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มากกว่า 50 ค่า) พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่าสถิติ ทดสอบเท่ากับ 0.06 และ p-value เท่ากับ 0.20 และจากการทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบของ Durbin-Watson พบว่า ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 2.10 แสดงว่า

ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน Breusch-Pagan พบว่า ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ 1.17 และ p-value เท่ากับ 0.95 แสดงว่า ความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนคงที่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุนามพบว่า เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นทุกประการ

ในการสร้างตัวแบบการถดถอยพหุนามในโปรแกรม R ผู้วิจัยใช้คำสั่ง `lm()` ในแพ็คเกจชื่อ `caTools` [17] โดยกำหนดให้ตัวแปร X แทน ระยะเวลา ซึ่งในที่นี้เก็บเป็นรายเดือน ตั้งแต่ มกราคม 2560 – ธันวาคม 2565 และทดสอบหาค่า k ที่เหมาะสมของตัวแบบว่าควรจะมีกำลังสูงสุดเป็นเท่าไร โดยทดสอบกำลังในระดับ 2, 3, 4, 5 และ 6 ผลการทดสอบเป็นดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับรวมจริง และเบี้ยประกันรับรวมที่ได้จากการพยากรณ์จากตัวแบบการถดถอยพหุนามที่มีกำลังเท่ากับ 2, 3, 4, 5 และ 6

พบว่าตัวแบบที่มีกำลังเท่ากับ 5 และ 6 มีลักษณะกราฟที่ข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยกระจายอยู่รอบ ๆ เส้นของตัวแบบพยากรณ์มากกว่าตัวแบบที่มีกำลังเท่ากับ 2, 3 และ 4 แม้ว่าตัวแบบยิ่งมีกำลังสูงจะทำให้ผลการพยากรณ์ชุดข้อมูลที่มีอยู่แม่นยำขึ้น แต่ตัวแบบที่ได้ออกมานั้นจะพยากรณ์ผลของข้อมูลชุดใหม่ได้ยากและซับซ้อนกว่าเดิม ซึ่งอาจจะทำให้ผลของการพยากรณ์ไม่ตรงกับข้อมูลความเป็นจริง ปัญหาที่เราเรียกว่า Model Overfitting ดังนั้นกำลังที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือกำลังเท่ากับ 5 จะได้สมการถดถอย ดังสมการที่ (6)

$$\hat{Y}_t = 0.12X + 0.09X^2 + 0.08X^3 + 0.08X^4 + 0.07X^5 \quad (6)$$



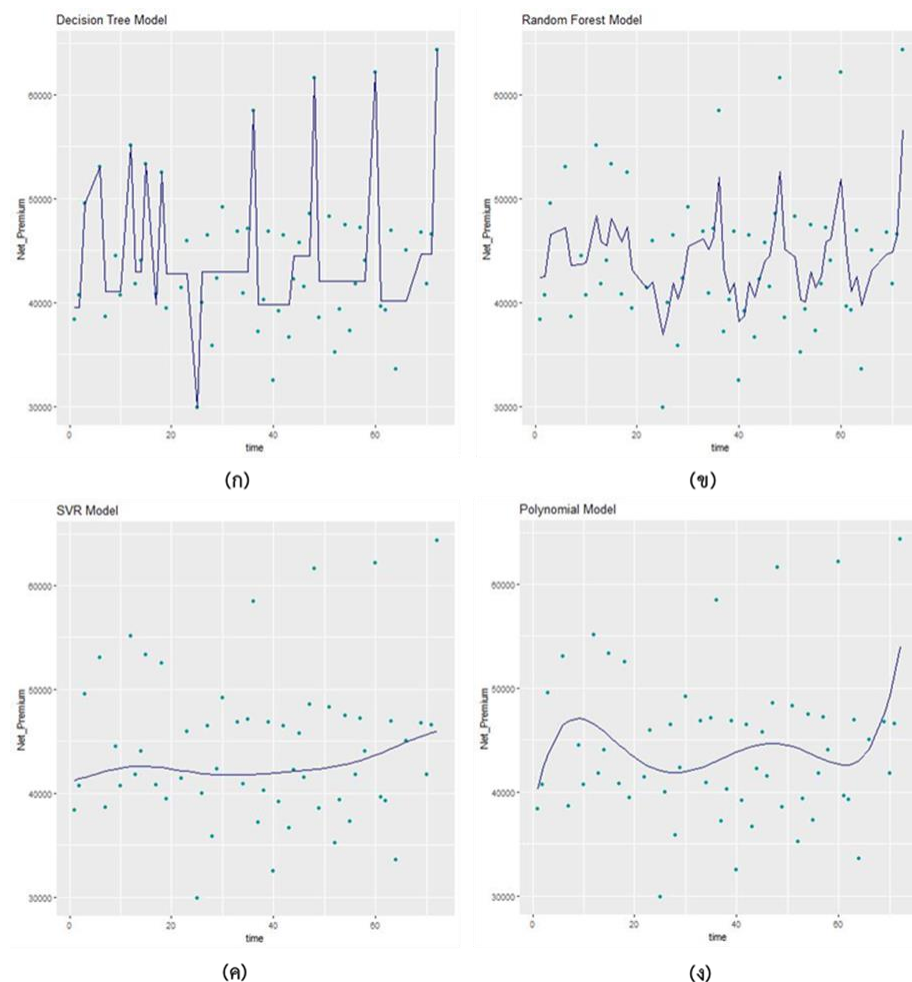
โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t
 $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t
 n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

ผลการวิจัย

การศึกษารังนี้ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 4 ตัวแบบ คือ 1) การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Regression) 2) การถดถอยแบบป่าสุ่ม (Random Forest Regression) 3) ซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย (Support Vector Regression) และ 4) การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression) ในการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลเบี้ยประกันภัยรวบรวมของบริษัทประกันชีวิตรายเดือนในประเทศไทย โดยนำชุดข้อมูลส่วนที่ 1 มาสร้างตัวแบบการพยากรณ์ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้นำเสนอผลของเบี้ยประกันภัยรวบรวมจริงในแต่ละเดือน รวม 72 เดือน และเบี้ยประกันภัยรวมที่ได้จากการพยากรณ์จากตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย และตัวแบบการถดถอยพหุนาม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟข้อมูลเบี้ยประกันภัยรวบรวมจริง และเบี้ยประกันภัยรวมที่ได้จากการพยากรณ์จาก (ก) ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (ข) ตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม (ค) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย และ (ง) ตัวแบบการถดถอยพหุนาม



จากภาพที่ 3 ลักษณะกราฟที่ได้จากการพยากรณ์จากตัวแบบทั้ง 4 ตัวแบบ เป็นดังนี้

ภาพที่ 3 (ก) ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ลักษณะกราฟมีการขึ้นลงและข้อมูลเบี่ยงประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ตามเส้นของตัวแบบพยากรณ์ นั่นคือค่าพยากรณ์จากตัวแบบ การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ มีลักษณะเข้าใกล้กับค่าจริง ภาพที่ 3 (ข) ตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม ข้อมูลเบี่ยงประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่นอกเส้นของตัวแบบพยากรณ์ นั่นคือค่าพยากรณ์จากตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม มีลักษณะห่างจากค่าจริง ภาพที่ 3 (ค) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย ข้อมูลเบี่ยงประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยกระจายอยู่รอบ ๆ เส้นของตัวแบบพยากรณ์ นั่นคือค่าพยากรณ์จากตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย มีลักษณะห่างจากค่าจริง ภาพที่ 3 (ง) ตัวแบบการถดถอยพหุนาม ข้อมูลเบี่ยงประกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยกระจายอยู่รอบ ๆ เส้นของตัวแบบพยากรณ์ นั่นคือค่าพยากรณ์จากตัวแบบการถดถอยพหุนาม มีลักษณะห่างจากค่าจริง

สรุปได้ว่าค่าพยากรณ์จากตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ มีลักษณะเข้าใกล้กับค่าจริงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย และตัวแบบการถดถอยพหุนาม

ประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบ

ผู้วิจัยประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบโดยเปรียบเทียบ ค่า RMSE และ ค่า MAPE ของทั้ง 4 ตัวแบบ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์

ตัวแบบ	ประสิทธิภาพของตัวแบบ	
	RMSE	MAPE (%)
การถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ	1,654.00	2.93
การถดถอยแบบป่าสุ่ม	6,723.48	11.76
ซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย	5,560.59	9.03
การถดถอยพหุนาม	6,283.63	11.36

จากตารางที่ 1 พบว่าตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ที่ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด คือ ค่า RMSE = 1,654.00 และ ค่า MAPE = 2.93 รองลงมาคือตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย (RMSE = 5,560.59 , MAPE = 9.03) ตัวแบบการถดถอยพหุนาม (RMSE = 6,283.63 , MAPE = 11.36) และตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม (RMSE = 6,723.48 , MAPE = 11.76) ตามลำดับ นั่นคือ ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่ม ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอย และตัวแบบการถดถอยพหุนาม

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับตัวแบบทั้ง 3 เนื่องจากให้ค่า RMSE และค่า MAPE ต่ำที่สุด และเหตุผลที่ทำให้ตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจให้ค่า RMSE และค่า MAPE ต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจจะเลือกตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างตัวแบบทีละลำดับขั้น และถ้าได้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับคำตอบแล้ว ก็จะไม่ใช้ทุกตัวแปรในชุดการเรียนรู้ แต่เนื่องจากตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจไม่เหมาะสำหรับการพยากรณ์ในระยะยาว เนื่องจากตัวแบบการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ ใช้ค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มที่แบ่งได้เป็นค่าพยากรณ์ และตัวแปรอิสระที่ใช้เป็นตัวเวลาซึ่งมีค่าเป็น 1, 2, 3, 4,... เมื่อทำการพยากรณ์ระยะยาวจะได้ค่าพยากรณ์เป็นค่าเดียวกันเสมอ แต่ตัวแบบการถดถอยต้นไม้



ตัดสินใจเหมาะสำหรับการทำนายในระยะสั้น 1 ถึง 2 ช่วงเวลา ดังนั้นสำหรับการประมาณการณ์เบี่ยงแปรกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในประเทศไทยในระยะยาว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์สำหรับการถดถอยแทน เนื่องจากตัวแบบมีประสิทธิภาพรองลงมา โดยให้ค่า RMSE เท่ากับ 5,560.59 และค่า MAPE เท่ากับ 9.03% ส่วนตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่มไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการพยากรณ์เบี่ยงแปรกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิต เนื่องจากตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่มให้ค่า RMSE และค่า MAPE สูงที่สุด และข้อมูลเบี่ยงแปรกันภัยรับรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกัน จึงทำให้ตัวแบบการถดถอยแบบป่าสุ่มไม่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้

จากนั้นผู้วิจัยจึงนำตัวแบบที่ได้ไปทำการพยากรณ์เบี่ยงแปรกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตล่วงหน้า 6 เดือน โดยแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 6 เดือน

เดือน	ค่าพยากรณ์ (ล้านบาท)		ค่าจริง (ล้านบาท)
	ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์ สำหรับการถดถอย	ตัวแบบการถดถอย ต้นไม้ตัดสินใจ	
มกราคม 2566	46,100.06	64,363.56	31,239.32
กุมภาพันธ์ 2566	46,200.81	64,363.56	31,174.93
มีนาคม 2566	46,278.93	64,363.56	37,782.62
เมษายน 2566	46,333.58	64,363.56	26,787.06
พฤษภาคม 2566	46,364.36	64,363.56	32,161.70
มิถุนายน 2566	46,371.31	64,363.56	36,639.68

ตัวแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวแบบที่ง่ายใช้ตัวแปรเวลาแค่ตัวแปรเดียวในการพยากรณ์ ซึ่งมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง สามารถนำผลที่ได้ไปใช้คาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้โดยสังเขป

ข้อเสนอแนะ

ในการนำไปใช้ประโยชน์นักวิจัยหรือผู้ที่สนใจสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการวิจัยได้ สามารถนำตัวแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดไปประยุกต์ใช้ในการประมาณการณ์เบี่ยงแปรกันภัยรับรวมของบริษัทประกันชีวิตในอนาคตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินงานได้

สำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มตัวแปรอิสระอื่น ๆ เช่น จำนวนกรมธรรม์ มาใช้เป็นตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อให้ได้ตัวแบบการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- สมาคมประกันชีวิตไทย. รายงานธุรกิจประกันชีวิต ณ เดือนธันวาคม 2565. [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 26 ก.พ. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.tlaa.org/page_statistics.php?cid=35
- นิตานันท์ พลอาสา. การสร้างแบบจำลองการขายผลิตภัณฑ์และพยากรณ์ยอดขายประกันชีวิต โดยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล กรณีศึกษาบริษัทประกันชีวิตแห่งหนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารเทคโนโลยี วิทยาลัยนวัตกรรม. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2558.



3. ภิญญา บุญเกษมธนกุล. การพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงในกรมธรรม์หลัก (ประเภทสามัญ) ของบริษัทไทยประกันชีวิต จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ; 2559.
4. นฤต พิทักษ์วิทยกุล. การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์เบี้ยประกันชีวิตรายใหม่ ประเภทสามัญด้วยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ; 2563.
5. นิลา แก้วหาวงษ์. ตัวแบบพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564-2566. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 17 และการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7 วันที่ 27 ตุลาคม 2565. มหาวิทยาลัยศรีปทุม. กรุงเทพฯ; 2565. หน้า 2977-86.
6. ศุภามณ จันทรสกุล. การพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบเชิงเส้น แบบไม่ใช้เชิงเส้น และโมเดลผสมผสาน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558;9(2):50-63.
7. สมาคมประกันชีวิตไทย. รายงานธุรกิจประกันชีวิต ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2560 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565. [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 26 ก.พ. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.tlaa.org/page_statistics.php?cid=35
8. อโณทัย ศิลเทพาเวทย์. แบบจำลองเพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เอชจีเอในโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ; 2554.
9. ปริญญา สวงนสัต์ย์. Artificial Intelligence with Machine Learning, AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิง. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ไอดีซี พรีเมียร์; 2562.
10. Vapnik, V. The Nature of Statistical Learning Theory. New York: Springer-Verlag New York, Inc; 1998.
11. Meyer, D. et al. Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group [Internet]. 2015 [cited 2022 December 5]. Available from: <http://cran.r-project.org/web/packages/e1071/index.html>.
12. Aczel, A. Complete Business Statistics. 4th ed. University of California: Irwin; 1989.
13. Smola AJ, Schölkopf B. A tutorial on support vector regression. Stat Comput 2004;14:199-222.
14. Christophe D, Quentin G. An explicit split point procedure in model-based trees allowing for a quick fitting of GLM trees and GLM forests. Stat Comput 2021;32(1):1-27.
15. Gerard B. Analysis of a Random Forests Model. J Mach Learn Res 2012;13:1063-95.
16. Alexandros K, David M, Kurt H. Support Vector Machines in R. J Stat Softw 2006;15(9):1-28.
17. Louise S, Guillaume T, Shaun H, Olivier D, Alexander H, Abdou K, et al. Using R in hydrology: a review of recent developments and future directions. Hydrol Earth Syst Sci 2019;23(7):2939-63.



อัลกอริทึมการตัดสินใจแบบใหม่สำหรับการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

A Novel Decision-making Algorithm for choosing Green Supplier

ไพโรจน์ เยียระยง

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

Pairote Yiarayong

Division of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
Phitsanulok, 65000

Corresponding author: pairote.y@psru.ac.th

Received: 30 June 2023/ Revised: 8 October 2023/ Accepted: 10 October 2023

บทคัดย่อ

เซตวิภังค์ (FS) เซตวิภังค์แบบสหฐาน (IFS) เซตวิภังค์พีทาโกรัส (PFS) เซตวิภังค์เฟอร์มาแทน (FFS) และเซตวิภังค์ q -รังก์ออร์โทแพร์ถือได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของเซตวิภังค์ m, n -รังก์ออร์โทแพร์ (m, n -ROFS) ดังนั้น m, n -ROFS จึงเป็นเซตที่ครอบคลุมมากกว่าเซตดังกล่าวข้างต้น ในบทความนี้ได้ตรวจสอบปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะ (MADM) ตามการดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิภังค์ m, n -รังก์ออร์โทแพร์พร้อมด้วยข้อมูลวิภังค์ m, n -รังก์ออร์โทแพร์ จากนั้นได้ใช้ตัวดำเนินการเหล่านี้เพื่อพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะแบบวิภังค์ m, n -รังก์ออร์โทแพร์ สุดท้ายได้ให้ตัวอย่างการปฏิบัติสำหรับการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไว้เพื่อตรวจสอบแนวทางที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ: เซตวิภังค์ เซตวิภังค์แบบสหฐาน เซตวิภังค์พีทาโกรัส เซตวิภังค์เฟอร์มาแทน
เซตวิภังค์ q -รังก์ออร์โทแพร์

Abstract

Fuzzy set (FS), intuitionistic fuzzy set (IFS), Pythagorean fuzzy set (PFS), Fermatean fuzzy set (FFS), q -rung orthopair fuzzy set (q -ROFS) can be regarded as a special case of m, n -rung orthopair fuzzy set (m, n -ROFS). Therefore, m, n -ROFS is a more comprehensive set. In this paper, we investigate the multiple attribute decision making (MADM) problem based on the m, n -rung orthopair fuzzy weighted averaging operator with m, n -rung orthopair fuzzy information. Then, we have utilized these operators to develop some approaches to solve the m, n -rung orthopair fuzzy multiple attribute decision making problems. Finally, a practical example of green supplier selection in green supply chain management is given to verify the developed approach.

Keywords: Fuzzy set, Intuitionistic fuzzy set, Pythagorean fuzzy set, Fermatean fuzzy set, q -rung orthopair fuzzy set

บทนำ

ในปัจจุบันโลกต้องประสบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมถูกทำลาย ทรัพยากรธรรมชาติ มลพิษและภาวะโลกร้อน แหล่งที่มาของมลพิษมีตั้งแต่ในธรรมชาติหน่วยเล็ก ๆ ไปจนถึงการปล่อยมลพิษปริมาณมากจากกิจกรรมในโรงงานอุตสาหกรรม [1] ธรรมชาติและจิตสำนึกของประชาคมโลกที่เพิ่มขึ้นสามารถสร้างแรงกดดันด้านสิ่งแวดล้อมได้นำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ลดผลกระทบทางลบต่อธรรมชาติ ระบบนิเวศและสังคม เพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องเปลี่ยนจากแนวทางปฏิบัติแบบดั้งเดิมไปสู่แนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนมากขึ้นในภาคส่วนต่าง ๆ ผลที่ตามมาของความพยายามเหล่านี้จึงทำให้บริษัทต่าง ๆ ในปัจจุบันได้เริ่มนำแนวทางปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ในกิจกรรมทางธุรกิจของบริษัท [2] เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของตนเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ในปัจจุบันบริษัทต่าง ๆ จำนวนมากเกิดการตื่นตัวในการออกมาปกป้องสิ่งแวดล้อมด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม [3] การเลือกซัพพลายเออร์ (supplier selection) เป็นหนึ่งในส่วนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการตัดสินใจโดยบริษัทจะจัดประเภท ประเมิน และเลือกซัพพลายเออร์ของวัตถุดิบที่ต้องการ การเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมส่งผลต่อประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย [4] ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ที่จะผลิตสินค้าคุณภาพสูงต้นทุนต่ำโดยปราศจากการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดที่มีการแข่งขันสูงในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้การใช้เกณฑ์การคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมจึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้บริษัทบรรลุผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ยั่งยืน (sustainable supplier selection) ได้รับความสนใจและเป็นแนวทางปฏิบัติของภาคอุตสาหกรรม [5, 6] โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือที่เรียกว่าซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (green supplier) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการหาพันธมิตรที่ยั่งยืน เนื่องจากความซับซ้อนเพิ่มขึ้นของระบบเศรษฐกิจและสังคมส่งผลให้ความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจเกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเลือกซัพพลายเออร์จะต้องเผชิญกับเกณฑ์ต่าง ๆ มีความซับซ้อนจึงเป็นเรื่องยากที่บริษัทจะบรรลุผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพในการเลือกซัพพลายเออร์ ด้วยเหตุนี้ผู้มีอำนาจตัดสินใจ (decision-maker) จึงใช้วิธีการหลากหลายเพื่อแก้ไขปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะ (multi attribute decision-making) เช่น การใช้เซตวิภังค์ (fuzzy set) [7] และเทคนิคภาษาศาสตร์วิภังค์ (fuzzy linguistic technique) [8] ลักษณะทั่วไป (generalization) ของเซตวิภังค์ได้ถูกนำเสนอโดย Atanassov [9] ที่เรียกว่าเซตวิภังค์แบบสัทัญญาณ (intuitionistic fuzzy set) เซตวิภังค์แบบสัทัญญาณเป็นการรวมตัวกันของฟังก์ชันสมาชิก (membership) และฟังก์ชันไม่ใช้สมาชิก (non-membership) สำหรับผู้มีอำนาจตัดสินใจเพื่อสื่อสารความรู้ที่คลุมเครือ ต่อมา Yager [10] ได้เสนอแนวคิดของเซตวิภังค์พิทาโกรัส (Pythagorean fuzzy set) เพื่อสร้างพื้นที่ให้เพียงพอสำหรับผู้มีอำนาจตัดสินใจเป็นที่ชัดเจนว่าทุกเซตวิภังค์พิทาโกรัสให้รายละเอียดเพิ่มเติมเฉพาะสำหรับการประเมินได้มากกว่าเซตวิภังค์แบบสัทัญญาณ ดังนั้นเซตวิภังค์พิทาโกรัสจึงมีความสามารถมากกว่าเซตวิภังค์แบบสัทัญญาณในการลดความไม่ถูกต้องของข้อมูลที่ไม่มีสมบูรณ์ในปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะ เนื่องจากความซับซ้อนและปริมาณที่เพิ่มขึ้นของข้อมูลล่าสุด Yager [11] จึงเสนอแนวคิดใหม่ที่พัฒนามาจากเซตวิภังค์แบบสัทัญญาณเรียกแนวคิดนั้นว่า เซตวิภังค์ q -รุงออร์โทเพอร์ (q-rung orthopair fuzzy set) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการอธิบายความไม่แน่นอนของปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะได้ดีกว่าเดิม จนถึงตอนนี้มีนักวิจัยหลายคนให้ความสนใจกับเซตวิภังค์ q -รุงออร์โทเพอร์ เช่น Liu และคณะ [12] เสนอตัวดำเนินการจุดใหม่บางส่วนภายใต้สภาพแวดล้อมภาษาวิภังค์ q -รุงออร์โทเพอร์ (linguistic q-rung orthopair fuzzy) ในปี 2022, Ibrahim และ Alshammari [13] ได้ขยายแนวความคิดของเซตวิภังค์ q -รุงออร์โทเพอร์ ที่เรียกว่าเซตวิภังค์ m, n -รุงออร์โทเพอร์ (m, n -rung orthopair fuzzy set) เพื่อแก้ปัญหาการตัดสินใจ นอกจากนี้มีนักวิจัยจำนวนมากได้สำรวจและขยายทฤษฎีของตัวดำเนินการอีกมากมาย เช่น [14-18] เนื่องจากตัวดำเนินการเดิมมีอยู่ไม่สามารถแก้ปัญหาในการตัดสินใจได้ในการแก้ปัญหาการเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมนั้นทราบกันดีว่า



เป็นเรื่องยากเนื่องจากวิธีที่มีอยู่ไม่ครอบคลุมและไม่มากพอจะพิจารณาการเลือกซัพพลายเออร์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ในทุกประเภทของข้อมูล เพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์ที่อาจไม่สามารถสะท้อนข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือและกำกวมจากผู้เชี่ยวชาญได้อย่างเพียงพอ

ในบทความนี้ได้พัฒนาการดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิถีสันย m, n -รังก์ออร์โทเพอร์พร้อมด้วยข้อมูลวิถีสันย m, n -รังก์ออร์โทเพอร์ จากนั้นได้ใช้ตัวดำเนินการเหล่านี้เพื่อพัฒนาแนวทางบางอย่างในการแก้ปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะแบบวิถีสันย m, n -รังก์ออร์โทเพอร์ สุดท้ายได้ตัวอย่างการปฏิบัติสำหรับการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีไว้เพื่อตรวจสอบแนวทางที่พัฒนาขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทความนี้ได้สร้างทฤษฎีบทต่าง ๆ โดยเริ่มต้นจากความรู้พื้นฐาน ดังนี้

บทนิยาม 1. [9] เซตวิถีสันยแบบสหัชญาณ (intuitionistic fuzzy set (IFS)) A บนเอกภพสัมพัทธ์ (universal set) U มีรูปแบบ $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ โดยที่ $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และเรียก μ_A และ ν_A ว่าระดับชั้นสมาชิก (membership degree) และระดับชั้นไม่เป็นสมาชิก (non-membership degree) ตามลำดับ และ $0 \leq \mu_A(a) + \nu_A(a) \leq 1$ สำหรับ $a \in U$

บทนิยาม 2. [10] เซตวิถีสันยพิทาโกรัส (Pythagorean fuzzy set (PFS)) A บนเอกภพสัมพัทธ์ U มีรูปแบบ $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ โดยที่ $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และเรียก μ_A และ ν_A ว่าระดับชั้นสมาชิกและระดับชั้นไม่เป็นสมาชิกตามลำดับและ $0 \leq [\mu_A(a)]^2 + [\nu_A(a)]^2 \leq 1$ สำหรับ $a \in U$

บทนิยาม 3. [19] เซตวิถีสันยเฟอร์มาแทน (Fermatean fuzzy set (FFS)) A บนเอกภพสัมพัทธ์ U มีรูปแบบ $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ โดยที่ $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และเรียก μ_A และ ν_A ว่าระดับชั้นสมาชิกและระดับชั้นไม่เป็นสมาชิกตามลำดับและ $0 \leq [\mu_A(a)]^3 + [\nu_A(a)]^3 \leq 1$ สำหรับ $a \in U$

บทนิยาม 4. [11] เซตวิถีสันย q -รังก์ออร์โทเพอร์ (q -runc orthopair fuzzy set (q -ROFS)) A บนเอกภพสัมพัทธ์ U มีรูปแบบ $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ โดยที่ $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และเรียก μ_A และ ν_A ว่าระดับชั้นสมาชิกและระดับชั้นไม่เป็นสมาชิกตามลำดับและ $0 \leq [\mu_A(a)]^q + [\nu_A(a)]^q \leq 1$ สำหรับ $a \in U$

บทนิยาม 5. [13] เซตวิถีสันย m, n -รังก์ออร์โทเพอร์ (m, n -runc orthopair fuzzy set (m, n -ROFS)) A บนเอกภพสัมพัทธ์ U มีรูปแบบ $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ โดยที่ $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_A : U \rightarrow [0, 1]$ และเรียก μ_A และ ν_A ว่าระดับชั้นสมาชิกและระดับชั้นไม่เป็นสมาชิกตามลำดับและ $0 \leq [\mu_A(a)]^m + [\nu_A(a)]^n \leq 1$ สำหรับ $a \in U$

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ U มีสมาชิกเพียงสมาชิกเดียวแล้วนั่นคือ $U = \{a\}$ และ m, n -ROFS $A = \{ \{a, \mu_A(a), \nu_A(a)\} : a \in U \}$ จะเขียนแทนด้วย $A = (\mu_A, \nu_A)$ นอกจากนี้เพื่อความสะดวกจะเรียกว่า $A = (\mu_A, \nu_A)$ ว่าจำนวนวิถีสันย m, n -รังก์ออร์โทเพอร์ (m, n -runc orthopair fuzzy number (m, n -ROFN)) ยิ่งไปกว่านั้น $MN(U)$ หมายถึงเซตที่มีสมาชิกเป็น m, n -ROFN ทั้งหมดบนเอกภพสัมพัทธ์ U และ Δ, ∇ หมายถึง m, n -ROFN โดยที่ $\Delta = (1, 0)$ และ $\nabla = (0, 1)$

บทนิยาม 6. [13] กำหนดให้ $A = (\mu_A, \nu_A)$ และ $B = (\mu_B, \nu_B)$ เป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ λ เป็นจำนวนจริงบวกใด ๆ ต่อไปนี้จะนิยามความสัมพันธ์และการดำเนินการของ m, n -ROFN ดังนี้

1. $A < B$ หมายถึง $\mu_A \leq \mu_B$ และ $\nu_A \geq \nu_B$
2. $A = B$ หมายถึง $A < B$ และ $B < A$
3. $A^c = (\nu_A, \mu_A)$
4. $A \oplus B = \left(\sqrt[m]{\mu_A^m + \mu_B^m - \mu_A^m \mu_B^m}, \nu_A \nu_B \right)$
5. $A \otimes B = \left(\mu_A \mu_B, \sqrt[n]{\nu_A^n + \nu_B^n - \nu_A^n \nu_B^n} \right)$
6. $\lambda A = \left(\sqrt[m]{1 - (1 - \mu_A^m)^\lambda}, \nu_A^\lambda \right)$
7. $A^\lambda = \left(\mu_A^\lambda, \sqrt[n]{1 - (1 - \nu_A^n)^\lambda} \right)$

บทนิยาม 7. [13] กำหนดให้ $A = (\mu_A, \nu_A)$ เป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U นิยามของฟังก์ชันคะแนน (score function) $SC(A)$ และฟังก์ชันแม่นยำ (accuracy function) $AC(A)$ ของ $A = (\mu_A, \nu_A)$ ดังนี้

1. $SC(A) = \mu_A^m - \nu_A^n$
2. $AC(A) = \mu_A^m + \nu_A^n$

ผลการวิจัย

บทนิยาม 8. ให้ $\Delta = \{A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i}) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ เป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ เป็นเวกเตอร์น้ำหนัก (weight vector) ของ Δ โดยที่ $0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ การดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิภังค์ m, n -รังก์ออร์โทแพร์ (m, n -rung orthopair fuzzy weighted

averaging (m, n -ROFWA) operator) $WA: MN^n(U) \rightarrow MN(U)$ นิยามโดย $WA(A_1, A_2, \dots, A_n) = \bigoplus_{i=1}^n \lambda_i A_i$

ทฤษฎีบท 9. ถ้า $\{A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i}) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ เป็นเซตที่มีสมาชิกเป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ

$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ เป็นเวกเตอร์น้ำหนักโดยที่ $0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ แล้ว

$$WA(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = \left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\mu_{A_i})^m)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)$$

การพิสูจน์ กำหนดให้ $A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i})$ เป็น m, n -ROFN บน U สำหรับทุก $i = 1, 2, 3, \dots, n$ และ

$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

1. สำหรับจำนวนนับ $n = 2$ โดยบทนิยาม 6 ได้ผลลัพธ์ต่อไปนี้

$$\begin{aligned} WA(A_1, A_2) &= \bigoplus_{i=1}^2 \lambda_i A_i \\ &= \lambda_1 A_1 \oplus \lambda_2 A_2 \\ &= \lambda_1 A_1 \oplus \lambda_2 A_2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= \left(\sqrt[m]{1 - (1 - \mu_{A_1}^m)^{\lambda_1}}, \nu_{A_1}^{\lambda_1} \right) \oplus \left(\sqrt[m]{1 - (1 - \mu_{A_2}^m)^{\lambda_2}}, \nu_{A_2}^{\lambda_2} \right) \\
 &= \left(\sqrt[m]{\left(1 - (1 - \mu_{A_1}^m)^{\lambda_1}\right) + \left(1 - (1 - \mu_{A_2}^m)^{\lambda_2}\right) - \left(1 - (1 - \mu_{A_1}^m)^{\lambda_1}\right)\left(1 - (1 - \mu_{A_2}^m)^{\lambda_2}\right)}, \right. \\
 &\quad \left. \nu_{A_1}^{\lambda_1} \nu_{A_2}^{\lambda_2} \right) \\
 &= \left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^2 \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^2 (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นผลลัพธ์ข้างต้นเป็นจริงเมื่อ $k = 2$

2. สมมติให้สมมติฐานข้างต้นเป็นจริงเมื่อ $n = k$ นั่นคือ

$$WA(A_1, \dots, A_{k+1}) = \left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^k \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^k (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)$$

โดยบทนิยาม 6 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 WA(A_1, A_2, \dots, A_{k+1}) &= \bigoplus_{i=1}^{k+1} \lambda_i A_i \\
 &= \left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^k \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^k (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right) \oplus \left(\sqrt[m]{1 - (1 - \mu_{A_{k+1}}^m)^{\lambda_{k+1}}}, \nu_{A_{k+1}}^{\lambda_{k+1}} \right) \\
 &= \left(\sqrt[m]{1 - (1 - (\mu_{A_1})^m)^{\lambda_1} \dots (1 - (\mu_{A_{k+1}})^m)^{\lambda_{k+1}}}, \prod_{i=1}^{k+1} (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right) \\
 &= \left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^{k+1} \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^{k+1} (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)
 \end{aligned}$$

จากผลลัพธ์ข้างต้นทำให้ได้ว่าสมการข้างต้นเป็นจริงสำหรับทุกจำนวนเต็มบวกใด ๆ

ต่อไปนี้จะพิสูจน์ว่า $WA(A_1, A_2, \dots, A_n)$ ยังเป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U เนื่องจาก

$$\begin{aligned}
 0 \leq \mu_{A_i}, \nu_{A_i} \leq 1 \text{ ดังนั้น} \quad & 0 \leq (\mu_{A_i})^m, (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \leq 1 \\
 & 0 \leq \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}, \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \leq 1 \\
 & 0 \leq \sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}}, \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \leq 1
 \end{aligned}$$

และเพราะว่า $0 \leq (\mu_{A_i})^m + (\nu_{A_i})^n \leq 1$ ทำให้ได้ว่า

$$\begin{aligned}
 & 0 \leq (\nu_{A_i})^n \leq 1 - (\mu_{A_i})^m \\
 & 0 \leq \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \leq \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i} \\
 & 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i} \leq 1 - \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ

$$\left(\sqrt[m]{1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i}} \right)^m + \left(\prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)^n = 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - (\mu_{A_i})^m\right)^{\lambda_i} + \left(\prod_{i=1}^n (\nu_{A_i})^{\lambda_i} \right)^n$$

$$\leq 1 - \prod_{i=1}^n (\nu_{A_i}^{\lambda_i})^n + \left(\prod_{i=1}^n (\nu_{A_i}^{\lambda_i}) \right)^n$$

$$= 1$$

ดังนั้นจึงเสร็จสิ้นการพิสูจน์

ทฤษฎีบทที่ 10-12 เป็นผลมาจากทฤษฎีบท 9

ทฤษฎีบท 10. ให้ $\{A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i}) : i=1, 2, 3, \dots, n\}$ เป็นเซตที่มีสมาชิกเป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ

$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ เป็นเวกเตอร์น้ำหนักโดยที่ $0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

ถ้า $A_i = A = (\mu_A, \nu_A)$ แล้ว $WA(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = A$

การพิสูจน์ แสดงการพิสูจน์ได้โดยตรงโดยการแทน $A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i})$ ด้วย $A = (\mu_A, \nu_A)$ ในทฤษฎีบท 9

ทฤษฎีบท 11. ให้ $\{A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i}) : i=1, 2, 3, \dots, n\}$ และ $\{B_i = (\mu_{B_i}, \nu_{B_i}) : i=1, 2, 3, \dots, n\}$ เป็นเซตที่มีสมาชิกเป็น

m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ เป็นเวกเตอร์น้ำหนัก โดยที่

$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ถ้า $A_i < B_i$ แล้ว $WA(A_1, A_2, \dots, A_n) < WA(B_1, B_2, \dots, B_n)$

การพิสูจน์ แสดงการพิสูจน์ได้โดยตรงตามทฤษฎีบท 9

ทฤษฎีบท 12. ให้ $\{A_i = (\mu_{A_i}, \nu_{A_i}) : i=1, 2, 3, \dots, n\}$ เป็นเซตที่มีสมาชิกเป็น m, n -ROFN บนเอกภพสัมพัทธ์ U และ

$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ เป็นเวกเตอร์น้ำหนักโดยที่ $0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

ถ้า $A^- = \left(\bigwedge_{i=1}^n \mu_{A_i}, \bigvee_{i=1}^n \nu_{A_i} \right)$ และ $A^+ = \left(\bigvee_{i=1}^n \mu_{A_i}, \bigwedge_{i=1}^n \nu_{A_i} \right)$ แล้ว $A^- < WA(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) < A^+$

การพิสูจน์ แสดงการพิสูจน์ได้โดยตรงตามทฤษฎีบท 9

ในปัญหาการตัดสินใจหลายคุณลักษณะสมมติให้ $\{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ เป็นเซตของทางเลือก (alternative)

$\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ เป็นเซตของคุณลักษณะ. (attribute) และ $D = [A_{ij}]_{m \times n}$ เป็นเมทริกซ์การตัดสินใจ (decision

matrix) และ $A_{ij} = (\mu_{A_{ij}}, \nu_{A_{ij}})$ เป็นค่าการประเมินที่กำหนดโดยผู้ตัดสินใจ (decision maker) เมื่อประเมินทางเลือกของ

F_i ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะ G_j ในรูปแบบของ m, n -ROFN โดยที่ $0 \leq \mu_{A_{ij}}, \nu_{A_{ij}} \leq 1$ และ

$$0 \leq (\mu_{A_{ij}})^m + (\nu_{A_{ij}})^n \leq 1$$

อัลกอริทึม (Algorithm)

Input: ทางเลือก

Output: ทางเลือกที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 ผู้ตัดสินใจประเมินทางเลือกด้วยความเคารพต่อคุณลักษณะและให้ค่าการประเมินแบบ m, n -ROFN เพื่อสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ $D = [A_{ij}]_{m \times n}$ โดยที่ $A_{ij} = (\mu_{A_{ij}}, \nu_{A_{ij}})$ และ $0 \leq \mu_{A_{ij}}, \nu_{A_{ij}} \leq 1$, $0 \leq (\mu_{A_{ij}})^m + (\nu_{A_{ij}})^n \leq 1$

ขั้นตอนที่ 2 ปรับปรุงเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นมาตรฐาน (normalize) โดยการแบ่งคุณลักษณะเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทต้นทุน (cost type) และประเภทผลประโยชน์ (benefit type) ด้วยสมการต่อไปนี้

$$R = \begin{cases} A_{ij}; & \text{for benefit attribute } G_j \\ A_{ij}^c; & \text{for cost attribute } G_j \end{cases}$$



ขั้นตอนที่ 3 ประเมินทางเลือกโดยใช้การดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิธีอันดับ m, n -รุ่งอรุณโทแพร์ (ทฤษฎีบท 9)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณฟังก์ชันคะแนน $SC(r_i)$ กรณีที่ฟังก์ชันคะแนนเท่ากันจะคำนวณฟังก์ชันแน่น $AC(r_i)$

ขั้นตอนที่ 5 จัดอันดับทางเลือกตามการจัดอันดับของ r_i และเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของวิธีการที่เสนอ ต่อไปจะให้อย่างที่ดัดแปลงมาจาก Liu และคณะ [12] ซัพพลายเออร์คือแหล่งที่มาของห่วงโซ่อุปทานทั้งหมดและการเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นรากฐานของการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคุณภาพของซัพพลายเออร์จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กร การเปรียบเทียบการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการห่วงโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมจากนั้นจึงวิเคราะห์ลักษณะของพันธมิตรคู่ค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากแง่มุมต่าง ๆ จากนั้นจะมีการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เน้นการพัฒนาร่วมกันของสภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจ สังคมและระบบนิเวศด้วย m, n -ROFN จากการสำรวจสมมติว่ามีซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ทั้งหมด 5 ราย ได้แก่ F_1, F_2, F_3, F_4 และ F_5 ผู้เชี่ยวชาญเลือกคุณลักษณะ 4 ประการเพื่อประเมินซัพพลายเออร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ ดังนี้ 1) G_1 คือปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 2) G_2 คือปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม 3) G_3 คือปัจจัยการจัดส่ง 4) G_4 เป็นปัจจัยด้านราคา ซัพพลายเออร์ทั้ง 5 รายจะต้องได้รับการประเมินด้วย m, n -ROFN ตามคุณลักษณะทั้ง 4 ประการ ซึ่งมีค่าเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (weighting vector) เป็น $\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.2, \lambda_3 = 0.3$ และ $\lambda_4 = 0.2$ ผลการประเมินเป็นไปตามดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเมทริกซ์การตัดสินใจ m, n -ROFN

	G_1	G_2	G_3	G_4
F_1	(0.9,0.7)	(0.5,0.6)	(0.3,0.9)	(0.5,0.7)
F_2	(0.7,0.7)	(0.8,0.8)	(0.5,0.5)	(0.6,0.6)
F_3	(0.7,0.3)	(0.6,0.5)	(0.8,0.4)	(0.5,0.4)
F_4	(0.5,0.6)	(0.4,0.7)	(0.5,0.8)	(0.3,0.6)
F_5	(0.6,0.7)	(0.8,0.6)	(0.5,0.5)	(0.6,0.4)

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจได้ ดังนี้

$$D = \begin{bmatrix} (.9,.7) & (.5,.6) & (.3,.9) & (.5,.7) \\ (.7,.7) & (.8,.8) & (.5,.5) & (.6,.6) \\ (.7,.3) & (.6,.5) & (.8,.4) & (.5,.4) \\ (.5,.6) & (.4,.7) & (.5,.8) & (.3,.6) \\ (.6,.7) & (.8,.6) & (.5,.5) & (.6,.4) \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจาก G_3 และ G_4 เป็นคุณลักษณะประเภทต้นทุนและ G_3 และ G_4 เป็นคุณลักษณะประเภทผลประโยชน์จึงปรับปรุงเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นมาตรฐาน (normalize) ได้ ดังนี้

$$R = \begin{bmatrix} (.9,.7) & (.5,.6) & (.9,.3) & (.7,.5) \\ (.7,.7) & (.8,.8) & (.5,.5) & (.6,.6) \\ (.7,.3) & (.6,.5) & (.4,.8) & (.4,.5) \\ (.5,.6) & (.4,.7) & (.8,.5) & (.6,.3) \\ (.6,.7) & (.8,.6) & (.5,.5) & (.4,.6) \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินทางเลือกโดยใช้การดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิธีอันดับ m, n -รุ่งอรุณโทแพร์ ดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าของทางเลือก

m, n	4,4	5,4	4,5	10,20
r_1	(0.8005,0.4921)	(0.8078,0.4921.)	(0.8005,0.4921)	(0.8351,0.4921)
r_2	(0.6960,0.6301)	(0.7017,0.6301)	(0.6960,0.6301)	(0.7265,0.6301)
r_3	(0.5675,0.4939)	(0.5772,0.4939)	(0.5675,0.4939)	(0.6136,0.4939)
r_4	(0.6268,0.5100)	(0.6395,0.5100)	(0.6268,0.5100)	(0.6899,0.5100)
r_5	(0.6572,0.5949)	(0.6697,0.5949)	(0.6572,0.5949)	(0.7149,0.5949)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณฟังก์ชันคะแนน ดังนี้

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าของฟังก์ชันคะแนน

m, n	4,4	5,4	4,5	10,20
$SC(r_1)$	0.0319	0.2855	0.3817	0.1650
$SC(r_2)$	0.0770	0.0124	0.1353	0.0408
$SC(r_3)$	0.0442	0.0045	0.0743	0.0075
$SC(r_4)$	0.0867	0.0393	0.1199	0.0244
$SC(r_5)$	0.0613	0.0094	0.1120	0.0348

ขั้นตอนที่ 5 จัดอันดับทางเลือกตามการจัดอันดับของ r_i ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการจัดอันดับทางเลือกแต่ละแบบ

ตัวดำเนินการ	อันดับทางเลือก
4,4-ROFWA	$F_1 \geq F_4 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_3$
5,4-ROFWA	$F_1 \geq F_4 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_3$
4,5-ROFWA	$F_1 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_4 \geq F_3$
10,20-ROFWA	$F_1 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_4 \geq F_3$
FFWA [19]	ไม่สามารถคำนวณได้
3,4-QFWA [14]	$F_1 \geq F_4 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_3$
q -ROFWA เมื่อ $q = 4$ [20]	$F_1 \geq F_4 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_3$
(2,1)-FWA [16]	ไม่สามารถคำนวณได้

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เพื่ออธิบายผลกระทบของพารามิเตอร์ m และ n ต่อผลลัพธ์สุดท้ายของการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะจะได้ใช้ค่าที่แตกต่างกันของ m และ n เพื่อจัดอันดับทางเลือกผลลัพธ์ของการจัดลำดับทางเลือกตามการดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิภังค์ m, n -รุ่งอรุณโทแพร์แสดงในตาราง 4 การดำเนินการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักวิภังค์ m, n -รุ่งอรุณโทแพร์จะได้รับอันดับทางเลือกเป็น $F_1 \geq F_4 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_3$ เมื่อ $m, n = 4, 4$ และ $m, n = 5, 4$ และได้รับอันดับทางเลือกเป็น $F_1 \geq F_2 \geq F_5 \geq F_4 \geq F_3$ เมื่อ $m, n = 4, 5$ และ $m, n = 10, 20$ โดยมี F_1 เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดและ F_3 เป็นตัวเลือกในอันดับที่ 5 การจัดอันดับทางเลือกของ $m, n = 4, 4$ และ $m, n = 5, 4$ เหมือนกับการดำเนินการ, 3,4-QFWA [14] และ q -ROFWA เมื่อ $q = 4$ แต่การดำเนินการ FFWA [19] และ (2,1)-FWA [16] ไม่สามารถคำนวณหาทางเลือกได้จากข้อมูลข้างต้น



เอกสารอ้างอิง

1. Robinson D. Air pollution in Australia: Review of costs, sources and potential solutions. *Health Promot J Austr* 2005;16(3):213-20.
2. Kannan D, Jabbour A, Jabbour C. Selecting green suppliers based on GSCM practices: using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *Eur J Oper Res* 2014;233(2):432-47.
3. Akman G, Piskin H. Evaluating green performance of suppliers via analytic network process and TOPSI. *J Ind Eng* 2013;2013:915241(1-13).
4. Onder E, Dag S. Combining analytical hierarchy process and TOPSIS approaches for supplier selection in a cable company. *JBEF* 2013;2(2):56-74.
5. Esfahbodi A, Zhang Y, Watson G. Sustainable supply chain management in emerging economies: Trade-offs between environmental and cost performance. *Int J Prod Econ* 2016;181:350-66.
6. Schoenherr T, Modi SB, Benton WC, Carter CR, Choi TY, Larson PD, Leenders MR, Mabert VA, Narasimhan R, Wagner SM. Research opportunities in purchasing and supply management. *Int J Prod Res* 2012;50(16):4556-79.
7. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inform Control* 1965;8(3):338-53.
8. Rodriguez RM, Martinez L, Herrera F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 2012;20(1):109-19.
9. Atanassov KT. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst* 1986;20(1):87-96.
10. Yager RR. Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 2014;22(4):958-65.
11. Yager RR. Generalized orthopair fuzzy sets. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 2017;25(5):1222-30.
12. Liu P, Naz S, Akram M, Muzammal M. Group decision-making analysis based on linguistic q-rung orthopair fuzzy generalized point weighted aggregation operators. *Int J Mach Learn & Cyber* 2022;13:883-906.
13. Ibrahim HZ, Alshammari I. n,m-rung orthopair fuzzy sets with applications to multi-criteria decision making. *IEEE Access* 2022;10:99562-72.
14. Seikh MR, Mandal U. Multiple attribute decision-making based on 3,4-quasirung fuzzy sets. *Granul Comput* 2022;7:965-78.
15. Gul M, Ak MF. Occupational risk assessment for flight schools: a 3,4-quasirung fuzzy multi-criteria decision making-based approach. *Sustainability* 2022;14:9373(1-22).
16. Shami TMA. (2,1)-fuzzy sets: properties, weighted aggregated operators and their applications to multi-criteria decision-making methods. *Complex Intell Syst* 2023;9:1687-705.
17. Ibrahim HZ. Innovative method for group decision-making using n,m-rung orthopair fuzzy soft expert set knowledge. *Soft Comput* 2023;1-20.
18. Rajput A, Shukla S, Thakur S. Cosine similarity measures of (m, n)-rung orthopair fuzzy sets and their applications in plant leaf disease classification. *Symmetry* 2023;15(7):1385.



19. Senapati T, Yager RR. Fermatean fuzzy weighted averaging/geometric operators and its application in multicriteria decision making method. Eng Appl Artif Intell 2019;85:112-21.
20. Kumar K, Chen SM. Group decision making based on q-rung orthopair fuzzy weighted averaging aggregation operator of q-rung orthopair fuzzy numbers. Inf Sci 2022;598:1-18.



องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสมุนไพรไทย

Chemical Constituents and Acetylcholinesterase Inhibitory Activity of Thai Medicinal Herbs

คงเดช สวาสดีพันธ์¹ สิริวัฒน์ บุญชัยศรี² ตามรัศมน สุรางกูร³ อัญชนา ปรีชาวรพันธ์⁴
และ ภรภัทร ลำอ่างค์^{4*}

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

³ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

⁴สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

Kongdech Savaspun¹, Siriwat Boonchaisri², Damratsamon Surangkul³,
Anchana Preechaworapun⁴ and Pornpat Sam-ang^{4*}

¹Division of Chemistry, School of Science, University of Phayao, Phayao, 56000

²Division of Biology, School of Science, University of Phayao, Phayao, 56000

³Department of Biochemistry, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

⁴Division of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

*Corresponding author: pornpat.s@psru.ac.th

Received: 10 August 2023/ Revised: 3 October 2023/ Accepted: 10 October 2023

บทคัดย่อ

โรคอัลไซเมอร์ จัดเป็นโรคความเสื่อมของระบบประสาท ในปัจจุบันแนวทางการรักษาของโรคอัลไซเมอร์คือ การเพิ่มปริมาณสารสื่อประสาทอะซิติลโคลีนในสมองโดยใช้ยาที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสจากสมุนไพรไทยทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ ใบเหลียง ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบบัวบก ใบมะรุม ใบมะกอก ใบมันปู และใบหมุย ที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลและวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของสารสกัดที่ออกฤทธิ์ด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี/แมสสเปกโตรเมทรี เนื่องจากมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์นี้ค่อนข้างน้อย พบว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสสูงที่สุดด้วยค่า IC₅₀ เท่ากับ 181 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แมสสเปกตรัมของสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับสารสกัดใบมันปูและสารสกัดใบเหลียงที่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งปานกลางและน้อย พบสารประกอบฟลาโวนอยด์ (isorhamnetin-3-O-

glucoside, 3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulphate และ apigenin 7-sulfate), สารประกอบฟีนอลิก (4-O-methylgallic acid) และสารประกอบ phosphatidylcholine ที่คาดว่าเป็นองค์ประกอบหลักของสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ในการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส จากผลวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาพัฒนาเป็นอาหารเสริมทางการแพทย์ป้องกันโรคอัลไซเมอร์ต่อไปได้

คำสำคัญ: สมุนไพรไทย มะม่วงหิมพานต์ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส ลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี/แมสสเปกโตรเมทรี

Abstract

Alzheimer's disease (AD) is classified as a neurodegenerative disease. Currently, the treatment for AD involves increasing acetylcholine (ACh), which is a neurotransmitter, through the use of drugs known as acetylcholinesterase (AChE) inhibitors. The objective of this research is to investigate the anti-acetylcholinesterase (AChE) inhibitory activity of ethanolic extracts of seven Thai medicinal herbs: *Gnetum gnemon*, *Anacardium occidentale*, *Centella asiatica*, *Moringa oleifera*, *Spondias pinnata*, *Glochidion littorale* and *Micromelum minutum*, as there are a few reports on this study and to determine the main chemical components of the bioactive crude ethanolic extracts using liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry (LC-MS/MS). The result showed that the crude extract from leaves of *Anacardium occidentale* displayed the highest anti-AChE activity, with an IC_{50} value of 181 $\mu\text{g/ml}$. The LC-MS/MS analysis showed the chemical constituents of *Anacardium occidentale* leaves extract compared to those of *Glochidion littorale* and *Gnetum gnemon* leaves extracts which showed medium and low anti-AChE activities, respectively. From the result, it was found that the bioactive components from *Anacardium occidentale* leaves contains flavonoid compounds (isorhamnetin-3-O-glucoside, 3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulfate, and apigenin 7-sulfate), phenolic compound (4-O-methylgallic acid) and phosphatidylcholine which are expected to inhibit AChE. This research suggested that the ethanolic extract of *Anacardium occidentale* leaves has the potential to be further developed as a medicinal supplement for the prevention of Alzheimer's disease.

Keywords: Thai medicinal herbs, *Anacardium occidentale*, Acetylcholinesterase inhibition activity, Liquid chromatography- mass spectrometry/ mass spectrometry

บทนำ

โรคความเสื่อมของระบบประสาท (Neurodegenerative disorders) เป็นโรคที่มีสาเหตุจากเซลล์ประสาทในสมองถูกทำลาย ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองลดลง เป็นโรคเรื้อรังที่ไม่สามารถรักษาให้หายขาดแต่สามารถชะลอความรุนแรงของอาการเอาไว้ได้ โรคอัลไซเมอร์จัดเป็นโรคในกลุ่มอาการสมองเสื่อม [1] การลดลงของอะซิติลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทในสมองส่วนฮิปโปแคมปัส (hippocampus) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความจำเป็นหนึ่งในสมมุติฐานหลักที่สำคัญของสาเหตุการเกิดโรค การลดลงของสารสื่อประสาทชนิดอะซิติลโคลีนเป็นผลโดยตรงจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสลายอะซิติลโคลีน ซึ่งมี 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส (acetylcholinesterase: AChE) และเอนไซม์บิวทิลโคลีนเอสเทอเรส (butyrylcholinesterase: BChE) พบว่าในเนื้อเยื่อสมองของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์มีปริมาณ



อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสในสัดส่วนที่สูงกว่าบิวทิลโคลีนเอสเทอเรส [2] ปัจจุบันยาที่ใช้ในการรักษาหรือบรรเทาอาการโรคอัลไซเมอร์ เป็นยาในกลุ่ม acetylcholinesterase/ cholinesterase inhibitors (ChE-Is) ได้แก่ donepezil (Aricept®), rivastigmine (Exelon®) และ galantamine (Razadyne®) [3] ถึงแม้ว่ายาดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการลดอาการหลงลืมของผู้ป่วยรวมถึงช่วยลดความผิดปกติทางด้านอารมณ์ของผู้ป่วย แต่จะมีประสิทธิภาพเฉพาะผู้ป่วยอัลไซเมอร์ในระยะเริ่มต้นเท่านั้นไม่มีผลต่อการรักษาในระยะที่โรคมีความรุนแรง อีกทั้งยังมีอาการข้างเคียงเล็กน้อย เช่น ท้องอืด ท้องเฟ้อ และท้องร่วง [4] ดังนั้นการศึกษาหาสารที่มีประสิทธิภาพในการรักษาที่ดีกว่าและไม่มีผลข้างเคียงยังเป็นสิ่งที่จำเป็นอยู่ในปัจจุบัน

สมุนไพรไทยหลายชนิดมีสรรพคุณและประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ใบมะกอก อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ มีสรรพคุณแก้ร้อนใน แก้อาเจียน แก่ท้องอืด บำบัดโรคพาร์กินสัน [5, 6] ใบมะขาม มีประโยชน์ทำให้อ่อนเพลีย ช่วยห้ามเลือด ขับปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ออกฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด ด้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ [7 - 9] ยอดอ่อน ใบมะม่วงหิมพานต์ มีสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความแก่ มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ [10] ยอดมันปูอ่อน มีเบต้าแคโรทีนและวิตามิน A ในปริมาณที่สูง ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [11] ใบหมุย ออกฤทธิ์ยับยั้งมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลดคอเลสเตอรอล [12] ใบเหลียง ประกอบด้วย โปรตีน ธาตุเหล็ก และวิตามินอี นอกจากนี้ยังมีเบต้าแคโรทีน ช่วยบำรุงสายตา ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยป้องกันโรคภูมิแพ้ [13] ใบบัวบกช่วยแก้ร้อนใน ลดความดันโลหิต [14]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าสมุนไพรไทยแต่ละชนิดนั้นมีองค์ประกอบและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสของสารสกัดเอทานอลจากสมุนไพรทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ ใบเหลียง ใบบัวบก ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบมะขาม ใบมะกอก ใบมันปู และใบหมุย และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสได้สูงที่สุด ปานกลาง และน้อยที่สุด โดยเทคนิคคลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี/แมสสเปกโตรเมทรี (LC-MS/MS) เพื่อเป็นข้อมูลในการนำสมุนไพรไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อีกทั้งการศึกษานี้ยังเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมของพืชสมุนไพรกลุ่มนี้จากทางหนึ่งด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสมุนไพร

ตัวอย่างสมุนไพร ได้แก่ ใบเหลียง ใบบัวบก ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบมะขาม ใบมะกอก ใบมันปู และใบหมุย (ซื้อจากตลาดได้อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก) ซึ่งเป็นเขตพื้นที่บริการของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิษณุโลกสงคราม ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ดำเนินการตรวจสอบและระบุเอกลักษณ์ของพืช โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชนนพคุณ เลข Voucher Specimen PSRU 1143 (ใบเหลียง), PSRU 1144 (ใบมะม่วงหิมพานต์), PSRU 1145 (ใบมะขาม), PSRU 1146 (ใบมะกอก), PSRU 1147 (ใบมันปู) และ PSRU 1148 (ใบหมุย) เก็บรักษาไว้ ณ ห้องเก็บรวบรวมพรรณไม้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิษณุโลกสงคราม

2. การเตรียมตัวอย่างสมุนไพรและสารสกัด

นำตัวอย่างสมุนไพร ได้แก่ ใบเหลียง ใบบัวบก ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบมะขาม ใบมะกอก ใบมันปู และใบหมุย มาล้างให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการบดหยาบ ชั่งใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทชนิดละ 100 กรัม แล้วเติมเอทานอลปริมาณ 500 มิลลิลิตร สกัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) เป็นครั้งคราว จากนั้นกรองสารละลายออกด้วยกรวยกรองที่บรรจุสำลี และนำกากเดิมมาสกัดซ้ำด้วยเอทานอลใหม่อีกจนกระทั่งได้สารสกัดใสไม่มีสี นำสารละลายที่กรองได้ไประเหยตัวทำละลาย

ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (rotary evaporator) จะได้สารสกัดเอทานอล (ethanol extract) ซึ่งน้ำหนักของสารสกัดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

3. ศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส

ศึกษาฤทธิ์ใน 96-well plate ด้วยเทคนิค Modified Ellman assay โดยเติมสารละลาย 20 mM tacrine (ยาที่ใช้ในปัจจุบัน, positive control) ที่ความเข้มข้น (0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 5 µg/ml) หรือ สารสกัดสมุนไพรที่ความเข้มข้น (5, 50, 100, 500 และ 1,000 µg/ml) 25 µl ร่วมกับ 0.3 unit อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส 25 µl บ่มโดยเครื่อง incubator ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเติม 1 mM acetylthiocholine iodide 25 µl และ 3 mM DTNB 125 µl แล้วบ่มต่อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง microplate reader ที่ค่าการดูดกลืนแสง 412 nm เพื่อคำนวณร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) [15] ทำการทดลอง 3 ซ้ำของสารตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น

4. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ออกฤทธิ์โดยเทคนิค LC-MS/MS

นำสารสกัดเอทานอลที่ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสสูงสุด ออกฤทธิ์ปานกลาง และออกฤทธิ์ต่ำที่สุด แยกด้วยลิควิดโครมาโทกราฟีโดยดัดแปลงจากวิธีของ Boonchaisri et al. [16] การวิเคราะห์เริ่มจากฉีดสารสกัดปริมาตร 10 µl ให้ไหลผ่านคอลัมน์ Luna C18 100 A°, ขนาด 4.6×150 mm, อนุภาคขนาด 5 µm ที่อัตราการไหล 0.5 ml/min วัฏภาคเคลื่อนที่ประกอบด้วย 0.1% กรดฟอร์มิกในน้ำ (สารละลาย A) และ 0.1% กรดฟอร์มิกในอะซิโตนไตริล (สารละลาย B) ปรับอัตราส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่แบบเกรเดียนต์ของสารละลาย B 5-95% เวลาเซตตัวอย่าง 30 นาที ทำการสแกนมวลของสารประกอบตั้งแต่ m/z 100 - 1,000 amu จากนั้นทำให้สารประกอบแตกตัวด้วยพลังงาน (collision energies) 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 40 V หลังจากนั้นวิเคราะห์มวลของสารประกอบด้วยโปรแกรม Agilent MassHunter Qualitative Analysis Software (version B.06.00, © Agilent Technologies, Inc. 2013)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าข้อมูลทีวิเคราะห์แสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least -Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการคำนวณทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลการสกัดใบแห้งจากสมุนไพรไทย 7 ชนิด ได้แก่ ใบเหลียง ใบบัวบก ใบมะม่วงหิมพานต์ ใบมะรุม ใบมะกอก ใบมันปู และใบหมุย ด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่าสารสกัดเอทานอลแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวหนืดและมีร้อยละผลผลิตของสารสกัดต่อน้ำหนักใบแห้ง ดังตารางที่ 1

จากการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสารมาตรฐาน tacrine ที่ความเข้มข้น 0.01-5 µg/ml และสารสกัดเอทานอลจากสมุนไพรแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 5-1000 µg/ml พบว่าสารมาตรฐาน tacrine และ สารสกัด 5 ชนิด ได้แก่ สารสกัดใบมะกอก สารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ สารสกัดใบมะรุม สารสกัดใบมันปู และสารสกัดใบหมุย มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัด ส่วนสารสกัดใบบัวบกมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสที่ความเข้มข้น 500 µg/ml และ 1000 µg/ml ขณะที่สารสกัดใบเหลียงไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสที่ทุกค่าความเข้มข้นของสารสกัด นอกจากนี้ที่ความเข้มข้น 1000 µg/ml สารสกัดใบมะกอกและสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์มีค่าร้อยละการ



ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ น้ำหนักและร้อยละผลผลิตของสารสกัดเอทานอลจากสมุนไพร 7 ชนิด

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนักก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักสารสกัด (กรัม)	ร้อยละผลผลิต
ใบเหลียง	ของเหลวหนืดสีน้ำตาล	100.04	18.70	18.70
ใบบัวบก	ของเหลวหนืดสีเขียวดำ	100.03	30.23	30.23
ใบมะม่วงหิมพานต์	ของเหลวหนืดสีน้ำตาลแดง	100.04	24.79	24.79
ใบมะรุม	ของเหลวหนืดสีน้ำตาล	100.06	32.16	32.16
ใบมะกอก	ของเหลวหนืดสีน้ำตาลแดง	100.03	19.61	19.61
ใบมันปู	ของเหลวหนืดสีน้ำตาลแดง	100.02	12.51	12.51
ใบหมุย	ของเหลวหนืดสีน้ำตาล	100.02	14.18	14.18

ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสเท่ากับ 73.82 และ 73.65 ตามลำดับ ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน tacrine แม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นที่สูงกว่า เมื่อทำการศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) โดยค่า IC_{50} ของสารสกัดใบมะกอกและสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ มีค่าเท่ากับ 227 และ 181 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน tacrine มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.020 $\mu\text{g/ml}$ ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสารมาตรฐาน tacrine

สารมาตรฐาน	ร้อยละของการยับยั้ง (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.)						IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)
	0.01 $\mu\text{g/ml}$	0.05 $\mu\text{g/ml}$	0.1 $\mu\text{g/ml}$	0.5 $\mu\text{g/ml}$	1 $\mu\text{g/ml}$	5 $\mu\text{g/ml}$	
tacrine	25.15 $\pm$ 0.91	56.71 $\pm$ 0.68	66.69 $\pm$ 0.24	77.50 $\pm$ 0.13	78.87 $\pm$ 0.13	80.32 $\pm$ 0.14	0.020

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสารสกัดเอทานอลจากสมุนไพร 7 ชนิด

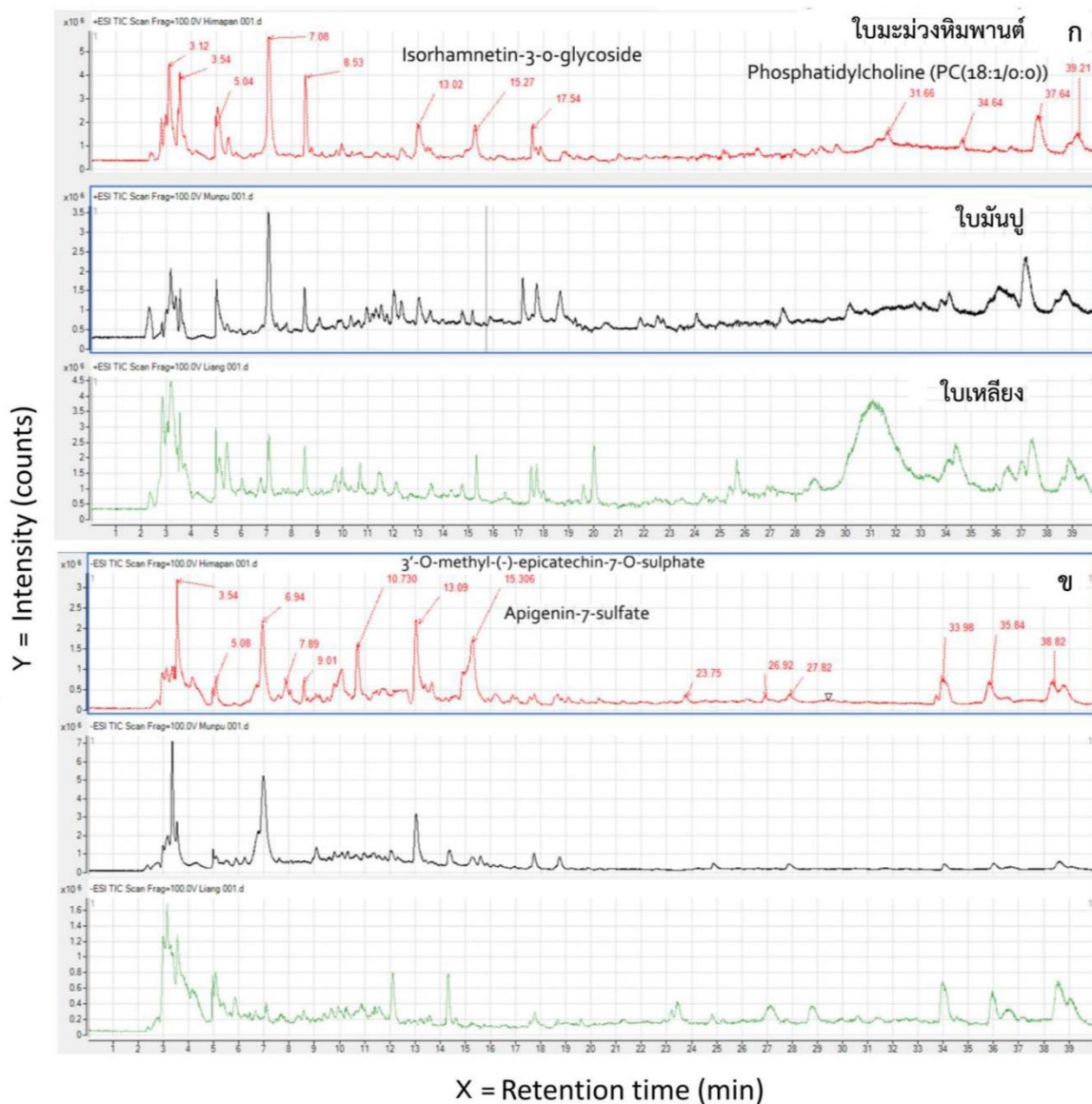
สารสกัด	ร้อยละของการยับยั้ง (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.)					IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)
	5 $\mu\text{g/ml}$	50 $\mu\text{g/ml}$	100 $\mu\text{g/ml}$	500 $\mu\text{g/ml}$	1000 $\mu\text{g/ml}$	
ใบมันปู	2.71 $\pm$ 6.25 ^b	7.37 $\pm$ 5.60 ^c	6.30 $\pm$ 3.75 ^b	34.85 $\pm$ 8.59 ^d	48.58 $\pm$ 4.78 ^b	ND
ใบบัวบก	ND*	ND*	ND*	2.30 $\pm$ 3.15 ^d	22.65 $\pm$ 13.75 ^c	ND
ใบเหลียง	1.02 $\pm$ 2.37 ^b	1.12 $\pm$ 1.95 ^c	1.49 $\pm$ 2.06 ^b	0.24 $\pm$ 0.42 ^d	1.07 $\pm$ 1.23 ^d	ND
ใบหมุย	0.75 $\pm$ 1.72 ^b	5.13 $\pm$ 6.94 ^c	2.10 $\pm$ 2.67 ^b	13.65 $\pm$ 7.13 ^c	36.23 $\pm$ 1.69 ^c	ND
ใบมะรุม	0.80 $\pm$ 1.85 ^b	2.51 $\pm$ 4.34 ^c	1.24 $\pm$ 1.13 ^b	5.74 $\pm$ 7.37 ^{cd}	25.17 $\pm$ 9.02 ^c	ND
ใบมะกอก	2.38 $\pm$ 1.05 ^{ab}	36.05 $\pm$ 11.40 ^b	46.15 $\pm$ 10.50 ^a	55.57 $\pm$ 9.94 ^a	73.82 $\pm$ 3.31 ^a	227 ^b
ใบมะม่วงหิมพานต์	6.34 $\pm$ 3.29 ^a	52.64 $\pm$ 9.87 ^a	46.14 $\pm$ 10.18 ^a	52.24 $\pm$ 4.21 ^a	73.65 $\pm$ 2.67 ^a	181 ^a

หมายเหตุ: ND (not determine) คือ ไม่สามารถระบุได้เนื่องจากความเข้มข้นที่ทดสอบไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ถึงร้อยละ 50

ND* คือ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส

อักษร a-d ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันแบบค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดสมุนไพรชนิดอื่น ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในภาพรวมเพื่อหาสารพิษเคมีที่ส่งผลต่อฤทธิ์นี้ โดยนำสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ที่ออกฤทธิ์สูงที่สุด สารสกัดใบมันปูที่แสดงฤทธิ์ยับยั้งปานกลาง และสารสกัดใบเหลียงมีฤทธิ์ต่ำที่สุด มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลว (LC-MS/MS) โดยทำการแยกภาวะไอออนบวก (positive mode) และภาวะที่เป็นลบ (negative mode) พบว่าในแต่ละโหมดจะให้โครมาโทแกรมที่แตกต่างกันดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครมาโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีในภาพรวมของสารสกัดสมุนไพร 3 ชนิดที่ออกฤทธิ์แตกต่างกัน
ก) โครมาโทแกรมแบบไอออนบวก และ ข) โครมาโทแกรมแบบไอออนลบ

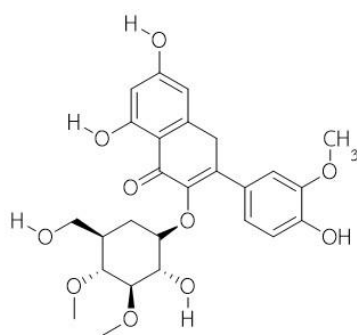
เมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารสกัดจากสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์เป็นหลักในการอ้างอิงเนื่องจากสารสกัดสมุนไพรชนิดนี้มีค่าการยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเทอเรสสูงที่สุด พบว่าสารพิษเคมีที่ปรากฏเฉพาะโครมาโทแกรมไอออนบวกของสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์แต่ไม่ปรากฏในสารสกัดใบมันปูและสารสกัดใบเหลียงมีจำนวน 2 พิ



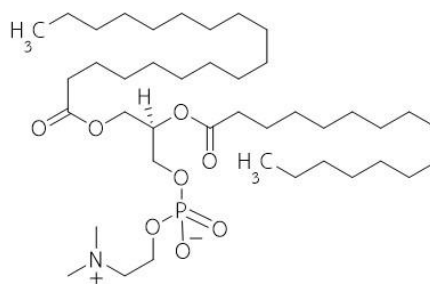
ที่เวลา 15.276 นาที และ 31.664 นาที ในขณะที่โครมาโทแกรมแบบไอออนลบองค์ประกอบทางเคมีที่พบเฉพาะสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ปรากฏทั้งหมด 2 พีค ที่เวลา 10.698 นาที และ 15.306 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ไอออนหลักที่เป็น อัดลักษณะของแต่ละพีคออกเป็นส่วน ๆ (fragmentation) เพื่อหาโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีของสารที่คาดว่าออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรสด้วยเทคนิค MS/MS พบว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ที่ออกฤทธิ์ประกอบด้วยสาร isorhamnetin-3-O-glucoside, phosphatidyl choline (18:1/0:0), 4-O-methylgallic acid, 3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulphate และ apigenin 7-sulfate ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 2

ตารางที่ 4 คุณลักษณะของสารพฤษเคมีเด่นจากสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ในโครมาโทแกรมไอออนบวกและไอออนลบ

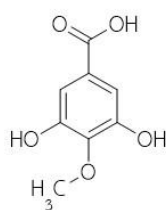
สาร	Retention time (min)	m/z [M+H] ⁺	สูตรโมเลกุล	Identification	กลุ่มสารพฤษเคมีหลัก
1	15.276	351.0699	unidentified	-	-
2	15.276	479.1165	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₂	isorhamnetin-3-O- glucoside	Flavoniod
3	31.664	522.3532	C ₄₄ H ₈₆ NO ₈ P	phosphatidylcholine (18:1/0:0)	Phospholipid
4	10.730	183.0187	C ₈ H ₈ O ₅	4-O-methylgallic acid	Phenolic acid
5	10.730	367.0459	C ₁₆ H ₁₆ O ₈ S	3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulphate	Flavoniod
6	15.306	349.0365	C ₁₅ H ₁₀ O ₈ S	apigenin 7-sulfate	Flavoniod



isorhamnetin-3-O-glycoside



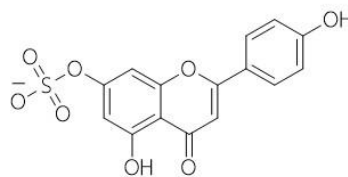
phosphatidylcholine (PC(18:1/0:0))



4-O-methylgallic acid



3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulphate



apigenin 7-sulfate

ภาพที่ 2 โครงสร้างของสารที่คาดว่าออกฤทธิ์ในสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LC-MS/MS

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการสกัดใบแห้งจาก เหลียง บัวบก มะม่วงหิมพานต์ มะรุม มะกอก มันปู และหมุย ด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า สารสกัดใบมะรุมให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 32.16 รองลงมา ได้แก่ สารสกัดใบบัวบกร้อยละ 30.23, สารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ร้อยละ 24.79, สารสกัดใบมะกอกร้อยละ 19.61, สารสกัดใบเหลียงร้อยละ 18.70, สารสกัดใบหมุยร้อยละ 14.18 และสารสกัดใบมันปูร้อยละ 12.51 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักใบแห้ง พบว่าสมุนไพรมะรุมแต่ละชนิดมีปริมาณสารสกัดที่แตกต่างกันเนื่องจากสมุนไพรมะรุมต่างชนิดกันมีความสามารถในการสร้างสารประกอบทุติยภูมิทั้งชนิดและปริมาณที่ต่างกัน โดยมีรายงานการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในใบของมะรุมส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid), คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a), โพลีฟีนอล (polyphenol), และไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นองค์ประกอบหลัก [17] ใบมันปูที่รายงานมีสารกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ เมทิลกาแลเลท (methyl gallate) และ กรดกาแลลิก (gallic acid) เป็นองค์ประกอบ [18] ส่วนใบหมุยมีสารคูมารินเป็นองค์ประกอบหลัก [19] จากการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสารสกัดเอทานอลจากสมุนไพรมะรุม 7 ชนิด พบว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสสูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $181 \mu\text{g/ml}$ เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค LC-MS/MS พบว่าสารพิษเคมีของสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ที่คาดว่าส่งผลต่อฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสได้ตี้นั้น คือ สารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ อันประกอบด้วย isorhamnetin-3-O-glucoside, 3'-O-methyl(-)-epicatechin-7-O-sulphate และ apigenin 7-sulfate ส่วน 4-O-methylgallic acid เป็นกรดฟีนอลิกซึ่งในเชิงโครงสร้างจัดว่ามีความใกล้ชิดกับกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ โดยโครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิกมีวงฟีนอลเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เนื่องจากสารทั้งสองกลุ่มจัดเป็นสารทุติยภูมิในพืชที่มาจากวิถีชีวสังเคราะห์เดียวกัน (shikimate pathway) [20] สอดคล้องกับความเห็นของ Olenikov et al. [21] ที่สรุปแนวคิดจากงานวิจัยพบว่ากลุ่มสารฟลาโวนอยด์ทุกชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส เนื่องจากโครงสร้างหลักของสารประกอบกลุ่มนี้สามารถเกิดอันตรกิริยากับแอคทิฟไซต์ของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสอันเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลง ขณะที่สารประกอบ phosphatidylcholine (18:1/0:0) เป็นสารประเภทไขมันเพียงชนิดเดียวที่คาดว่าออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสแต่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ เนื่องจาก phosphatidylcholine และ สารสื่อประสาทอะซิติลโคลีนล้วนมีองค์ประกอบหลักคือ choline เช่นเดียวกัน อาจเป็นไปได้ว่าสารประกอบทั้งสองชนิดเกิดการแข่งขันในการจับกับแอคทิฟไซต์ของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสส่งผลให้เป็นหนึ่งในสารที่ทำให้ใบมะม่วงหิมพานต์แสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส ขณะที่สารสกัดจากใบมันปูออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสรองลงมา โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $227 \mu\text{g/ml}$ และสารสกัดจากใบเหลียงมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสต่ำที่สุด เนื่องจากกลุ่มสารสำคัญที่มีรายงานส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ [22] จากการสืบค้นพบการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสของสารสกัดเอทานอลจากใบมะม่วงหิมพานต์ ทำให้มั่นใจได้ว่าสารสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นอาหารเสริมทางการแพทย์ที่มีผลต่อการบำบัดป้องกันโรคอัลไซเมอร์ในอนาคต และเป็นข้อมูลสำหรับการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับสรรพคุณทางยาที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายให้แก่ เกษตรกร ผู้ผลิต รวมถึงผู้บริโภคพืชผักสมุนไพร และสามารถต่อยอดแนวคิดการนำไปสกัดหรือต่อยอดนวัตกรรมการผลิตสารสกัดสมุนไพรเพื่อใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประจำปีงบประมาณ 2565 (RDI-2-65-43), ทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา และขอขอบคุณภาควิชาชีวเคมี



คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และ อุปกรณ์ ในการทำวิจัยให้สำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Thummayot S, Tocharus C, Pinkaew D, Viwatpinyo K, Sringarm K, Tocharus J. Neuroprotective effect of purple rice extract and its constituent against amyloid beta-induced neuronal cell death in SK-N-SH cells. *NeuroToxicology* 2014;45:149-58.
2. Savasapun K, Surangkul D, Phanumartwiwath A, Sam-ang P. Antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory activities of crude and fractionated extracts from tong taek (*Baliospermum Solanifolium*) leaves. *PSRU J Sci Tech* 2020;5(1):107-22.
3. Marucci G, Buccioni M, Ben DD, Lambertucci C, Volpini R, Amenta F. Efficacy of acetylcholinesterase inhibitors in Alzheimer's disease. *Neuropharmacology* 2021;190:108352-66.
4. Roseiro LB, Rauter AP, Serralheiro MLM. Polyphenols as acetylcholinesterase inhibitors: Structural specificity and impact on human disease. *Nutr Aging* 2012;1:99-111.
5. Das J, Mannan A, Rahman M, Dinar MAM, Uddin ME, Khan I, et al. Chloroform and ethanol extract of *Spondias Pinnata* and its different pharmacological activity like-antioxidant, cytotoxic, antibacterial potential and phytochemical screening through *in vitro* method. *Int J Res Pharm Biomed Sci* 2011;2(4):1805-12.
6. Jain P, Rufaka Hossain K, Rashid Mishu T, Mahmud Reza H. Antioxidant and antibacterial activities of *Spondias pinnata* Kurz. leaves. *European J Med Plants* 2013;4(2):183-95.
7. Adisakwattana S, Chanathong B. Alpha-glucosidase inhibitory activity and lipid-lowering mechanisms of *Moringa oleifera* leaf extract. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2011;15(7):803-8.
8. Jabamalai raj A, Gopalakrishnan VK, Alagar Yadav DS, Dorairaj S. Antimicrobial activity of *Moringa oleifera* (Lam.) root extract. *J Pharm Res* 2011;4(5):1426-7.
9. Oluduro AO. Evaluation of Antimicrobial properties and nutritional potentials of *Moringa oleifera* Lam. leaf in South-Western Nigeria. *Malays J Microbiol* 2012;8:59-67.
10. Ukwenya V, Ashaolu J, Adeyemi D, Akinola O, Caxton-Martins E. Antihyperglycemic activities of methanolic leaf extract of *Anacardium occidentale* (Linn.) on the pancreas of streptozotocin-induced diabetic rats. *J Cell Anim Biol* 2012;6:207-12.
11. Panpipat W, Suttirak W, Chaijan M. Free radical scavenging activity and reducing capacity of five Southern Thai indigenous vegetable extracts. *Walailak J Sci & Tech* 2011;7(1):51-60.
12. Zohora F, Hasan C, Ahsan M. Chemical constituents, cytotoxic activities and traditional uses of *Micromelum minutum* (Rutaceae): a review. *Pharm Pharmacol Int J* 2019;7(5):229-36.
13. Yakoh K, Weschasat T, Suwannachote P. Phenolic compound of 10 indigenous vegetables from Surat Thani province. *J Thai Trad Alt Med* 2018;16(2):185-94.



14. Siddiqui BS, Aslam H, Ali ST, Khan S, Begum S. Chemical constituents of *Centella asiatica*. J Asian Nat Prod Res 2007;9(4):407-14.
15. Sam-ang P, Surangkul D, Savasapun K, Phanumartwiwath A. Antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory activities of *Morinda citrifolia* L. extracts. Agr Nat Resour 2020;54(2):173-9.
16. Boonchaisri S, Rochfort S, Stevenson T, Dias DA. LC-MS untargeted metabolomics assesses the delayed response of glufosinate treatment of transgenic glufosinate resistant (GR) buffalo grasses (*Stenotaphrum secundatum* L.). Metabolomics 2021;17(3):28-44.
17. Ragasa C, Medecilo M, Shen c-c. Chemical Constituents of *Moringa oleifera* Lam. Leaves. Der Pharma Chemica 2015;7(7):395-9.
18. Anantachoke N, Kitphati W, Mangmool S, Bunyapraphatsara N. Polyphenolic compounds and antioxidant activities of the leaves of *Glochidion hypoleucum*. Nat Prod Commun 2015;10(3):479-82.
19. Ito C, Otsuka T, Ruangrunsi N, Furukawa H. Chemical constituents of *Micromelum minutum* Isolation and structural elucidation of new coumarins. Chem Pharm Bull 2000;48(3):334-8.
20. Shah A, Smith DL. Flavonoids in agriculture: chemistry and roles in, biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. Agronomy 2020;10(8):1209-34.
21. Olennikov DN, Kashchenko NI, Chirikova NK, Akobirshoeva A, Zilfikarov IN, Vennos C. Isorhamnetin and quercetin derivatives as anti-acetylcholinesterase principles of marigold (*Calendula officinalis*) flowers and preparation. Int J Mol Sci 2017;18(8):1685-701.
22. Le TH, Van Do TN, Nguyen HX, Dang PH, Nguyen NT, Nguyen MTT. A new phenylheptanoid from the leaves of *Gnetum gnemon* L. Nat Prod Res 2021;35(21):3999-4004.



Antioxidant Activity and Phenolic Content in Herbal Tea in Inflorescences and Mango (*Mangifera indica*) Leaves

Sirawan Ruangchuay Tuprakay, Parinda Suksabye, Ubol Chuensumran*

School of Culinary Arts, Suan Dusit University, Bangkok, 10300

*Corresponding author: Ubol_chu@dusit.ac.th

Received: 31 August 2023/ Revised: 10 December 2023/ Accepted: 15 December 2023

Abstract

The mango (*Mangifera indica*) fruit is an economic fruit. Thailand is the third-largest mango exporter after the Philippines and Mexico. Mango leaves are reported to have anti-inflammatory properties, blood sugar lowering effect, and blood lipid-lowering effect. Mango leaves are generally not being interested much and considered waste in agriculture despite their medicinal properties. To create a herbal tea for health enhancement extracts from mango leaves and inflorescences were examined in this study. The investigation of the antioxidant properties of crude mango inflorescence and leaf extracts was determined to examine the antioxidant activities of crude extracts, two tests were performed: 1) scavenging capacity, such as the ability to eliminate or suppress free radicals, as measured by the DPPH method, and 2) the ability to function as an electron donor or what is called a “reducing agent”. The FRAP test revealed that tea made from Man Duan Kao mango leaves had the highest anti-oxidant activity (53.65 ± 0.70 g FeSO₄/100 g tea powder), and it was discovered that mango inflorescences deliver more antioxidants than leaves (57.60 ± 1.49 g FeSO₄/100 g tea powder). The total phenolic and flavonoid contents of the crude extracts of tea from mango inflorescences and leaves revealed that tea from *Mangifera indica* leaves tended to have a higher total phenolic content. The largest levels of catechins and flavonoids were identified in both green and oolong tea, while mango inflorescence tended to provide overall phenolic content and more flavonoids than leaves, which results in consistent outcomes. Colorimetric examination (CIE-Lab) showed no variation in b*, C*, and h values, except an increase in illuminance (L*) values for samples cured for shorter treatment durations inversely related to the value of redness (a*) in samples undergoing a lengthy preparation procedure.

Keywords: Antioxidant activity, Phenol, Mango inflorescence, Mango leaves, Herbal tea

Introduction

Mango (*Mangifera Indica*) is a fruit that is cultivated as an agricultural crop. Thailand is the third largest mango exporter behind the Philippines and Mexico. Mangos are well-liked by both domestic and foreign consumers. Suphan Buri Province which is one of the campuses of Suan Dusit University has a lot of mango

plantations, namely a total area of 3,348,755 rai, the majority of which is utilized for agriculture 2,316,357 rai (69.17%), 19,684 rai (0.85%) of which are fruit orchards. Mango is the most widely planted fruit tree, with a plantation area of 35,002.50 rai, a total production of 25,292.49 tons, an average yield of 1.45 tons per rai, and a farm price per ton of 21,780.00 baht. Community enterprises in the district of Mueang Suphan Buri in the province of Suphanburi cultivate three varieties of mango, namely Nam Dok Mai, Khiew Sawoey (*Mangifera indica* L.), and Man Duan Kao (*Mangifera Indica*) on a plot of land comprising approximately 3,000 rai. In an interview with the enterprise's president, it was discovered that the output of mangoes was significantly lower than anticipated, particularly during the off-season. Throughout the production season, there is an issue with the product's lowering price. In addition, there is an issue with mold resulting in inadequate production for processing. In mango plantations, there are also several non-profitable parts: mango leaves are over 4,800 tons per year, mango inflorescence is over 2,400 tons per year, and mango branches are over 7,200 tons per year [1].

It has been reported that mango leaf has anti-inflammatory and antioxidant qualities, and hypoglycemic and hypolipidemic activities [2]. Between March and May, 5-7 young leaves from the shoots are soft and yellow-green and can be cooked in water [3]. Mango leaf tea has been used in Ayurveda medicine to treat diabetes [4]. Mango leaves have a bitter flavor and help lower body temperature, and are used to treat constipation. Coughing, asthma, sneezing, throat burning, hemorrhages, hemorrhoids, wounds, abscesses, gastritis, diarrhea, dysentery, liver diseases, tooth decay, throat, scorpion poisoning, and canker sores are also treated with mango leaves. Burnt-leaf ash is used to cure burns and scalds [5]. Mango leaf smoke is smoked to treat hiccups and sore throat. In Guangxi, fresh leaves were pulverized for gum toning [6] and used as a cough treatment [7]. Moreover, they help resolve diarrhea and sleeplessness [8]. Due to the presence of Mangiferin, Quercetin, Catechin, Gallic acid, 3-taraxerol, Ethyl gallate, Gallotannins, and Benzophenones, mango leaves have therapeutic qualities [9-11].

The leaves of the *Camellia sinensis* (L.) tea plant are used to produce the most commercially available tea [12]. The types of tea can be categorized into 3 types namely, 1) Green tea is a type of tea that does not undergo fermentation or non-fermented tea; By steaming or roasting on a pan firing, the enzyme polyphenol oxidase is deactivated in fresh tea leaves It can hasten the oxidation and polymerization of tea polyphenols in the leaves, causing dimers and complexes of polyphenols. After that, knead (rolling) to make the cells break and knead to make the tea leaves curl and dry. The color of this type of tea is green to yellowish green. 2) Oolong tea is semi-fermented tea before ceasing the enzymatic reaction with heat. The production process involves withering for about 20 to 40 minutes. This aeration is a fermentation process in which the enzyme polyphenol oxidase catalyzes the oxidation and polymerization of polyphenols to form dimers and complexes of polyphenols. Oolong tea is greenish yellow to greenish brown. 3) Black tea is a type of tea that has been completely fermented. The tea leaves are fully catalyzed by polyphenol oxidase, and the polyphenols are completely oxidized to form theaflavins and thearubigins, giving black tea a reddish-brown color.



Mango leaves receive little attention and are categorized as agricultural waste despite having therapeutic characteristics. In this study, the analysis from the extracts of inflorescences and mango leaves was studied in order to generate a herbal tea for health enhancement.

Objective

To study the antioxidant activity and the content of phenol in healthy herbal tea products made from mango inflorescences and leaves.

Material and Methods

1. Tea preparation

Mango (*Mangifera indica*) inflorescences and leaves were collected in January, 2022 from organic field of Sanam khli community enterprise area (14°33'N, 99°57'E), Tambon Sanam khli, Mueang District, Suphanburi Province (Thailand). The 3 different varieties of mango including Nam Dok Mai, Kiew Savoey, and Man Duan Kao mango were studied. The 3 tea processes including green tea (non-fermented tea), oolong tea (semi-fermented tea), and black tea (fermented tea) used for prepare mango (*Mangifera indica*) inflorescences and leaves tea as described previously [12]. The fine powder obtained (2 g) was blended with 50 ml of water (4% of final concentration), boiled for 10 min, and then filtered (Whatman No.4).

2. Determination of DPPH radical scavenging activity

Radical 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging activity was measured according to the method of Xie *et al.* [13] with a slight modification. About 24 mg of DPPH was added to 100 ml methanol to prepare the stock solution, and then stored at -20 °C in the dark. About 8 ml stock solution was diluted with 40 ml methanol to prepare the working DPPH solution with an absorbance of 1.1 ± 0.02 units at 515 nm. The 0.1 mL tea extract was mixed with 0.1 mM DPPH solution for 0.9 mL. The resulting solution was incubated for 30 min at room temperature in the dark, and the absorbance was measured at 517 nm. Trolox was used as the standard and methanol as the blank, and results were expressed as mg Trolox equivalents (TE)/g db.

3. Determination of the Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

The 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) of 2.5 mL was prepared in 40 mM of hydrochloric acid, 2.5 mL of 20 mM iron (III) chloride was prepared, and 300 mM of acetate buffer was prepared at the volume of 20 mL, and all the solution was mixed. Analyses were performed by pipetting 0.05 ml of the sample with 0.95 ml of FRAP solution and leaving it in the dark for 30 min. The absorbance was measured at a wavelength of 595 nm using ferrous sulfate as a standard.

4. Determination of total phenolic content

Total phenolic was estimated calorimetrically using the Folin-Ciocalteu reagent adapted from Tang, *et al* [14]. An aliquot of 60 μ l of the extract solution and 60 μ l methanol were mixed with 750 μ l of 10% Folin-Ciocalteu's reagent solution (v/v) and incubated for 8 min at room temperature. Then, 600 μ l of 7.5%

(w/v) sodium carbonate solution was added, and the mixture was incubated at room temperature for 1 h in the dark. The absorbance was measured by a UV-Vis spectrophotometer (M501 Single Beam Scanning, Camspec, Leeds, UK) at 765 nm. Gallic acid was used as the standard and methanol as blank, and the results were expressed as mg gallic acid equivalents (GAE)/g dry basis (db).

5. Determination of total flavonoid content

Total flavonoid content was measured by the aluminium chloride colorimetric method according to Hamrouni-Sellami, *et al* [15] with a slight modification. An aliquot of 250 μ l of the extract solution was mixed with 75 μ l of 5% NaNO₂ solution (w/v) and incubated for 6 min at room temperature. Then 150 μ l of 10% (Al(NO₃)₃)₃ solution (w/v) was added to the mixture and incubated for 6 min at room temperature. Next, 500 μ l of 1M NaOH solution was added, and the mixture was incubated for 30 min at room temperature in the dark. The absorbance was measured by the M501 UV-Vis spectrophotometer at 510 nm. An absorbance was measured relative to the Quercetin standard and the results were expressed as mg Quercetin equivalents (CAE)/g db.

Results and Discussion

In the investigation of the antioxidant activity of crude mango inflorescence and leaf tea extracts by determining the antioxidant properties of crude extracts, two tests were performed: 1) scavenging capacity, i.e., the ability to destroy or inhibit free radicals, as measured by the DPPH method; and 2) the property of being a substance that acts as an electron donor, called a reducing agent, was tested by FRAP method. The experimental results are shown in Table 1. Free radical scavengers were highest in both green tea and oolong tea and it was discovered that mango inflorescences tended to provide more antioxidants than leaves due to the presence of relatively high total phenol, flavonoids, as well as total carotene contents [16].

Table 1 Antioxidant activity of crude extracts of tea from mango inflorescences and leaves

Sample	DPPH	FRAP
	(A gram of Trolox equivalent/100 g tea powder)	(A gram of FeSO ₄ /100 g tea powder)
Nam Dok Mai mango green tea (leaves)	8.81±0.30 ^k	34.13±0.42 ^g
Kiew Savoey mango green tea (leaves)	14.92±0.48 ^f	38.23±0.24
Man Duan Kao mango green tea (leaves)	17.31±0.38^e	53.65±0.70^b
Nam Dok Mai mango oolong tea (leaves)	8.40±0.24 ^k	27.51±0.65 ^h
Kiew Savoey mango oolong tea (leaves)	11.72±0.39 ^j	43.94±0.96^e
Man Duan Kao mango oolong tea (leaves)	16.49±0.30^e	39.73±0.64 ^f



Sample	DPPH	FRAP
	(A gram of Trolox equivalent/100 g tea powder)	(A gram of FeSO ₄ /100 g tea powder)
Nam Dok Mai mango black tea (leaves)	4.49±0.06 ^l	10.93±0.23 ^k
Kiew Savoey mango black tea (leaves)	4.71±0.14 ^l	12.48±0.11 ^j
Man Duan Kao mango black tea (leaves)	5.02±0.15^l	13.67±0.08ⁱ
Nam Dok Mai mango oolong tea (inflorescences)	28.54±0.93 ^c	57.60±1.49^a
Kiew Savoey mango oolong tea (inflorescences)	31.93±1.10 ^b	50.72±0.40 ^c
Man Duan Kao mango oolong tea (inflorescences)	37.76±0.98^a	53.23±1.45 ^b
Nam Dok Mai mango black tea (inflorescences)	28.25±0.43^c	51.37±0.54^c
Kiew Savoey mango black tea (inflorescences)	13.02±0.44 ⁱ	27.35±0.33 ^h
Man Duan Kao mango black tea (inflorescences)	23.43±2.14 ^d	48.75±0.18 ^d

Remark: The results were expressed as average ± standard deviation. The difference letters represented significant difference at $p < 0.05$.

Results of the study on the total phenolic and flavonoid contents of tea crude extract from mango inflorescences and leaves according to the experiment are shown in Table 2. It was found that the phenolic content of the tea made from mango leaves was close to that of the whole plant. Both green tea and oolong tea had the most flavonoids, and the inflorescence of mango plants had the most phenolics overall and more flavonoids than leaves, which produce consistent results.

Table 2 Total amount of phenolic compounds and total flavonoid compounds of tea from mango inflorescences and leaves

Sample	Total phenolic content	Total flavonoid content
	(A gram(s) of Gallic acid equivalent/tea powder gram(s))	(A gram(s) of Quercetin equivalent/tea powder gram(s))
Nam Dok Mai mango green tea (leaves)	7.07±0.01 ^e	7.31±0.30 ^d
Kiew Savoey mango green tea (leaves)	9.11±0.41 ^c	9.04±0.30 ^b
Man Duan Kao mango green tea (leaves)	10.32±0.02^b	10.10±0.12^a



Sample	Total phenolic content	Total flavonoid content
	(A gram(s) of Gallic acid	(A gram(s) of Quercetin
	equivalent/tea powder gram(s))	equivalent/tea powder gram(s))
Nam Dok Mai mango oolong tea (leaves)	6.33±0.09 ^f	6.45±0.23 ^f
Kiew Savoey mango oolong tea (leaves)	7.27±0.04 ^d	6.98±0.35 ^{de}
Man Duan Kao mango oolong tea (leaves)	9.01±0.24^c	8.57±0.20^c
Nam Dok Mai mango black tea (leaves)	2.14±0.02 ⁱ	1.15±0.05 ^h
Kiew Savoey mango black tea (leaves)	2.07±0.03 ⁱ	1.10±0.00 ^h
Man Duan Kao mango black tea (leaves)	2.54±0.03^h	1.21±0.04^h
Nam Dok Mai mango oolong tea (inflorescences)	10.05±0.47 ^b	5.85±0.12 ^s
Kiew Savoey mango oolong tea (inflorescences)	11.56±0.37^a	7.04±0.30^{de}
Man Duan Kao mango oolong tea (inflorescences)	11.42±0.10 ^a	5.52±0.12 ^s
Nam Dok Mai mango black tea (inflorescences)	8.42±0.03^d	6.86±0.40^e
Kiew Savoey mango black tea (inflorescences)	4.37±0.01 ^s	3.84±0.02
Man Duan Kao mango black tea (inflorescences)	6.87±0.05 ^e	3.89±0.04

Remark: The results were expressed as average ± standard deviation. The difference letters represented significant difference at $p < 0.05$.

Colorimetric analysis (CIE-Lab) showed that the b^* , C^* , and h values were the same. Only the illuminance (L^*) values were more likely to be different in the samples that were treated for less time; it is in a reverse direction of the redness (a^*) value in the samples that took longer to prepare, as shown in Table 3. Oxidation describes the process of enzymes in the tea leaves reacting with oxygen. During oxidation, leaves undergo changes in their chemical composition turning them brown and changing the flavor and aroma profile. Oxidation is an essential step in the processing of tea. Depending on the type of tea which is made, oxidation is either fully prevented or intentionally caused and stopped at a certain level. Whereas green tea are unoxidized or lightly oxidized, black teas are highly or fully oxidized. In between are oolong



teas, which cover a wide range of oxidation levels from lightly oxidized to highly oxidized. The process of oxidation is intentionally caused by crushing, rolling or tumbling the leaves. Thereby the walls of the cells are damaged, exposing the inside of the leaves with oxygen, resulting in a series of chemical reactions. In order to stop the oxidation at a certain level, leaves have to be heated or dried. Heat denatures the enzymes responsible for oxidation. The sensorial scores for overall acceptability indicated that the products were highly accepted by the panelist.

Table 3 Colorimetric values (CIE) of tea from mango inflorescences and leaves

Sample	Colorimetric Value (CIE-Lab)				
	L*	a*	b*	C*	H*
Nam Dok Mai mango green tea (leaves)	51.83±0.82 ^b	2.86±0.23 ^{abcd}	12.02±1.05 ^b	11.29±1.39 ^b	74.73±1.50 ^a
Kiew Savoey mango green tea (leaves)	54.77±1.29 ^a	2.64±0.10 ^{abcd}	13.74±0.22 ^a	13.99±0.23 ^a	79.14±0.29 ^a
Man Duan Kao mango green tea (leaves)	54.12±0.74 ^a	2.45±0.10 ^{abcd}	12.79±0.78 ^{ab}	13.03±0.79 ^a	79.11±0.36 ^a
Nam Dok Mai mango oolong tea (leaves)	46.88±1.05 ^d	4.16±0.40 ^{ab}	7.59±1.05 ^d	8.67±1.12 ^c	60.87±1.04 ^{bc}
Kiew Savoey mango oolong tea (leaves)	47.51±0.17 ^d	4.60±0.02 ^a	8.93±0.08 ^{cd}	10.05±0.08 ^{bc}	62.58±0.04 ^{bc}
Man Duan Kao mango oolong tea (leaves)	49.31±1.20 ^c	4.15±0.37 ^{ab}	9.87±1.13 ^c	10.74±1.21 ^b	65.75±1.90 ^b
Nam Dok Mai mango black tea (leaves)	40.95±0.55 ^{ef}	1.28±0.19 ^{cd}	1.67±0.65 ^{efgh}	1.82±0.24 ^{defg}	44.27±2.92 ^{ef}
Kiew Savoey mango black tea (leaves)	40.51±0.26 ^{ef}	3.56±4.31 ^{abc}	1.06±0.59 ^{fgh}	1.72±0.69 ^{efg}	27.73±9.45 ^h
Man Duan Kao mango black tea (leaves)	41.49±1.75 ^e	1.91±1.26 ^{bcd}	2.23±1.26 ^{efg}	3.21±2.70 ^{de}	42.38±12.32 ^{ef}
Nam Dok Mai mango oolong tea (inflorescences)	37.82±0.64 ⁱ	1.07±0.04 ^d	1.21±0.03 ^{fgh}	1.62±0.05 ^{efg}	48.44±0.39 ^{de}
Kiew Savoey mango oolong tea (inflorescences)	39.12±0.11 ^{fi}	1.56±0.14 ^{cd}	2.30±0.26 ^{ef}	2.78±0.29 ^{def}	55.69±1.01 ^{cd}



Sample	Colorimetric Value (CIE-Lab)				
	L*	a*	b*	C*	H*
Man Duan Kao mango oolong tea (inflorescences)	40.48±0.12 ^e	1.67±0.19 ^{cd}	3.10±0.27 ^e	3.52±0.32 ^d	61.75±1.22 ^{bc}
Nam Dok Mai mango black tea (inflorescences)	38.30±0.13 ⁱ	1.0±0.30 ^d	1.85±1.85 ^{efgh}	1.27±0.44 ^{fg}	36.90±3.66 ^{fg}
Kiew Savoey mango black tea (inflorescences)	39.00±0.13 ⁱ	1.22±1.16 ^{cd}	0.32±0.09 ^h	0.62±0.09 ^s	32.77±3.66 ^{gh}
Man Duan Kao mango black tea (inflorescences)	38.01±0.38 ⁱ	0.72±0.12 ^d	0.51±0.02 ^{sh}	0.87±0.24 ^s	32.87±5.78 ^{sh}

Remark: The results were expressed as average ± standard deviation. The difference letters represented significant difference at $p < 0.05$

Inhibitors of Advanced Glycation Endproducts (AGEs) have now been identified as food or pharmaceutical ingredients, containing polyphenols like flavonoids, curcumin, phenolic acids, terpenoids, unsaturated fatty acids, and vitamins [17]. Overall, natural products containing polyphenols have received considerable attention due to their superior antimicrobial properties and high food safety. The majority of polyphenols are effective antioxidants. In addition, there are additional biological effects, including a reduction in blood sugar levels, against cancer cells, anti-inflammatory, anti-aging, and heart disease prevention [18, 19].

Conclusion

The antioxidant activity, phenolic and flavonoid content of teas derived from mango inflorescences and leaves in three forms, namely green tea, oolong tea, and black tea, were evaluated in preliminary experiments. They differ in appearance, color, odor, and flavor. It depends on two key factors: the chemical composition of the tea leaves and the temperature at which the tea is brewed, and the tea manufacturing procedure. The various chemical compositions of tea leaves are the result of the various tea strains, climate and soil conditions in the planting area, abundant soil, water, and preservation. The various chemical compositions will influence the chemical reactions that occur during the manufacturing process. Consequently, different aromas and flavors are imparted to tea.

Suggestion

This is merely an exploratory study. Only antioxidant content was displayed. However, the results of the study indicate the potential health benefits of herbal tea made from mango inflorescences and



leaves. It increases the product's value. Therefore, mango plantation owners and herbal tea manufacturers earn more money from the sale of herbal tea made from mango inflorescences and leaves. Moreover, this can help reduce the amount of agricultural waste produced by the mango plantation while promoting the well-being of people in the pre-aging age group and the elderly. The main uses of natural food ingredients derived mango by-products, especially mango inflorescence (flower), were considered further study because of cheap sources of valuable food and nutraceutical ingredients.

Acknowledgments

This research was supported by the Foundation Work Grant of Suan Dusit University. Fiscal Year 2022 Thank you Sanam Khli Mango Community Enterprise Export Sanam Khli Sub-district, Suphan Buri Province (Registration Code 2-72-01-20/1-0008).

References

1. Suphan Buri Provincial Agriculture and Cooperatives Office. Basic information in agriculture and cooperatives of Suphan Buri Province [Internet]. 2020 [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.opsmoac.go.th/suphanburi-dwl-files-421191791138> (In Thai)
2. Patarakijavanich P, Sato VH, Kongkiatpaiboon S, Chewchinda S. A review of the antidiabetic potential of *Mangifera indica* leaf extract. Songklanakarin J Sci Technol 2019;41(4):942-50.
3. Lim TK. Edible medicinal and non-medicinal plants, volume 1, fruits. Dordrecht: Springer Science and Business Media; 2012.
4. Bally SE. *Mangifera indica* (mango) Anacardiaceae (Cashew family). Honolulu: Permanent Agriculture Resources; 2006.
5. Masud Parvez GM. Pharmacological activities of mango (*Mangifera indica*): a review. J pharmacogn phytochem 2016;5(3):1-7.
6. Majumdar PK, Sharma DK. Mango: Fruits of India: Tropical and subtropical. 1st ed. Kolkata: Naya Prokash; 1985.
7. Jiangsu X. Dictionary of traditional Chinese medicines. Shanghai: Shanghai Scientific and Technologic Press; 1977.
8. Wong W. Some folk medicinal plants from Trinidad. Econ Bot 1976;30:103-42.
9. Barreto JC, Trevisan MT, Hull WE, Erben G, de Brito ES, Pfundstein B, Owen RW. Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). J Agric Food Chem 2008;56(14):5599-610.
10. Dineshkumar B, Mitra A, Manjunatha M. Studies on the anti-diabetic and hypolipidemic potentials of mangiferin (xanthone glucoside) in streptozotocin-induced type 1 and type 2 diabetic model rats. Int j adv pharm sci 2010;1:75-85.



11. Ediriweera MK, Tennekoon KH, Samarakoon SR. A review on ethnopharmacological applications, pharmacological activities, and bioactive compounds of *Mangifera indica* (Mango). Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine [Internet]. 2017 [cited 2023 May 6]. Available from: <https://doi.org/10.1155/2017/6949835>
12. Tea and Coffee Institute of Mae Fah Luang University. Tea Processing [Internet]. 2022 [cited 2022 May 6]. Available from: <https://teacoffee.mfu.ac.th/tc-tea-coffeeknowledge/tc-tea/tc-teaproductionprocess.html> (In Thai)
13. Xie ZJ, Huang JR, Xu XM, Jin ZY. Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate. Food Chem 2008;111(2):370–6.
14. Tang C, Sun J, Liu J, Jin C, Wu X, Zhang X, et al. Immune-enhancing effects of polysaccharides from purple sweet potato. Int J Biol Macromol 2019;123:923-30.
15. Hamrouni-Sellami I, Rahai F, Bourgou S, Limam F, Marzouk B. Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants as Affected by Different Drying Methods. Food Bioproc Tech 2013;6(3):806–17.
16. Mandal P, Ghosal M. Antioxidant activity of three cultivars of *Mangifera indica* L. International Conference and Exhibition on Food Processing & Technology [Internet]. 2012 [cited 2023 December 2]. Available from: https://www.walshmedicalmedia.com/conference-abstracts-files/2157-7110_S1.002_007.pdf
17. Wu CH, Huang SM, Lin JA, Yen GC. Inhibition of advanced glycation endproduct formation by foodstuffs. Food Funct 2011;2(5):224-34.
18. Mao JT, Xue B, Smoake J, Lu QY, Park H. MicroRNA-19a/b mediates grape seed procyanidin extract-induced anti-neoplastic effects against lung cancer. J Nutr Biochem 2016;34:118-25.
19. Yuan H, Zhu X, Wang W, Meng L, Chen D, Zhang C. Hypoglycemic and anti-inflammatory effects of seabuckthorn seed protein in diabetic ICR mice. Food Funct 2016;7(3):1610-5.



คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความเพื่อตีพิมพ์ใน วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

(Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ เป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วยสาขาวิชาต่าง ๆ ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ได้แก่ จุลชีววิทยา ชีววิทยา พันธุศาสตร์ และเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น
2. วิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และสถิติ เป็นต้น
3. วิทยาศาสตร์สุขภาพ ได้แก่ แพทยศาสตร์ สัตวแพทยศาสตร์ เภสัชศาสตร์ เทคนิคการแพทย์ กายภาพบำบัด

พยาบาลศาสตร์ และสาธารณสุขศาสตร์ เป็นต้น

4. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
5. วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

โดยรับพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัย (research article) และบทความวิชาการ (review article) ทั้งรูปแบบภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ทั้งนี้ผลงานวิชาการที่ส่งมาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ระหว่างการรอพิจารณาตีพิมพ์จากวารสารวิชาการอื่น

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มีกำหนดออกวารสารปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม ซึ่งจะรับพิจารณาตีพิมพ์ผลงานวิชาการทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความ

บทความที่ส่งมาพิจารณาควรมีคุณค่าทางวิชาการ โดยผู้เขียนเป็นผู้ทำการทดลอง สร้างสรรค์ หรือเกี่ยวข้องกับงาน โดยปราศจากการคัดลอกผลงานวิจัยหรือบทความของผู้อื่นนำเสนอถึงแนวความคิดหรือหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี และนำไปสู่การพัฒนาหรือเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัย มีความสมบูรณ์ในเนื้อหา ภาษา ตลอดจนความชัดเจนของสมมติฐานหรือวัตถุประสงค์

บทความจะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขบทความ และอาจส่งกลับคืนให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่ แล้วแต่กรณี เพื่อปรับปรุงบทความให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นก่อนการตีพิมพ์ ทั้งนี้ต้นฉบับที่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ของการเขียนที่กำหนดเท่านั้นจึงจะได้รับการพิจารณา และดำเนินการประเมินบทความก่อนการตีพิมพ์

การยอมรับบทความที่จะตีพิมพ์เป็นสิทธิของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการไม่รับผิดชอบความถูกต้องของเนื้อหา หรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง

ข้อกำหนดทั่วไปของการพิมพ์บทความ

1. พิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Windows
2. พิมพ์บนกระดาษ A4 หนึ่งหน้าเดียว โดยมีระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว (2.54 เซนติเมตร) และจัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์
3. ใช้ตัวอักษรแบบ TH Sarabun New
4. ระยะห่างของการพิมพ์แบบ 1.5 line space พิมพ์แบบเสมอนหน้า-หลัง (justified)
5. การกำหนดขนาดและชนิดตัวอักษร



ข้อความ	ขนาด	ชนิด	การจัดหน้ากระดาษ
ชื่อเรื่อง (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	18	ตัวหนา	กึ่งกลาง
ชื่อผู้เขียน	16	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
ที่อยู่หรือหน่วยงานสังกัดของผู้เขียน	14	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
อีเมลติดต่อเฉพาะผู้เขียนประสานงาน (corresponding author)	14	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
หัวข้อบทคัดย่อ (abstract)	16	ตัวหนา	ชิดซ้าย
หัวข้อเรื่องใหญ่	14	ตัวหนา	ชิดซ้าย
หัวข้อเรื่องย่อย	14	ตัวหนา	ชิดซ้าย
บทคัดย่อ คำสำคัญ เนื้อเรื่อง (วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปราย และสรุปผลการวิจัย กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง)	14	ตัวปกติ	ชิดซ้ายขวา
คำบรรยายรูปภาพ	14	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
คำบรรยายตาราง	14	ตัวปกติ	ชิดซ้าย

รายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ

- ชื่อเรื่อง** มีทั้งชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อความหมายตรงกับเรื่องที่ทำ สำหรับชื่อภาษาอังกฤษนั้น อักษรตัวแรกของภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่
- ชื่อผู้เขียนและสถานที่ทำงาน** ชื่อผู้เขียนใช้ชื่อ-นามสกุลเต็ม ไม่ต้องระบุตำแหน่งชื่อ ตำแหน่งทางวิชาการ และคุณวุฒิ โดยให้มีการกำกับเลขยกกำลังต่อท้ายชื่อ สำหรับผู้เขียนประสานงาน (corresponding author) ให้ทำเครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้ท้ายชื่อ พร้อมระบุหมายเลขโทรศัพท์และอีเมล สำหรับชื่อสถานที่ทำงานควรพิมพ์ให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ท้ายชื่อผู้เขียน กรณีมีผู้เขียน จำนวน 2 คน ให้ใช้ “และ/and” คั่น สำหรับผู้เขียนมากกว่า 2 คน ขึ้นไป กรณีภาษาไทยให้เว้นวรรค 2 ครั้ง คั่น กรณีภาษาอังกฤษให้ใส่จุลภาค (,) คั่น และเว้นวรรค 1 ครั้ง ระหว่างแต่ละคน กรณีบทความเป็นรูปแบบภาษาไทย ให้จัดลำดับบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นต้น และกรณีบทความเป็นรูปแบบภาษาอังกฤษ ให้จัดลำดับบทคัดย่อภาษาอังกฤษขึ้นต้น
- บทคัดย่อ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยนำเสนอสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมถึงวัตถุประสงค์ บทนำ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายและสรุปผลการวิจัย มีความยาวไม่เกิน 250 คำ
- คำสำคัญ** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอย่างละ 3-5 คำ ทั้งนี้ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ
- เนื้อหา** รายละเอียดของการเตรียมต้นฉบับบทความแต่ละประเภทมีดังนี้

5.1 บทความวิจัย (research article) ความยาวไม่เกิน 12 หน้า (รวมเอกสารอ้างอิง ตาราง รูปภาพ และแผนภูมิ)

- **บทนำ** นำเสนอความสำคัญหรือที่มาของปัญหาวิจัย สาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสำหรับวัตถุประสงค์ของการวิจัยให้นำเสนอไว้ตอนท้ายของบทนำ
- **วิธีดำเนินการวิจัย** นำเสนอรายละเอียดที่เป็นของการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล
- **ผลการวิจัย** นำเสนอผลการวิจัยที่สมบูรณ์ ชัดเจน โดยอาจนำเสนอด้วยตาราง แผนภูมิ หรือรูปภาพ พร้อมมีการบรรยายประกอบ
- **อภิปรายและสรุปผลการวิจัย** เป็นการวิเคราะห์ ประเมิน และตีความผลการวิจัยว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่ มีการเทียบเคียงผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมการอ้างอิงหลักวิชาการหรือทฤษฎี และอาจมีข้อเสนอแนะประเด็นที่ควรทำวิจัยต่อไป



- **กิตติกรรมประกาศ** แสดงความขอบคุณต่อองค์กรหรือบุคคลที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยหรือให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

- **เอกสารอ้างอิง** ควรเป็นบทความที่ได้รับการตีพิมพ์หรือกำลังจะได้รับการตีพิมพ์ และระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วน โดยใช้ Vancouver style

5.2 บทความวิชาการ (review article) ความยาวไม่เกิน 12 หน้า (รวมเอกสารอ้างอิง ตาราง รูปภาพ และแผนภูมิ) นำเสนอเนื้อหาทางวิชาการที่ได้จากเอกสารวิชาการทั่วไป สามารถสอดแทรกความคิดเห็นของผู้เขียนที่มีการอ้างอิงจากหลักวิชาการประกอบบทความได้ ประกอบไปด้วย บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทนำ เนื้อหา บทสรุป และเอกสารอ้างอิง

6. รูปภาพและตาราง

รูปภาพ

ความละเอียดของรูปภาพไม่น้อยกว่า 600 dpi สำหรับภาพขาว-ดำ และไม่น้อยกว่า 300 dpi สำหรับภาพสี ระบุลำดับที่ของรูปภาพ โดยใช้คำว่า “ภาพที่.....” (Figure.....) และคำบรรยายใต้ภาพอยู่ส่วนล่างกึ่งกลางของภาพ ส่วนที่เป็นสัญลักษณ์ให้นำเสนอในส่วนของคำบรรยายใต้ภาพ พร้อมทั้งแนบไฟล์รูปภาพที่ประกอบในเนื้อหาร่วมกับไฟล์เอกสารปกติด้วย

ตาราง

ระบุลำดับที่ของตาราง โดยใช้คำว่า “ตารางที่.....” (Table.....) และคำบรรยายตารางอยู่ส่วนบนชิดขอบซ้ายของตาราง การนำรูปภาพ แผนภูมิ หรือตารางมาอ้างอิงประกอบในบทความจะต้องมีการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของข้อมูลให้ถูกต้อง ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น

การเขียนเอกสารอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา

การอ้างอิงในเนื้อหาใช้ระบบ Vancouver style ให้อ้างเลขลำดับที่ที่กำกับชื่อผู้แต่ง โดยระบุเลขลำดับที่ไว้ในวงเล็บท้ายข้อความตามลำดับการอ้างอิงก่อน-หลัง เช่น จิราวรรณ และคณะ [1] พบว่า *Geobacillus stearothermophilus* PTL38 ผลิตภัณฑ์เอนไซม์ไลเปสที่สามารถทำงานได้ดีที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6.0 และอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส หรือมีการค้นพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะกรูดและกระชายมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกที่ดีที่สุด [2]

2. การอ้างอิงเอกสารท้ายบทความ

การอ้างอิงท้ายบทความใช้ระบบ Vancouver style โดยเรียงลำดับให้ตรงกับหมายเลขในเอกสารอ้างอิงที่ได้ทำการอ้างอิงในเนื้อหา

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

1. หนังสือหรือตำรา

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์.

1. สุรินทร์ ปิยะโชคณากุล. พันธุวิศวกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.

2. Watson JD, Baker TA, Bell SP, Gann A, Levine M, Losick R. Molecular biology of the gene. 5th ed. San Francisco: Pearson Education, Inc.; 2004.

2. วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์. ปีที่ (ฉบับที่): หน้า.

1. วรางคณา วิเศษมณี, กาญจนา หิรัญเพ็ง. ความเป็นพิษเฉียบพลันและการกลายพันธุ์จากสารมลพิษรวมในน้ำและตะกอนดิน กรณีศึกษาคลองขุดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ. วารสาร มฉก. วิชาการ 2554;14(28):153-73.



2. Supakdamrongkul P, Bhumiratana A, Wiwat C. Characterization of an extracellular lipase from the biocontrol fungus, *Nomuraea rileyi* MJ and its toxicity toward *Spodoptera litura*. J Invertebr Pathol 2010;105(3):228-35.

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะกรรมการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา วันที่ เดือน ปี; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

1. วรณา ศักดิ์สงส์, หิรัญญา จันทร์เกลี้ยง, ปิยาภรณ์ สุภักด์ดำรงกุล. การศึกษาประสิทธิภาพของเจลล้างมือผสมสารสกัดจากธรรมชาติในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 2 วันที่ 21 มีนาคม 2557. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. กรุงเทพฯ; 2557. หน้า 289-97.

2. Supakdamrongkul P, Wongthong A, Komkaew S. Production and characterization of a novel high-alkaline and thermal stable lipase from *Bacillus* sp. HCU3-2 and potential application as detergent formulation. In: proceedings of the 7th AOHUPO Congress and 9th International Symposium of the Protein Society of Thailand, August 6-8, 2014; Bangkok, Thailand; 2014. p. 259-68.

3. Deci EL, Ryan RM. A motivational approach to self: Integration in personality. In: Dienstbier R, editor. Nebraska Symposium on Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation. Lincoln: University of Nebraska Press; 1991. p. 237-88.

4. พจนานุกรม

ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. คำศัพท์; หน้า.

1. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน; 2546. หน้า 1488.

2. Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

5. วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับปริญญาของวิทยานิพนธ์, ชื่อมหาวิทยาลัย. จังหวัด; ปีที่พิมพ์.

1. อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์. การศึกษาแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันและน้ำเสียประเภทไขมันสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2542.

2. Darling CW. Giver of due regard: the poetry of Richard Wilbur. Ph.D. Thesis, University of Connecticut. USA; 1976.

6. หนังสือพิมพ์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ วัน เดือน ปี; หน้า.

1. สายใจ ดวงมาลี. มาลาเรียลาม 3 จว.ได้ตอนบน สธ.เร่งคุมเข้มกันเชื้อแพร่หนัก. คม-ชัด-ลึก 7 มิถุนายน 2548; 25.

2. Di Rado A. Trekking through college: Classes explore modern society using the world of Star Trek. Los Angeles Time March 15, 1995; p. A3.

7. เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร [ประเภทของสื่อ]. ปีที่พิมพ์ [เข้าถึงเมื่อ]; ปีที่: [หน้า]. เข้าถึงได้จาก: URL ของเว็บไซต์
ที่อ้างอิงข้อมูลสืบค้น



1. ชีรเกียรติ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ [อินเทอร์เน็ต]. 2542 [เข้าถึงเมื่อ 13 ก.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html>

2. Macia E, Paris S, Chabre M. Binding of the pH and polybasic C-terminal domains of ARNO to phosphoinositides and to acidic lipids. Biochemistry [Internet].2001 [cited 2004 May 19]. Available from: <http://pubs.acs.org/cgibin/article.cgi/bichaw/2001/40/05pdf/bi005123a.pdf>

การส่งบทความ

การส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร ให้ผู้เสนอจัดเตรียมต้นฉบับบทความและแบบเสนอบทความ โดยดำเนินการจัดส่งเอกสารดังกล่าวแบบออนไลน์ทางเว็บไซต์ของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ที่ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/scihcu/index> ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กำหนดไฟล์เอกสารที่ต้องส่งทั้งแบบ MS Document และ PDF ไฟล์ ประกอบด้วย

1. แบบเสนอบทความ
2. ต้นฉบับบทความ
3. ไฟล์ภาพประกอบบทความ
4. เอกสารแสดงผลการตรวจการลอกวรรณกรรม (Plagiarism checking report) เช่น ระบบตรวจสอบอักขระวิสุทธิ และ

Turnitin

5. เอกสารการขอจริยธรรมงานวิจัย (โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบในคนและสัตว์ทดลอง)

ทั้งนี้หากพบปัญหาในการส่งเอกสารแบบออนไลน์ โปรดติดต่อสอบถามมายังกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

การติดต่อสอบถามข้อมูล

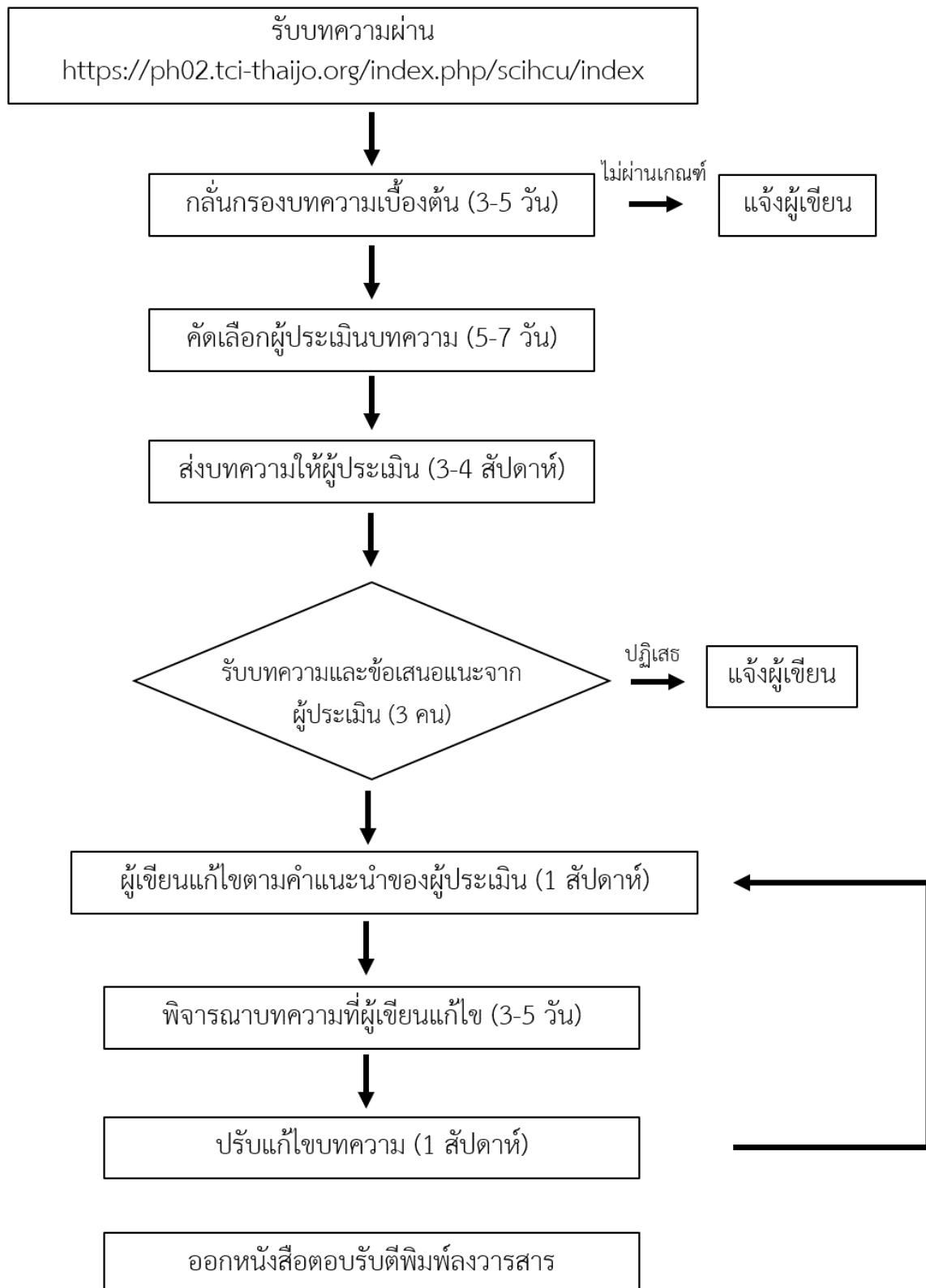
สามารถติดต่อสอบถามข้อมูลได้ที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ เลขที่ 18/18 ถนนเทพรัตน กม.18 ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540 โทรศัพท์ 02-312-6300 ต่อ 1180, 1213 โทรศัพท์มือถือ 084-9091766 อีเมล hcujournal.sci@gmail.com



เว็บไซต์วารสาร: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/scihcu/index>



ขั้นตอนการส่งบทความลงวารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ





แบบเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ใน
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้วเจ็ยวเฉลิมพระเกียรติ
(Huachiew Chalermprakit Science and Technology Journal)



วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ข้าพเจ้า [นาย/นาง/น.ส./ดร./ผศ./รศ./ศ./อื่น (ระบุ)].....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

สาขา ☐ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ☐ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ☐ วิทยาศาสตร์สุขภาพ

☐ วิทยาศาสตร์กายภาพ ☐ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

ชื่อเรื่อง(ภาษาไทย).....

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

คำสำคัญ (ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

ผู้เขียนทั้งหมด (ภาษาไทย) เรียงลำดับตามรายชื่อในบทความ

- | | |
|---------|---------|
| 1. | 5. |
| 2. | 6. |
| 3. | 7. |
| 4. | 8. |

อีเมลทั้งหมดของผู้แต่ง เรียงลำดับตามรายชื่อในบทความ

- | | |
|---------|---------|
| 1. | 5. |
| 2. | 6. |
| 3. | 7. |
| 4. | 8. |

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

โทรศัพท์.....โทรศัพท์มือถือ.....

ชื่อ-นามสกุลของผู้ประสานงาน (corresponding author).....อีเมล.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามที่ระบุในบทความ

โดยบทความนี้ยังมิเคยได้รับการตีพิมพ์และไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับหลักเกณฑ์การพิจารณาต้นฉบับ ทั้งยินยอมให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์พิจารณาและตรวจแก้ไขต้นฉบับได้ตามที่เห็นสมควร พร้อมทั้งมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ให้แก่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเจ็ยวเฉลิมพระเกียรติ และหากมีการฟ้องร้องในเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์เกี่ยวกับ ส่วนหนึ่งหรือส่วนใด ๆ ในบทความ ให้ถือเป็นความรับผิดชอบของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมแต่เพียงฝ่ายเดียว

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

มุ่งเน้นผลิตบัณฑิตให้มีความรู้และทักษะปฏิบัติในการพัฒนาซอฟต์แวร์และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการคอมพิวเตอร์

โอกาสในการประกอบอาชีพ

1. โปรแกรมเมอร์ (Programmer)
2. นักพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Developer)
3. วิศวกรซอฟต์แวร์ (Software Engineer)
4. นักวิเคราะห์ระบบ (System Analyst)
5. ผู้ทดสอบซอฟต์แวร์ (Software Tester)
6. นักพัฒนาเว็บเต็มรูปแบบ (Full stack Web Developer)
7. ผู้ดูแลเว็บไซต์ (Webmaster)
8. ผู้ดูแลฐานข้อมูล (Database Administrator)
9. นักพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Application Developer)
10. วิศวกรเครือข่าย (Network Engineer)
11. ผู้ดูแลและจัดการเครือข่าย (Network Administrator)
12. ผู้วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัล (Digital data Analyst)
13. ผู้เชี่ยวชาญด้านไอที (IT Specialist)
14. นักเทคโนโลยีดิจิทัล (Digital Technologist)
15. นักวิจัยทางด้านคอมพิวเตอร์ (Computer Researcher)



COMPUTING AND DIGITAL
TECHNOLOGY, HCU





คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์

มุ่งเน้นผลิตบัณฑิตให้มีความรู้และทักษะปฏิบัติ

ในการเขียนโปรแกรมและประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับปัญญาประดิษฐ์ สามารถบูรณาการความรู้ในศาสตร์ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับความรู้ในศาสตร์อื่น



โอกาสในการประกอบอาชีพ

- 1.วิศวกรปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Engineer)
- 2.นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Scientist)
- 3.วิศวกรข้อมูล (Data Engineer)
- 4.วิศวกรระบบ (System Engineer)
- 5.นักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Researcher)
- 6.ผู้ชำนาญการด้านดิจิทัล (Digital Specialist)
- 7.นักนวัตกรรม (Innovative Designer)
- 8.นักวิทยาศาสตร์เชิงบูรณาการ (Integrated Scientist)



COMPUTING AND DIGITAL
TECHNOLOGY, HCU





คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์

มุ่งเน้นการผสมผสานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์กับศาสตร์ด้านเทคโนโลยี
ที่ทันสมัย

โอกาสในการประกอบอาชีพ

1. นักวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ นักวิจัย
นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ปฏิบัติการ นักวิชาการ และ
ผู้ช่วยวิจัย ในหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมวิทยาศาสตร์
การแพทย์ กรมควบคุมโรค สถาบันมะเร็งแห่งชาติ
ศูนย์เทคโนโลยีด้านการแพทย์และสาธารณสุข สถาบัน
พยาธิวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข ศูนย์
วิทยาศาสตร์การแพทย์ และโรงพยาบาล เป็นต้น
2. ผู้ประกอบการด้านธุรกิจผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ การนำ
เข้าและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ยา
สารเคมี ชุดตรวจ เครื่องมือ อุปกรณ์ทางการแพทย์
รวมทั้งผู้ประกอบการด้านการให้บริการทางสุขภาพ
3. ผู้บริหาร/พนักงานหน่วยงานภาคเอกชนด้านธุรกิจ
การแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการบริการตรวจวิเคราะห์
สารเคมี ยา เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้านการ
แพทย์



MEDICAL SCIENCE HCU





คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์สุขภาพ (นานาชาติ)

มุ่งเน้นผลิตบัณฑิตให้มีความรู้และทักษะปฏิบัติงานจริงในการพัฒนานวัตกรรม
ออกแบบและควบคุมหุ่นยนต์ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในทางด้านดูแลสุขภาพ
ผู้ป่วยหรือช่วยเหลือผู้สูงอายุในการใช้ชีวิต บุคลากรความรู้กับศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
ทางวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

โอกาสในการประกอบอาชีพ

1. นักวิทยาการหุ่นยนต์ที่มีศักยภาพในการออกแบบและควบคุมระบบกลไกการทำงาน ของหุ่นยนต์ที่ใช้ในด้านสุขภาพ
2. ผู้ประกอบการด้านเทคโนโลยีทางด้านสุขภาพที่มี ความรู้ในกลไกหุ่นยนต์ดูแลสุขภาพ
3. นักเทคนิคด้านเครื่องมือและหุ่นยนต์ที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพ
4. ผู้จัดการเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์และปัญญาประดิษฐ์



DINSAW ROBOT FOR ELDERLY ENTERTAINMENT AND FACE-TO-FACE CALLS [1]



ROBEAR-A ROBOTIC BEAR NURSE TO LIFT PATIENTS IN JAPAN [2].

1. HURST, D. JAPAN LAYS GROUNDWORK FOR BOOM IN ROBOT CARERS. THE GUARDIAN.
2. QUANTIGENCE REPORT, ROBOTICS AND AI ASSIST IN CARING FOR THE ELDERLY. NANALYZE INT. J. ENVIRON. RES. PUBLIC HEALTH 2020, 17(11),381.



HEALTH ROBOTICS-SCI.HCU



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

หลักสูตรที่เปิดสอน

1. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์

ชื่อหลักสูตร

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์

Bachelor of Science Program in Artificial Intelligence

ชื่อปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์

วท.บ. (ปัญญาประดิษฐ์)

Bachelor of Science (Artificial Intelligence)

B.Sc. (Artificial Intelligence)

2. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

ชื่อหลักสูตร

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

Bachelor of Science Program in Computer Science

ชื่อปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

Bachelor of Science (Computer Science)

B.S. (Computer Science)

3. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์

ชื่อหลักสูตร

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์

Bachelor of Science Program in Medical Science

ชื่อปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การแพทย์)

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การแพทย์)

Bachelor of Science (Medical Science)

B.Sc. (Medical Science)

4. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์สุขภาพ (นานาชาติ)

ชื่อหลักสูตร

วิทยาศาสตรบัณฑิต วิทยาการหุ่นยนต์สุขภาพ (หลักสูตรนานาชาติ)

Bachelor of Science Program in Health Robotics

(International Program)

ชื่อปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการหุ่นยนต์สุขภาพ)

วท.บ. (วิทยาการหุ่นยนต์สุขภาพ)

Bachelor of Science (Health Robotics)

B.Sc. (Health Robotics)

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

เลขที่ 18/18 ถนนเทพรัตน กม.18 ตำบลบางโจลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540

โทรศัพท์ 02-713-8100 ต่อ 1180, 1213

เว็บไซต์ : <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/scihcu/index>

Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University

18/18 Debaratana Road k.m. 18 Samutprakarn 10540 Thailand

Tel : +662-713-8100 ext. 1180, 1213

Website : <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/scihcu/index>



Contact