



บทความวิจัย

- การพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
- การแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ
- การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4 ในร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย
- การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงโคโรนารีจากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวอาบน้ำจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น
- ระบบวัดค่าจุดศูนย์กึ่งกลางความดันแบบเวลาจริงสำหรับประเมินความสามารถในการทรงตัวในผู้สูงอายุ
- การเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมวด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
- Quality control, cytotoxicity and inhibitory effect on nitric oxide production of Pathavi Apo Vayo formulary extract

บทความวิชาการ

- การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสสำหรับผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต





วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

ISSN 2408-266X

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วยสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเพื่อส่งเสริมให้เกิดความรู้ทางวิชาการแก่สังคมทั่วไป และสนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิชาการ ผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนักศึกษาเสนอผลงานวิชาการ

กำหนดเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อุไรพรรณ เจนวาณิชยานนท์

อาจารย์ ดร.จำรูญศรี พุ่มเทียน

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐกาล

รองหัวหน้ากองบรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.สุกัญญา เพชรศิริเวทย์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร ฉางทรัพย์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูรศักดิ์ เปลื้องผล

อาจารย์ ดร.สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา

อาจารย์ ดร.ชัชวาลย์ ช่างทำ

อาจารย์ ดร.นพมาศ อัครจันทโชติ

ศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ สุขสำราญ

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

ศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ชัยลภากุล

ศาสตราจารย์ ดร.พีรพรรณ ต้นอารีย์

ศาสตราจารย์ ดร.โกสุม จันทร์ศิริ

ศาสตราจารย์ ดร.อรษา สุตเจียรกุล

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ ครูส่ง
 ศาสตราจารย์ ดร.วีไล รังสาดทอง
 รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลยุตต์ วรรณสว่าง
 รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาวสันต์
 รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์เพ็ญ วิวัฒน์
 รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์
 รองศาสตราจารย์ ดร.สิริธร สโมสร
 รองศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สายหยุดทอง
 รองศาสตราจารย์ ดร.มาลินี พงศ์เสวี
 รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ ไชยนอก
 รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติการ สายธนู
 รองศาสตราจารย์ ดร.จันทนา จันทราพรชัย
 รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติพิย ศรีไพศาลพิพัฒน์
 รองศาสตราจารย์ ดร.ธิดิมา รุกขไชยศิริกุล
 รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปีนสุข
 รองศาสตราจารย์ นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จูนวนวัฒนกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภา มหากาญจนกุล

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

ฝ่ายพิสูจน์อักษรและตรวจการเขียนรายการอ้างอิง

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

อาจารย์ ดร.สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา
 อาจารย์ ดร.สุกัญญา เพชรศิริเวทย์

ฝ่ายเว็บไซต์และศิลปกรรมวารสาร

คุณอาคม สิมโสม

ฝ่ายการเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐีกาล

คุณอริศรา สิทธิพงษ์

ฝ่ายสมาชิกวารสารและประชาสัมพันธ์

อาจารย์ตติภรณ์ ภัทรานุรักษ์โยธิน

เลขานุการกองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิการ์ แก้วกิม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทิพย์ บางสำรวจ

อาจารย์ยุคลธร สถาปนศิริ

บทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวใจเฉลิมพระเกียรติเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
 กองบรรณาธิการไม่มีส่วนกับความคิดเห็นในข้อเขียนเหล่านั้น



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความ (peer review)

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.บุษบา ยงสมิทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ สมสุข	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ดลิตา ต้นหยง	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ภญ.วารีย์ ลิ้มบัวภิรณันต์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร	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.ดรุณี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ พงษ์ไพจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เศรษฐเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลลักษณ์ ศิริพรอดุลศิลป์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พรพรม ย้อยสูงเนิน	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อรพินท์ จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชัญญ์ กุมพล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล วัฒนพงศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัชมา อระวีพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร ทองศรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัชร อัครสัมฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ พรหมสกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร จำเนียรสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ พรณิภา ศิริเพิ่มพูล	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุษา แทนขำ	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ มีवासนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทศนัย ชุ่มวัฒนะ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ บุญรัตน์กรกิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพรธม สุนทรโชติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กนกกันทพงษ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภก.วีรวัฒน์ ติระณะชัยติกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศราภา ลีละวัฒน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายสัตวแพทย์ปธานิน จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตศิริ ราชตะนะพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวภา อร่ามศิริรุจิเวทย์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา มาลาพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สายใจ ชาญเศรษฐิกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย วิริยะพงษ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิริยะพงษ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงอรุณ อิศระมาลัย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราทิพย์ จันสกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ ชัยสุวรรณ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี มนุรักษ์ชินากร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวตรี เจียมพานิชกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจิรา อินตะใส
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ อินทโกสุม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพิศ สอนโยธา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากานต์ เกียรติอร่ามกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาสินี ปรีระจิตร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทน์จันทร์ ต่านสวัสดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล อภิระติกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากรณั คำสุด

 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา แก้วกระจ่าย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฉินี ดีแท้
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร มัชฌิมะปุระ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชนาด แซ่มซ้อย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เตมีย์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แนวบุตร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศนิ จิระสถิตย์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมาพร ทาไรสง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพ่ายพ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรวาส์ พุ่มอยู่
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ พรหมเด่น
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอนก สวาวอินทร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



อาจารย์ ดร.พงศกร บำรุงไทย
 อาจารย์ ดร.เทวฤทธิ์ เป็กบาน
 อาจารย์ ดร.ภก.ฉัตรชัย พิมพ์ศักดิ์
 อาจารย์ ดร.ภญ.วิริยาพร ศิริกุล
 อาจารย์ ดร.เฉลิมขวัญ รุ่งสว่าง
 อาจารย์ ดร.เกษศิริรินทร์ รัชจร
 อาจารย์ ดร.ทิวธวัฒน์ นาพิรุณ
 อาจารย์ ดร.กุลวดี ดลโสภณ
 อาจารย์ ดร.ชนินทร์ วงษ์ใหญ่
 อาจารย์ ดร.จิตตฤ พูลวัน
 ร.อ.หญิง ดร. มณฑลลี อีรอนิศักดิ์กุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 มหาวิทยาลัยสยาม
 มหาวิทยาลัยสยาม
 มหาวิทยาลัยทักษิณ
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยรังสิต
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความภายใน

รองศาสตราจารย์ ภก.ชาญชัย สาดแสงจันทร์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพัฒน์ ไสภิตธรรมคุณ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานทิพย์ รัตนศิลป์กุลชาญ
 อาจารย์ ดร.อาภาภรณ์ บุลสถาพร

อาจารย์ ดร.ศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล
 อาจารย์ ดร.มธุรส อ่อนไทย
 อาจารย์เปรมรัตน์ พูลสวัสดิ์
 อาจารย์ยุวธิดา ชิวปรีชา



บรรณาธิการแถลง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ในฐานะเป็นสื่อกลางสำคัญในการแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการของคณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย และนักวิชาการ เพื่อก่อให้เกิดการสร้างสรรค์ผลงานวิชาการทั้งทางด้านการศึกษาและการวิจัยให้ก้าวหน้าต่อไป วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปี พ.ศ. 2565 (กรกฎาคม - ธันวาคม) ซึ่งเป็นปีที่ 8 ของการดำเนินงานวารสาร ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 8 เรื่อง และบทความวิชาการ จำนวน 1 เรื่อง โดยมีเนื้อหาสาระที่ครอบคลุมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการกลั่นกรองทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชา เพื่อให้ได้คุณภาพและถูกต้องทางวิชาการ ตามเกณฑ์มาตรฐานของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index-TCI) โดยวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ได้ผ่านการรับรองคุณภาพอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 จากการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ครั้งที่ 2 (2564-2567)

กองบรรณาธิการวารสารจะยังคงรักษาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร โดยปรับปรุงการดำเนินงานของกองบรรณาธิการวารสารในทุกฝ่าย เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินบทความ (Peer-review) ตรวจสอบสอบบทความอย่างน้อย 3 ท่าน วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อควบคุมคุณภาพบทความของวารสารให้ได้มาตรฐานระดับสูง รวมทั้งผู้เขียนบทความในการแก้ไขบทความจนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้สนใจ เพื่อนำประโยชน์ไปใช้ในการอ้างอิง พัฒนางานวิจัย ตลอดจนสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ที่วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โดยสามารถส่งต้นฉบับตามรายละเอียดในท้ายเล่มนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิริ วนรัฐกาล
หัวหน้ากองบรรณาธิการ



สารบัญ

บทความวิจัย

หน้า

- การพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก.....8
Development of Sentiment Analysis Model Based on Thai Social Media Using Deep Learning Techniques
ชาลิสสา จิตบุญญาพิณีจ ปราสี มณีรัตน์ และ นิเวศ จิระวิชิตชัย
- การแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ.....19
Nutrition Recommendation for Elderly Using Mobile Application
สุธีรา พึ่งสวัสดิ์ สหสวรรษ รังรองทอง และ ศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล
- การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4 ในร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย.....34
Histological study of the third and fourth parts of the vertebral artery in Thai embalmed cadavers
ภาสินี สงวนสิทธิ์ และ ระพีพันธุ์ ศิริเดช
- การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงโคโรนารีจากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย.....45
Histological study of coronary artery in Thai cadavers
ระพีพันธุ์ ศิริเดช และ ภาสินี สงวนสิทธิ์
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวอาบน้ำจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น.....56
The development of liquid soap products from coconut shell charcoal mixed with cold pressed coconut oil
นรากร ศรีสุข และ ศนิ จิระสถิต
- ระบบวัดค่าจุดศูนย์กลางความดันแบบเวลาจริงสำหรับประเมินความสามารถในการทรงตัวในผู้สูงอายุ.....68
A real-time center of pressure measurement system for postural balance assessment in the elderly
พุดิพงษ์ ขุนทรง พงศกร บำรุงไทย ประภาพรรณ เกษราพงศ์ ทรงชัย จิตภักดีบัณฑิต กิตติพงษ์ เขียวจา
รุ่งเพชร สงวนพงษ์ และ น้ำผึ้ง ปุญญนรินทร์
- การเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมวด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง....81
The Comparison of rosmarinic acid in Orthosiphon aristatus extract by high performance liquid chromatography
ชลชิต คำพันธ์ รมชัย ภูวนา ภาณีชา พงศ์นราทร เพ็ญศิริ จันท์แอ วรินทร์ โอนอ่อน และ นฤวัตร ภักดี
- Quality control, cytotoxicity and inhibitory effect on nitric oxide production of.....92
Pathavi Apo Vayo formulary extract
Bung-on Prajanban Orapun Jaisamut and Niramai Fangkrathok

บทความวิชาการ

- การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสสำหรับผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต.....107
จิตพร โพธิ์ปัญญาศักดิ์ ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ และ สาวิตรี วัฒนัญไพศาล



การพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทย
โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

Development of Sentiment Analysis Model Based on Thai Social Media
Using Deep Learning Techniques

ชาลิสา จิตบุญญาพินิจ^{1*} ปราณี มณีรัตน์² และ นิเวศ จิระวิชิตชัย¹

¹คณะเทคโนโลยีและสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร 10900

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ นนทบุรี 11120

Chalisa Jitboonyapinit^{1*}, Paralee Maneerat² and Nivet Chirawichitchai¹

¹School of Information Technology, Sripatum University, Bangkok 10900

²Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management, Nonthaburi 11120

Received: 13 May 2022/ Revised: 9 June 2022/ Accepted: 6 July 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกประกอบด้วย โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น (Long Short-Term Memory) และหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit) โดยทดสอบกับชุดข้อมูลความคิดเห็นต่อสินค้าและบริการของเว็บบงใน (Wongnai) เมื่อวัดประสิทธิภาพจากค่าความถูกต้องพบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดคือหน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้นมีความถูกต้องในการจำแนกสูงถึง 83.7% รองลงมาเป็นโครงข่ายประสาทแบบ คอนโวลูชันมีประสิทธิภาพความถูกต้องในการจำแนก 77.0% ตามมาด้วยหน่วยเวียนกลับแบบมีประตูมีความถูกต้องในการจำแนก 65.4% ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองหน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้นมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่จะนำไปสร้างระบบวิเคราะห์ความคิดเห็นอัตโนมัติเนื่องจากอัลกอริทึมชนิดนี้มีการพิจารณาบริบทของคำในภาษาไทย และถูกออกแบบมาสำหรับการประมวลผลแบบลำดับตลอดจนมีหน่วยความจำภายในตัวเอง

คำสำคัญ: เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู การวิเคราะห์ความรู้สึก



Abstract

This research purpose is a sentiment analysis model based on Thai social media using deep learning techniques consisting of Convolutional Neural networks, Long Short-Term Memory, and Gated Recurrent units. This research was tested with a wongnai product and service opinion dataset and measured its effectiveness based on Accuracy. The experiment of this research found Long Short-Term Memory provides better classification accuracy than Convolutional Neural networks and Gated Recurrent units with an accuracy of 83.7%, followed by Convolutional Neural networks with an accuracy of 77.0%, Finally Gated Recurrent units with an accuracy of 65.4% respectively. Therefore, it can be concluded that the Long Short-Term Memory model is the most appropriate and effective for creating an automated sentiment analysis system. The reason is that this algorithm takes into account the context of Thai words and is designed for sequential processing as well as its internal memory.

Keywords: Deep Learning, Convolutional Neural Network, Long Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit, Sentiment analysis

บทนำ

สื่อสังคมออนไลน์ (Social Media) จัดเป็นสื่อประเภทหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก จากสถิติการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ในประเทศไทย พบว่าผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2564 มีจำนวนผู้ใช้งานในประเทศไทย 12 ล้านราย มีอัตราการเติบโต 33% สื่อสังคมออนไลน์ประเภทอื่น ๆ อย่างเฟซบุ๊ก (Facebook) อัตราการเติบโต 4% และอินสตาแกรม (Instagram) เติบโต 24% รวมถึงทวิตเตอร์ (Twitter) เติบโต 20% ได้รับความนิยมใช้งานเพิ่มขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สื่อสังคมออนไลน์ได้รับความนิยม เพราะเป็นแพลตฟอร์มในรูปแบบเป็นการแชร์สิ่งต่าง ๆ รอบตัว การแสดงความคิดเห็นไปมาในลักษณะการแบ่งปันมีการนำเสนอข้อมูลที่มีความหลากหลาย อาทิเช่น ข้อมูลด้านบันเทิง ความรู้ ข่าวต่าง ๆ ที่ผู้คนโดยทั่วไปสามารถติดตามสิ่งที่สนใจได้ ไม่ได้เป็นแพลตฟอร์มแบบ Look at Me ที่เป็นการแชร์เรื่องราวของตัวเอง สิ่งสำคัญของสื่อสังคมออนไลน์ คือ เรื่องของคนหรือข้อมูลที่นำเสนอ ผู้ที่เข้ามาใช้สื่อสังคมออนไลน์เป็นลักษณะของกลุ่มคน หรือเฉพาะกลุ่มที่ต้องการมาดูคอนเทนต์ เป็น Public Platform ที่ให้ผู้คนเข้ามาพูดคุยเรื่องราวที่สนใจข้อมูลเนื้อหาเดียวกันและ

มีความสนใจในเรื่องเดียวกันจนกลายเป็นชุมชนออนไลน์ที่รวมคนที่มีความชอบเดียวกันมาแชร์คอนเทนต์ที่สนใจร่วมกัน เป็นการออกแบบให้เข้าถึงกันได้ สื่อสังคมออนไลน์จัดเป็นบริการเครือข่ายสังคมออนไลน์ประเภทไม่โครบล็อก ซึ่งผู้ใช้สามารถส่งรูป ข้อความยาว เพื่อบอกเล่าเรื่องราวในชีวิตประจำวันหรือแสดงความคิดเห็น จุดเด่นของสื่อสังคมออนไลน์ คือ การที่ผู้ใช้งานสามารถเขียนข้อความบรรยายคุณลักษณะสินค้าและบริการ และผู้คนมากมายมักจะแสดงความคิดเห็นลงบนสื่อสังคมออนไลน์ ไม่ว่าจะเป็นวิจารณ์ข่าว ตารา กีฬา หรือแม้แต่วิจารณ์การใช้บริการหรือผลิตภัณฑ์ของธุรกิจต่าง ๆ ตลอดจนการรีวิวร้านอาหาร (Wongnai Food Platform) สถานที่ท่องเที่ยว ที่พักโรงแรม และอื่นๆ ข้อความเหล่านี้มักจะถ่ายทอดถึงอารมณ์และความรู้สึกของผู้ใช้บริการ จึงนับได้ว่าเป็นช่องทางในการรับฟังเสียงของลูกค้าที่สำคัญอีกหนึ่งแหล่งที่สมควรนำมาวิเคราะห์เพื่อประโยชน์ทางธุรกิจ [1-3]

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวิจัยการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและ



ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธี เพื่อนำแบบจำลองมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของลูกค้าทั้งในด้านสินค้า ด้านการบริการ และด้านสถานที่ ว่ากล่าวถึงธุรกิจในด้านบวกหรือด้านลบเพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับองค์กร โดยที่ไม่ต้องไปอ่านข้อความที่มีอยู่จำนวนมากและนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไข ปรับปรุงในด้านการบริการธุรกิจที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าเพื่อสร้าง ความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้าและสามารถนำแบบจำลองมาพัฒนาต่อยอดเป็นระบบวิเคราะห์ความคิดเห็นอัตโนมัติต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาประกอบด้วย การค้นหาข้อมูลวิจัยโดยการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำรวจปัญหาที่พบในปัจจุบัน จัดทำโมเดลงานวิจัย ค้นหาเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการทำงานวิจัย และรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้ชุดข้อมูลกรณีศึกษาของการแสดงความคิดเห็นต่อสินค้าและบริการของ เว็บ Wongnai Food Platform ซึ่งเก็บรวบรวมข้อความรีวิวร้านอาหาร การบริการ คุณภาพอาหาร และสถานที่ ซึ่งชุดข้อมูลดังกล่าวนี้เปิดให้เข้าใช้งานในรูปแบบของสาธารณะ ภายในชุดข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลการแสดงความคิดเห็นในรูปแบบทั้งเชิงบวก จำนวน 2,000 ระเบียบ และเชิงลบจำนวน 2,000 ระเบียบ ข้อความแสดงความคิดเห็น และ Rating การให้คะแนนร้านอาหาร ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของความคิดเห็นทิศทางบวกหรือทิศทางลบต่อการใช้บริการร้านอาหารดังกล่าว การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความคิดเห็นที่มีต่อร้านค้าและการบริการที่รวบรวมได้จากเว็บดังกล่าว มาวิเคราะห์ผ่านผู้เชี่ยวชาญเพื่อลงความเห็นที่ละเอียดถี่ถ้วนว่าแต่ละความคิดเห็นต่อตัวร้านค้า และการบริการนั้นเป็นด้านบวกหรือด้านลบ จากนั้นได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกมาเป็นข้อมูลสำหรับ Training Set 80% และกลุ่มตัวอย่างสำหรับ Test Set 20% ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1 เว็บ Wongnai Food Platform [3]



สัมภาษณ์ แชนเวอร์ by พี่แมว อยู่ชอยกองบิน 41 ร้านส้มตำที่ติดแอร์ ตกแต่งสวยงาม ดูดี สีสันของผนังร้าน โด๊ะ เก๋อี๊ ติดกันจัดจ้านมาก เมนูอาหารที่นี่ก็เยอะ มีตำหลายชนิดให้เลือกทาน รวมถึงต้มยำ หมูย่าง ชูพ่นอวไม่ เป็นต้น ที่สั่งมาจะเป็น ตำส้มโอ ตำไข่ต้ม+กุ้งสด ต้มแซบกระดูกอ่อน ผัดมาบมาใส่เบคอนอร่อยแทบทุกอย่าง เส้นมะละกอที่นี่จะเป็นเส้นสั้น หนาหน้อย แต่รสชาติส้มตำจัดจ้านอร่อยดี ร้านนี้ส้มตำจานละ 45-70 บาท แล้วแต่ชนิด อาหารได้เร็วมาก คนไม่เยอะ ไม่ต้องรอนานๆ	positive
ร้านยื่นออกไปในทะเลเลยคริบ บรรยากาศดี สมทะเลพัดเข้ามาตลอดเวลา มองเห็นเรือทะเลแล่นผ่านไปมา อาหารทะเลร้านนี้สดอร่อยมากคริบ ฟู ร้านนี้ใช้ปูจากธรรมชาติ เลยมื้อเนื้อแน่น หวานอร่อย กุ้ง สดเนื้อแน่น อร่อยมากอีกเช่นกับ มาเที่ยวสุราษฎร์ธานี ไม่ควรพลาดร้านนี้	positive
เหมือนว่าจะเคยลงแล้ว แต่ไม่หาไม่เจอ..... ลองอีกรอบคัพ เป็นร้านโจ๊กเล็กๆ ริมทางข้างโรงแรมโลอีสายา1(โรงแรมมณเฑียรเก่า) หากมาจากหน้าสถานีรถไฟหาดใหญ่ (ถนนธรรมานุญิวีสี่)ถึงแยกไฟแดงแรกให้เลี้ยวขวาเข้าถนนนิพัทธ์อุทิศ1 ร้านอยู่ซ้ายมือติดกับโรงแรมมณเฑียรคริส เนื่องจากมีเมนู ใหม่ เครื่องในหมู ใส้ตับ เขียงจี่ หมูสับ ใส่ปากแล้วละลายเลยจริงจริงนะ	positive
ไม่คิดว่าร้านอาหารทะเลบนห้างจะทำออกมาได้อร่อย ปกติเห็นก็จะเดินผ่านเลย แต่วันนี้คิดเพื่อนไว้ก็เลยได้มีโอกาสมาทาน ผิดคาดคะ ทำได้อร่อย เพราะเดิมทีคิดว่ารสชาติจะต้องกลางๆ ไม่จัดจ้าน แต่พอทานไปแล้วเปลี่ยนทัศนคติไปเลยแหละ เมนูที่ชอบ - แกงเหลืองหน่อไม้+ยัดมะพร้าว เด็ดมาก!! - ปลาทอดนึ่งปลา	positive

ภาพที่ 2 กลุ่มตัวอย่างข้อมูลข้อความรีวิวร้านอาหาร [3]

การตัดคำภาษาไทย (word segmentation) เป็นกระบวนการหลักและมีความสำคัญสำหรับภาษาไทย งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมตัดคำภาษาไทย โดยใช้โมดูล NLTK และ PyThaiNLP ในการตัดคำภาษาไทย ซึ่งเป็นคุณลักษณะแบบ คำเดี่ยว (Single word) ที่ได้จากการตัดคำด้วยวิธีการตัดคำแบบวิธีการเทียบคำที่ยาวที่สุด (Longest Word Pattern Matching) โดยใช้พจนานุกรม (Dictionary-Based Approach) เป็นตัวเปรียบเทียบ เนื่องจากให้ผลการตัดคำออกมาถูกต้องที่สุด โดยใช้การตัดคำตามพจนานุกรมกระบวนการทำงานของโปรแกรมตัดคำภาษาไทย เริ่มต้นด้วยการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลหรือไฟล์ข้อมูลมาเก็บไว้ที่ตัวโปรแกรม หลังจากนั้นนำข้อความแต่ละรายการเข้าสู่กระบวนการตัดคำภาษาไทยด้วยโปรแกรมตัดคำ โดยจะตัดคำแบบวิธีเทียบคำที่ยาวที่สุดที่พบในพจนานุกรม เริ่มต้นจากการค้นหาและขจัดสัญลักษณ์พิเศษออก ต่อมาจึงทำการค้นหาและขจัดชุดคำสั่งเอชทีเอ็มแอล (HTML) ออก แล้วจึงนำข้อความที่ได้ไปเทียบกับคำตามพจนานุกรม โดยกำหนดให้ตัวอักษรของการตัดคำที่ตัดได้แยกจากกันด้วยสัญลักษณ์ไปป์ (|) สุดท้ายนำไปบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลหรือไฟล์ข้อมูล [4]

การกำจัดคำหยุด (Stop word) เป็นการนำคำที่ไม่มีความหมายหรือคำที่ไม่มีความสำคัญในเอกสารออก โดยที่ความหมายของคำหรือข้อความจะไม่เปลี่ยนแปลง คำหยุดจะปรากฏในข้อความทุกข้อความ ซึ่งคำหยุดเป็นคุณลักษณะที่ไม่มีความเกี่ยวข้องหรือไม่มีประโยชน์ในการจำแนกหมวดหมู่ข้อความ ดังนั้นการกำจัดคำหยุดจึงเป็นกระบวนการที่ควรทำก่อนการจัดทำดัชนี เพื่อกำจัดคุณลักษณะที่ไม่

เป็นประโยชน์ และลดขนาดของดัชนีลง ซึ่งจะช่วยประหยัดทั้งพื้นที่และเวลาในการประมวลผล

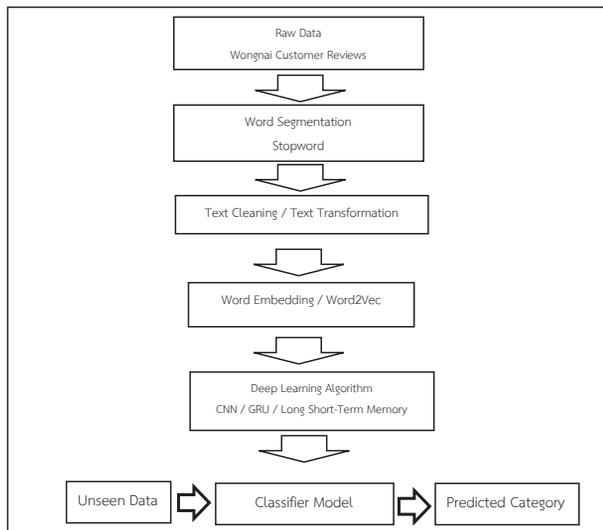
การทำความสะอาดข้อมูล (Text Cleaning) เป็นขั้นตอนในการทำความสะอาดข้อความต่าง ๆ สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อความนั้นจะเป็นการแก้ไขรายละเอียดคำในส่วนที่สะกดผิดเป็นส่วนใหญ่หรือการปรับตัวอักษรของคำให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เช่น ตัวพิมพ์เล็กในภาษาอังกฤษ เนื่องจากคอมพิวเตอร์จะเข้าใจตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ และพิมพ์เล็กว่าแตกต่างกัน ไม่ได้ตัวเดียวกัน เช่น ‘A’ กับ ‘a’ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เป็นการทำความสะอาดชุดข้อมูลภาษาไทยซึ่งได้ทำการลบสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในชุดข้อมูลออกไป ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวไม่มีประโยชน์ในการจำแนกประเภท [5, 6]

การสร้างคลังคำศัพท์ (Vocabulary) เป็นขั้นตอนในการสร้างคลังคำศัพท์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ โดยทำการรวบรวมคำที่มีอยู่ในประโยคและทำการสร้างคลังคำศัพท์โดยทำการนำคำที่แตกต่างกันมาใช้ในการสร้าง ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตของคำที่ใช้ในการศึกษาได้โดยการกำหนดจำนวนคำที่แสดงผลมากที่สุดในช่วงข้อมูล เพื่อลดข้อมูลในส่วนที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์ออกไป

การแปลงข้อความ (Text Transformation) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการแปลงคำต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่อได้ซึ่งจะต้องทำการแปลงข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมของการเรียนรู้เชิงลึก การเลือกคุณลักษณะ คือ วิธีการเลือกคำสำคัญบางคำจากคำสำคัญทั้งหมด เนื่องจากการนำคุณลักษณะจำนวนมากมาใช้ในการประมวลผลจะใช้เวลา

และทรัพยากรในการประมวลผลมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเลือกคุณลักษณะเพื่อให้ข้อมูลมีขนาดลดลง แต่ต้องสูญเสียลักษณะสำคัญของข้อมูลและความถูกต้องของผลลัพธ์ให้น้อยที่สุด โดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักของคำสำคัญนั้น ๆ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Word Embedding ซึ่งกระบวนการสร้างตัวแทนของข้อความเป็นอีกหนึ่งเทคนิคด้านการประมวลผลภาษาธรรมชาติในการสร้างตัวแทนเชิงความหมายของคำเป็นการแทนที่ข้อความด้วยเวกเตอร์คำ (Word Vector) โดยในการแทนที่ข้อความจะใช้จำนวนของเวกเตอร์เท่ากับความยาวของข้อความ และขนาดของ

เวกเตอร์จะสามารถกำหนดเองได้ ทั้งนี้ การสร้างเวกเตอร์ค่านิยมสร้างโดยการวิเคราะห์ข้อความจากชุดข้อมูลทั้งหมดก่อน แล้วจึงสร้างเวกเตอร์คำโดยให้คู่ของคำที่มีความหมายใกล้เคียงกันมีระยะห่างของเวกเตอร์คำใกล้เคียงกันด้วย วิธีการสร้างเวกเตอร์คำที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเวิร์ดทูเวก (Word2Vec) ที่จะใช้วิธีการคำนวณตัวเลขของค่านั้นจากบริบทรอบข้างของค่านั้น จัดเป็นแบบจำลองเหล่านี้เป็นโครงข่ายประสาทสองชั้นแบบต้นที่ได้รับการฝึกฝนเพื่อสร้างบริบททางภาษาของคำขึ้นมาใหม่ ดังภาพที่ 3 [7, 8]



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย

เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [9] เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ที่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถตัดสินใจได้เช่นเดียวกับมนุษย์ โดยการเรียนรู้ของเครื่องเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติ ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลองสำหรับทำนายผลลัพธ์จากข้อมูล จุดเริ่มต้นของการเรียนรู้เชิงลึกนั้นเริ่มมาจากโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นอัลกอริทึม ที่คิดค้นขึ้นมาจากการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งสมองของมนุษย์มีการทำงานที่ซับซ้อนและสามารถวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ

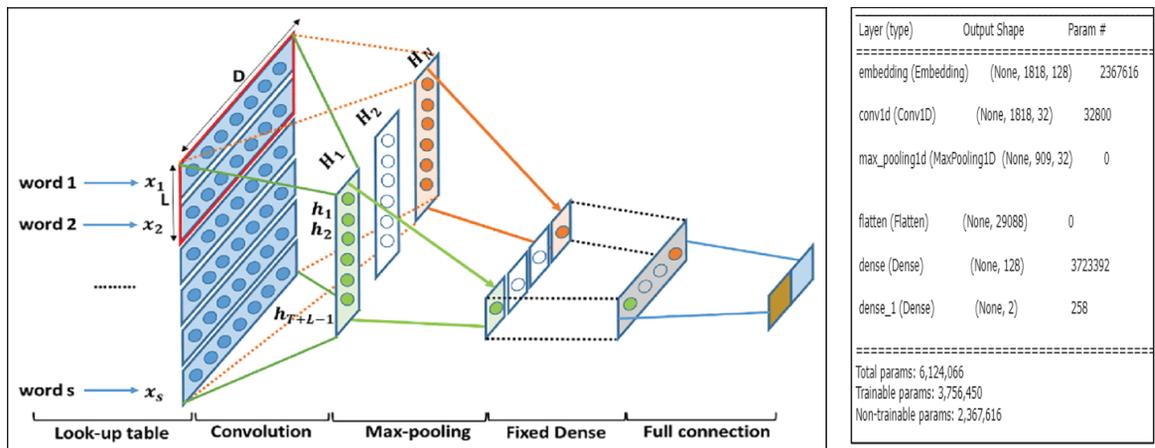
เป็นจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นได้ทำการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาทขึ้นมา ซึ่งแต่ละเซลล์ก็มีการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลไปหากัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยการทำงานเบื้องหลังของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีหน่วยย่อยที่ทำงานคล้ายกับเซลล์ประสาทของมนุษย์เรียกว่าโหนด ซึ่งโหนดสามารถรวมตัวกันจำนวนหนึ่งเรียงตัวเป็นชั้น จะเรียกว่า Layer โดยแต่ละโหนดจะมีขั้นตอนการทำงานแบ่งหน้าที่ตาม Layer เช่น Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer เป็นต้น

โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) [9] เป็นอัลกอริทึมของการเรียนรู้



เชิงลึก โดยทำงานคล้ายกับการกวาดสายตามองของมนุษย์ โดยจะทำการแบ่งกลุ่มของคุณลักษณะออกไปวิเคราะห์ และทำการนำคุณลักษณะที่ได้ใหม่ไปใช้ในการทำนายผล โดยคอนโวลูชันนั้นมีจุดเด่นในด้านของการทำ Feature Extraction จากชุดข้อมูล โดยเน้นไปที่การหาคุณลักษณะ จากชุดข้อมูลในรูปแบบของกลุ่มข้อมูล อัลกอริทึมคอนโวลูชันมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ Feature Extraction และ Classification โดย Feature Extraction เป็นการทำงานเพื่อคัดเลือกคุณลักษณะสำหรับการนำไปใช้ในการทำนายผลที่ขั้นตอน Classification ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป สำหรับการทำ Feature Extraction ของคอนโวลูชันเป็นการใช้ตัวกรองในการคัดเลือก Feature โดยทำการกำหนดขนาดของตัวกรองที่ใช้สำหรับการคัดเลือกข้อมูล ตัวกรองนี้อยู่ในรูปแบบของ Matrix ทำงานโดยการวางลงไปบนชุดข้อมูลเพื่อกำหนดบริเวณที่ใช้ในการวิเคราะห์ และทำการประมวลผลออกมาอัลกอริทึมคอนโวลูชัน ทำการใช้ตัวกรองในการสร้างชุดคุณลักษณะขึ้นมาใหม่ เมื่อได้คุณลักษณะขึ้นมาใหม่แล้ว เราสามารถทำการลดขนาดของคุณลักษณะที่ได้

มาและยังคงเอกลักษณ์ของข้อมูลเดิมโดยไม่ทำให้ผิดเพี้ยนได้ โดยมีอัลกอริทึมให้เลือกใช้งาน 2 แบบ ได้แก่ Max Pooling และ Average Pooling โดย Max Pooling นั้นเป็นการสร้างตัวกรองอีกตัวขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นทำการดึงค่าที่มากที่สุดที่อยู่ในตัวกรองออกมาใช้งาน ส่วน Average Pooling เป็นการสร้าง Filter เช่นเดียวกันกับ Max Pooling แต่เป็นการดึงค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ของตัวกรองออกมา โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันไม่เพียงแต่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของรูปภาพเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปของข้อความได้อีกด้วย งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์อัลกอริทึมคอนโวลูชันที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้แก่ Conv1D filters=32, kernel_size=8, activation=relu, Dropout =0.5, MaxPooling1D pool_size=2, fixed Dense =128, optimizers =Adam EPOCHS = 50, Batchsize = 256, Learning Rate=0.001 โดยโหนด Dense output=2 คือผลลัพธ์มีสองประเภทคือเชิงบวกกับเชิงลบ ดังรายละเอียดในภาพที่ 4



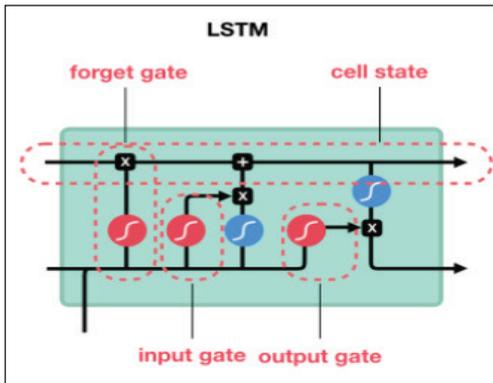
ภาพที่ 4 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน [9]

หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น (Long Short-Term Memory: LSTM) [10] เป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาต่อยอดมาจาก RNN โดยทำการแก้ปัญหาในส่วนของ Gradient Vanishing ด้วยการออกแบบการทำงานในส่วนของ Cell ใหม่ ให้สามารถเก็บสถานะของการคำนวณได้

โดยใน Cell ของ LSTM นั้นมีหน่วยคำนวณย่อยเรียกว่า Gate ซึ่งประกอบด้วย Input Gate, Forget Gate, Memory Cell State Gate และ Output Gate อัลกอริทึม LSTM นิยมใช้กับข้อมูลที่มีความยาว เช่น รู้จำข้อความ เสียงพูดหรือวีดิทัศน์ โดย LSTM ประกอบด้วย input gate, output gate และ

forget gate ซึ่งเป็นสิ่งที่ควบคุมการไหลของข้อมูล โดยเมื่อ LSTM ได้รับข้อมูลมาจากชั้น input เป็นครั้งแรก LSTM จะเข้าสู่ input gate และเข้าสู่ output gate เพื่อตัดสินใจว่าจะเก็บค่าที่ได้ไว้แล้วจะวนซ้ำใน LSTM หรือแสดงผลข้อมูล ดังนั้น LSTM จึงสามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่เป็นลำดับและเก็บหรือลบข้อมูลทิ้งถ้าข้อมูลนั้นไม่จำเป็น

งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น ได้แก่ Bidirectional-LSTM=256, activation=relu, fixed Dense =128-64, optimizers=Adam EPOCHS=50, Batchsize=256, Learning Rate=0.001 โดยโหนด Dense output=2 เชิงบวกกับเชิงลบ ดังรายละเอียดในภาพที่ 5



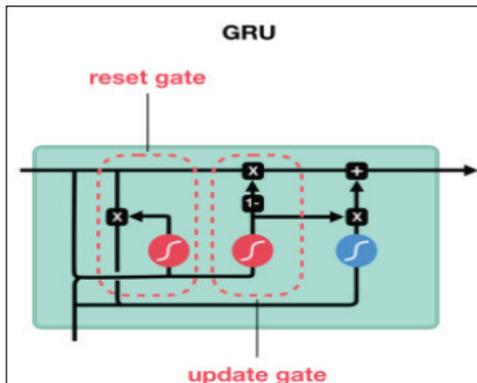
Layer (type)	Output Shape	Param #
embedding (Embedding)	(None, 1432, 128)	1936640
bidirectional (Bidirectional)	(None, 256)	263168
dense (Dense)	(None, 128)	32896
dropout (Dropout)	(None, 128)	0
dense_1 (Dense)	(None, 64)	8256
dropout_1 (Dropout)	(None, 64)	0
batch_normalization (Batch Normalization)	(None, 64)	256
dense_2 (Dense)	(None, 2)	130

=====
 Total params: 2,241,346
 Trainable params: 304,578
 Non-trainable params: 1,936,768

ภาพที่ 5 หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น (LSTM) และ ค่าพารามิเตอร์ [11]

หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) [12] ถูกพัฒนาต่อยอดมาจาก LSTM ซึ่งพัฒนาในส่วนของการลดความซับซ้อนในการทำงานของโครงข่ายประสาทแบบ LSTM เนื่องจากจำนวนหน่วยย่อยใน Cell จำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และทำนายผล โดย GRU ได้ทำการลดความซับซ้อนในการทำงานของโครงข่ายประสาทแบบ LSTM โดยการลดหน่วยย่อยใน Cell เหลือเพียง 2 ส่วน ได้แก่ Update Gate และ Reset Gate นอกจากนี้ GRU มีกลไกเปิดเปิดการอัปเดตสถานะภายใน Neural Network ที่คล้ายกับ LSTM ที่จะมี Forget

Gate แต่มีพารามิเตอร์น้อยกว่า LSTM เนื่องจากไม่มี Output Gate ในหลายงาน GRU มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ LSTM แต่เนื่องจากพารามิเตอร์น้อยกว่าทำให้ เทรนได้ง่ายกว่า เร็วกว่า และในบางงานที่กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็กพบว่า GRU ประสิทธิภาพดีกว่า งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู ได้แก่ Bidirectional-GRU=256, activation=relu, fixed Dense =128-64, optimizers=Adam, EPOCHS=50, Batchsize=256, Learning Rate=0.001 โดยโหนด Dense output=2 เชิงบวกกับเชิงลบ ดังรายละเอียดในภาพที่ 6



Layer (type)	Output Shape	Param #
embedding_1 (Embedding)	(None, 1432, 128)	1936640
bidirectional_1 (Bidirectional)	(None, 256)	198144
dense_3 (Dense)	(None, 128)	32896
dropout_2 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_4 (Dense)	(None, 64)	8256
dropout_3 (Dropout)	(None, 64)	0
batch_normalization_1 (Batch Normalization)	(None, 64)	256
dense_5 (Dense)	(None, 2)	130

=====
 Total params: 2,176,322
 Trainable params: 239,554
 Non-trainable params: 1,936,768

ภาพที่ 6 หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู และค่าพารามิเตอร์ (GRU) [11]



ค่าทางสถิติใช้สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลการทำนาย ผลระหว่างผลลัพธ์เป้าหมายกับผลลัพธ์ที่ทำนายได้ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยการคำนวณค่าความถูกต้องนั้นจะต้อง

ทำการสร้างเมทริกซ์วัดประสิทธิภาพ (Confusion Matrix) ขึ้นมาโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตาราง Confusion Matrix

		Actual	
		Positive	Negative
Prediction	Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

จากตาราง เมื่อแบ่งให้ข้อมูลมี 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลด้านบวก (Positive) และข้อมูลด้านลบ (Negative) สามารถอธิบายค่าในตัวแปรต่าง ๆ ของ Confusion Matrix ออกได้เป็น 4 กรณี ได้แก่ True Positive (TP) หมายถึง แบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลเป็นด้านบวก และตรงกับผลลัพธ์เป้าหมายเป็นด้านบวก False Positive (FP) หมายถึง แบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลเป็นด้านบวก แต่ผลลัพธ์เป้าหมายเป็นด้านลบ False Negative (FN) หมายถึง แบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลเป็นด้านลบ แต่ผลลัพธ์เป้าหมายเป็นด้านบวก True Negative (TN) หมายถึง แบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลเป็นด้านลบ และตรงกับผลลัพธ์เป้าหมายเป็นด้านลบ งานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพจาก ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) ค่าความถ่วงดุล (F - Measure) [13]

ผลการวิจัย

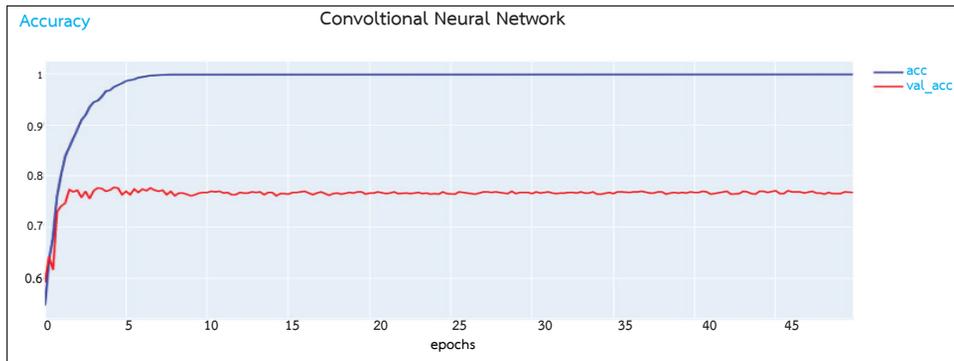
จากการทดลองและวิเคราะห์งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่าการสร้างแบบจำลองทางด้านการวิเคราะห์ความรู้สึกเพื่อให้ความถูกต้องสูงต้องใช้เวลาความรู้ด้านประมวลผลภาษาธรรมชาติมาประยุกต์ใช้งานจำนวนมาก โดยจะต้องทำการสร้างคุณลักษณะ สำหรับนำไปใช้ในการ

เรียนรู้ของอัลกอริทึมทางด้านเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกให้เหมาะสม จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในชุดข้อมูลของ Test Set ดังภาพที่ 8-10 เส้นสีแดง (Validation accuracy) และดังตารางที่ 2 พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดคือหน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น มีความถูกต้องในการจำแนกสูงถึง 83.7% ความแม่นยำ 83.9% ค่าความระลึก 83.7% ค่าความถ่วงดุล 83.7% รองลงมาเป็นโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันมีประสิทธิภาพความถูกต้องในการจำแนก 77.0% ค่าความแม่นยำ 77.2% ค่าความระลึก 76.8% ค่าความถ่วงดุล 77.0% ตามมาด้วยหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit) มีความถูกต้องในการจำแนก 65.4% ค่าความแม่นยำ 65.8% ค่าความระลึก 65.4% ค่าความถ่วงดุล 65.3% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Murthy และคณะ [14] ที่ทำการทดลองกับฐานข้อมูลรีวิวเว็บวิจารณ์หนัง IMDB เว็บรีวิวสินค้าร้าน Amazon พบว่า LSTM มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับข้อมูลประเภทข้อความ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kurniasari และคณะ [15] พบว่าเมื่อทำทดลอง LSTM กับข้อมูลวิจารณ์จากสื่อสังคมออนไลน์ในภาษาอินโดนีเซีย พบว่าอัลกอริทึม LSTM ให้ผลการประเมินโมเดลที่มีความแม่นยำ และประสิทธิภาพที่ดีเช่นเดียวกัน

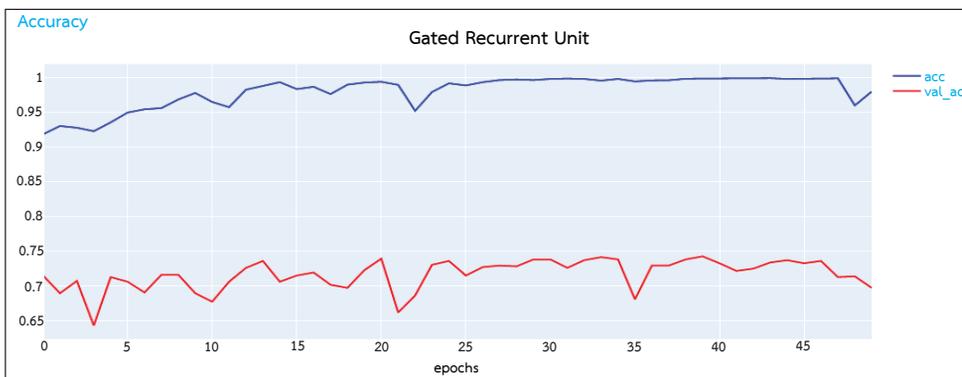


ตารางที่ 2 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม

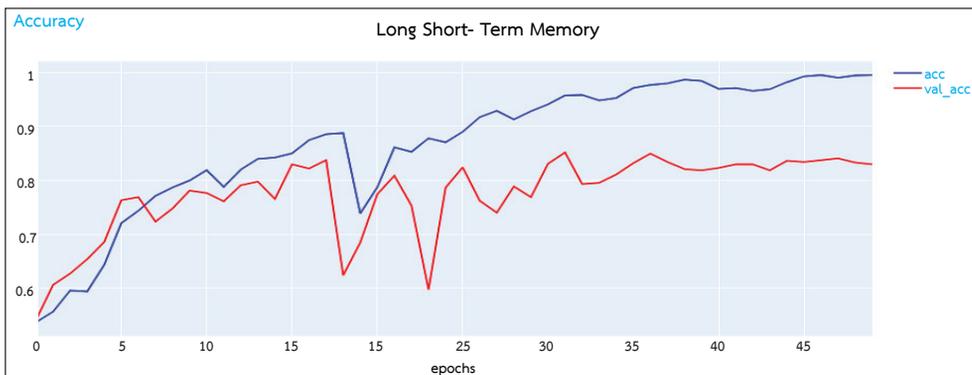
	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
CNN	0.770	0.772	0.768	0.770
GRU	0.654	0.658	0.654	0.653
LSTM	0.837	0.839	0.837	0.837



ภาพที่ 8 กราฟการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของกลุ่มตัวอย่าง โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน



ภาพที่ 9 กราฟการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของกลุ่มตัวอย่าง หน่วยเวียนกลับแบบมีประตู



ภาพที่ 10 กราฟการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของกลุ่มตัวอย่าง หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์ความรู้สึกบนสื่อสังคมออนไลน์ไทยโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อวิเคราะห์ความคิดเห็นของลูกค้าทั้งด้านสินค้าและการบริการ ด้านสถานที่ ว่ากล่าวถึงธุรกิจในด้านบวกหรือด้านลบ โดยมีกระบวนการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอน ได้แก่การสร้างคุณลักษณะจากข้อมูลข้อความตัวอักษร และการสร้างแบบจำลองสำหรับจำแนกความรู้สึกสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้ แบบจำลองใช้คุณลักษณะการเข้ารหัสแบบ Word Embedding แปลงให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ กับชุดข้อมูลภาษาไทยที่เป็นลักษณะการรีวิวตัวสินค้าในร้านอาหารของเว็บ Wongnai ซึ่งเป็น Food Platform พบว่า แบบจำลองที่ใช้หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น (LSTM) ให้ประสิทธิภาพในการทำนายได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน และหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู ในทุกตัวบ่งชี้ไม่ว่าจะเป็นค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก ค่าความถ่วงดุล เนื่องจากอัลกอริทึมชนิดนี้มีการพิจารณาบริบทของคำ และถูกออกแบบมาสำหรับการประมวลผลลำดับ (Sequence) และมีหน่วยความจำภายในตัวเอง ซึ่งทำให้สามารถจดจำข้อความข้างเคียงที่ประมวลผลมาก่อนหน้าแล้วนำมาประมวลผลต่อในลำดับถัดไปได้ ประกอบกับลักษณะงานที่ต้องรู้จำประโยคที่มีข้อความยาวมากจากกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ส่งผลให้หน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น มีความแม่นยำสูงกว่าอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกชนิดอื่น ในขณะที่ใช้เวลาในการประมวลผลไม่แตกต่างกันมากนัก และการปรับพารามิเตอร์ EPOCHS, Batch Size, Learning Rate ส่งผลให้วิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่ต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ในขณะเดียวกันการปรับพารามิเตอร์สูงขึ้นก็จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนานขึ้นเช่นกันสอดคล้องกับผลการทดลองของ Murthy [14] และ Kurniasari [15] ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยอัลกอริทึมหน่วยความจำระยะยาว-ระยะสั้น มีความเหมาะสมที่สุดจะนำไปประยุกต์ด้านใช้ในการรู้จำข้อมูลด้านการทำเหมือง

ข้อความ (Text mining) หรือการวิเคราะห์อารมณ์หรือความรู้สึกจากข้อความ (Sentiment Analysis) ภาษาไทย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า สามารถออกแบบรายละเอียดจำนวนชั้นของการทำงานของกรเรียนรู้เชิงลึกให้มีมากขึ้น และการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ในแบบจำลองให้มีความหลากหลายจะสามารถส่งผลให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

1. Sharma D, Sabharwal M, Goyal V, Vij M. Sentiment Analysis Techniques for Social Media Data: A Review. In: proceedings of the First International Conference on Sustainable Technologies for Computational Intelligence. Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 1045. Singapore: Springer; January 2020. p.75-90.
2. Ahmad R, Shaikh Y. Opinion Mining and Sentiment Analysis for Classification of Opinions on Social Networking Sites Using Machine Learning Algorithms: Systematic Literature Review. Int j adv res comput commun eng 2021; 10(5):488-94.
3. Wongnai. [Internet].2022 [cited 2022 June 30]. Available from: <https://www.wongnai.com/businesses?domain=1>
4. Tesmuang R, Chirawichitchai N. Thai Sentiment Analysis of Product Review Online Using Genetic Algorithms with Support Vector Machine. J Appl Sci Adv Technol 2020;10(2):7-13.
5. Tesmuang R, Chirawichitchai N. Thai Sentiment Analysis of Product Review Online Using Support Vector Machine. EJSU 2017;18(1):1-12.



6. Chirawichitchai N. Emotion classification of Thai text based using term weighting and machine learning techniques. In: proceedings of the 11th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering. Thailand: IEEE; May 2014. p.91-96.
7. Tesmuang R, Chirawichitchai N. Thai Sentiment Analysis of Product Review Online Using Genetic Algorithms with Support Vector Machine. J Appl Sci Adv Technol 2020;10(2):7-13.
8. Saihan L, Gong B. Word embedding and text classification based on deep learning methods. In: proceedings of the MATEC Web of Conferences: Vol. 336. China: EDP Sciences; January 2021. p.1-5.
9. Kalchbrenner N, Grefenstette E, Blunsom P. A Convolutional Neural Network for Modelling Sentences. In: Proceedings of the 52th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Maryland: Association for Computational Linguistics; June 2014. p.655-65.
10. Xingjian S, Zhou C, Wang H, Yeung D, Wong K, Wang W. Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting. In: proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems 28: Annual Conference on Neural Information Processing Systems. Canada: MIT Press; December 2015. p.802-10.
11. Tensorflow 2.0 Keras - LSTM vs GRU Hidden States. [Internet].2022 [cited 2022 June 20]. Available from: <https://tiewkh.github.io/blog/gru-hidden-state/>
12. Chung J, Gulcehre C, Cho K, Bengio Y. Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling. In: proceedings of the 28th Conference on Neural Information Processing Systems. CANADA: MIT Press; December 2014. p.1-9.
13. Chirawichitchai N. Sentiment classification by a hybrid method of greedy search and multinomial naïve bayes algorithm. In: proceedings of the 8th international conference on ICT and knowledge engineering. Thailand: IEEE; November 2013. p.1-4.
14. Murthy N, Allu S, Andhavarapu B, Bagadi M, Belusonti M. Text based Sentiment Analysis using LSTM. Int J Eng Res Technol 2020;9(05):299-303.
15. Kurniasari L, Setyanto A. Sentiment Analysis Using Recurrent Neural Network-LSTM In Bahasa Indonesia. Eng Sci Technol an Int J 2020;15(5): 3242-56.



การแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ Nutrition Recommendation for Elderly Using Mobile Application

สุธีรา พึ่งสวัสดิ์* สหัสวรรษ รังรองทอง และ ศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล

สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ
สมุทรปราการ 10540

Suteera Puengsawad* Sahassawat Rungrongthong and Sila Tamsiririrkkul

Division of Computing Science and Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Huachiew
Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

Received: 24 May 2022/ Revised: 21 August 2022/ Accepted: 2 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ วัตถุประสงค์เพื่อแนะนำโภชนาการอาหารที่เหมาะสมกับคุณลักษณะบุคคลของผู้สูงอายุและเพิ่มทางเลือกในการรับประทานอาหาร โดยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือมีหลักการดำเนินงาน ดังนี้ 1) การคำนวณแคลอรีประจำวัน และค่าอื่น ๆ ที่เหมาะสม 2) การแนะนำรายการอาหารด้วยการใช้หลักการ K-Nearest Neighbor (KNN) และการแนะนำการออกกำลังกายตามข้อจำกัดของร่างกาย 3) การบันทึกรายการอาหารและน้ำดื่มประจำวัน 4) รายงานภาพรวมของการดูแลโภชนาการของตนเอง ระบบที่พัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์บนมือถือบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ผลการทดลองใช้โปรแกรมทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างของผู้สูงอายุ จำนวน 30 คน จากการทำแบบประเมินพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแนะนำโภชนาการอาหารได้อย่างดี มีความพึงพอใจของภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.25$) โดยผู้สูงอายุสามารถเลือกอาหารที่เหมาะสม ทั้งปริมาณ แคลอรี และคุณค่าทางโภชนาการได้ด้วยตนเอง ซึ่งส่งผลดีหากรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพควบคู่กับออกกำลังกาย จำกัดปริมาณในการรับประทานอาหาร และได้รับสารอาหารครบถ้วนในแต่ละวันจะส่งผลให้ร่างกายสามารถเผาผลาญพลังงานส่วนเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การแนะนำโภชนาการ ผู้สูงอายุ โปรแกรมประยุกต์บนมือถือ



Abstract

This research is for the development of mobile applications. The objective is to recommend nutrition that is suitable for the individual characteristics of the elderly and to increase dietary choices. The mobile application contains: 1) keeping track of daily calories and other relevant values 2) food and exercise recommendations based on the K-Nearest Neighbor (KNN) principle 3) recording of daily food and drink items 4) a self-nutrition overview report. The system has been developed as a mobile application on the iOS operating system for ease of use, and the results of the experimental program were tested with a sample of 30 elderly people. From the assessment, it was found that the developed system was able to recommend good nutrition for food. Overall satisfaction was at a good level ($\bar{x} = 4.25$). The elderly can choose the appropriate food, both in calorie content and nutritional value, by themselves. This is beneficial if eating a healthy diet is combined with exercise. Limiting the amount of food and receiving complete nutrients each day will result in the body's being able to burn excess energy more efficiently.

Keyword: Nutrition Recommendation, Elderly, Mobile Application

บทนำ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ให้ความหมายของผู้สูงอายุว่าเป็นผู้ที่มีอายุเกิน 60 ปีขึ้นไป ผู้สูงอายุมีความต้องการพลังงานลดลงจากวัยผู้ใหญ่ การลดลงของมวลกล้ามเนื้อเนื่องมาจากการใช้พลังงานสำหรับการประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวันและอัตราการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ ๆ ลดลง อัตราการเผาผลาญอาหารลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น แต่ความต้องการสารอาหารอื่น ๆ รวมทั้งวิตามินและเกลือแร่ไม่ลดลงยกเว้นความต้องการธาตุเหล็ก ดังนั้นในการบริโภคอาหารของผู้สูงอายุต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารโดยให้พลังงานลดลง แต่ได้สารอาหารครบถ้วน [1]

หนึ่งในปัจจัยสี่ในการดำรงชีวิตที่สำคัญคืออาหาร การรับประทานอาหารในแต่ละวันอาจไม่ได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ครบถ้วน หรือรับประทานอาหารมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น หากไม่ควบคุมการรับประทานอาหารในแต่ละวันอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือด โรคอ้วน โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคข้อต่อกระดูก คนส่วนใหญ่จึงเริ่มให้ความสำคัญกับการรับประทานอาหารที่ดี มีประโยชน์ปราศจากสารปนเปื้อน และนิยมรับประทานอาหารที่เรียกว่าอาหารคลีน โดยมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้

สุขภาพแข็งแรงและมีการเผาผลาญที่ดียิ่งขึ้น ด้วยการออกกำลังกายควบคู่กับการรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพ จำกัดปริมาณในการรับประทานอาหาร และได้รับสารอาหารเพียงพอในแต่ละวัน ส่งผลให้ร่างกายสามารถเผาผลาญพลังงานส่วนเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2]

ผู้สูงอายุในประเทศไทยมีปัญหาทั้งอ้วนและผอม เกิดจากการรับประทานอาหารที่ไม่ถูกสัดส่วนและมีปริมาณมากเกินไปส่งผลให้น้ำหนักเกินจนถือว่าเป็นโรคอ้วน แต่การบริโภคอาหารน้อยเกินไปก็มักเกิดในผู้สูงอายุโดยเฉพาะในวัยปลาย (อายุมากกว่า 80 ปี) มีผอมกว่าเกณฑ์ปกติถึงร้อยละ 30.9 และ 27.6 ในผู้ชายและผู้หญิงตามลำดับ ปัจจัยที่ส่งผลให้ผู้สูงอายุในช่วงวัยปลายบริโภคอาหารได้น้อยและมีปัญหาการขาดสารอาหาร ได้แก่ การรับรู้กลิ่นและรสชาติของอาหารลดลง การหลั่งน้ำลายลดลง มีปัญหาในการกลืนและสุขภาพช่องปากและฟัน การทำงานของกระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับอ่อน และตับเสื่อมลง รวมทั้งปัจจัยทางสังคม เช่น ถูกทอดทิ้ง รายได้ต่ำ หรือการถูกแบ่งแยกจากสังคมหรือการสูญเสียผู้เป็นที่รัก ไม่สามารถประกอบอาหารเองได้ การเจ็บป่วย การได้รับยาบางชนิดอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างยาและอาหาร ส่งผลให้ผู้สูงอายุเบื่ออาหาร [3]



การเลือกรับประทานอาหารที่เหมาะสมต่อสุขภาพ เป็นเรื่องที่สำคัญ โดยเฉพาะผู้สูงอายุซึ่งเป็นวัยที่ต้องการ พลังงานและสารอาหารแตกต่างจากวัยทำงาน หรือผู้ที่มี สุขภาพร่างกายปกติ เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานที่ ลดลงของระบบ ต่าง ๆ ดังนั้นผู้สูงอายุจึงต้องมีความเข้าใจ เรื่องอาหารและโภชนาการเป็นอย่างดี ซึ่งความต้องการ พลังงานและสารอาหารในผู้สูงอายุแต่ละรายจะแตกต่างกัน ไปขึ้นกับอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และการใช้พลังงานในแต่ละวัน ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการเลือก รับประทานอาหารที่เหมาะสมตามวัย ดังปรากฏจากหลักฐาน งานวิจัย [4] โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้วมีการดำเนิน งานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสนับสนุน การให้บริการสุขภาพกับผู้สูงอายุ ในด้านต่าง ๆ เช่น การให้ บริการข้อมูลสุขภาพทางไกล การจัดทำเวชระเบียน อิเล็กทรอนิกส์ หรือการให้ความรู้ด้านการใช้ยาผ่าน อินเทอร์เน็ตทั้งในรูปแบบของอุปกรณ์การแพทย์ และ แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาใช้ ในการเปลี่ยนแปลงทัศนคติและพฤติกรรมอันนำไปสู่การดูแล และรักษาตนเองอย่างต่อเนื่อง เช่น การกระตุ้นกิจกรรมทาง กายภาพโดยอาศัยความตระหนักส่วนบุคคล [5, 6] หรือ การกระตุ้นการรับรู้และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการ รับประทานยา [7] และจากการศึกษางานวิจัยของ น้ำเพ็ญ และคณะ [8] การใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือในการ ดูแลสุขภาพ ได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในการ ให้บริการแก่ผู้สูงอายุ นอกจากนี้ผู้วิจัยศึกษางานวิจัยของ รัชชานันท์ และประภากร [9] เรื่องนวัตกรรมแอปพลิเคชัน เพื่อการดูแลสุขภาพส่วนบุคคลสำหรับผู้สูงอายุซึ่งทำการ ศึกษาสถานการณ์การดูแลสุขภาพระดับบุคคลของผู้สูงอายุ และประเมินผลนวัตกรรมแอปพลิเคชันเพื่อการดูแลสุขภาพ ส่วนบุคคลสำหรับผู้สูงอายุ และงานวิจัยของ ประกายเพชร และจินพิชญ์ชา [10] เรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันช่วย คำแนะนำอาหารที่จำเป็นต่อวัน (NuTu-App) เพื่อส่งเสริม ภาวะโภชนาการในผู้ป่วยที่มีผลกดทับ และความพึงพอใจ ของผู้ดูแล มีเครื่องมือวิจัยเป็นแอปพลิเคชันช่วยคำนวณ อาหารที่จำเป็นต่อวัน โดยมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และ งานวิจัยของปาลิตา [11] ได้ศึกษาเรื่องระบบแนะนำร้าน

อาหารอัตโนมัติบนสมาร์ตโฟนโดยใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่งและ รายการอาหาร เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถแนะนำรายการ อาหาร และร้านอาหารได้โดยใช้หลักการ Content-Based Filtering ซึ่งให้ความสำคัญของข้อมูลรายการอาหารและ ค่าความคล้ายคลึงของรายการอาหารกับความต้องการของ ผู้ใช้งาน อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้ระบบ Multi-criteria Rating เพื่อพิจารณาการกำหนดค่าคะแนนตามความชอบและ ตามส่วนประกอบของรายการอาหาร สำหรับการหาค่าความ คล้ายคลึงระหว่างรายการอาหารกับความชอบของผู้ใช้งาน ในระบบใช้วิธี K-Nearest Neighbor (KNN) สำหรับการ คำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูล ส่วนแอปพลิเคชันแนะนำ ร้านอาหารบนสมาร์ตโฟนโดยใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่งและข้อมูล รายการอาหารบนโครงสร้าง Mobile Application Cross Platform ที่มีการสื่อสารแบบ Restful Protocol จากการ ศึกษาข้อมูลข้างต้น พบว่าระบบแนะนำอาหารส่วนใหญ่ เป็นรายการอาหารที่เหมาะสมกับคนทั่วไปไม่เหมาะสมกับ ผู้สูงอายุ หรือผู้ที่มีโรคประจำตัว รวมทั้งการแนะนำดังกล่าว เป็นเพียงแค่การแนะนำเบื้องต้น ซึ่งคำนวณจากแคลอรีเพียง เท่านั้นและผู้สูงอายุไม่สามารถทำอย่างสม่ำเสมอ เช่น การ รับประทานอาหาร การออกกำลังกายที่เหมาะสม

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาดังกล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงมี แนวคิดในการแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุด้วย โปรแกรมประยุกต์บนมือถือบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแนะนำโภชนาการอาหารที่เหมาะสม กับคุณลักษณะบุคคลของผู้สูงอายุและเพิ่มทางเลือกในการ รับประทานอาหารที่เหมาะสมกับตนเอง โดยระบบจะ พิจารณาการกำหนดค่าคะแนนตามความชอบของผู้ใช้งาน กับส่วนประกอบของรายการอาหาร สำหรับการหาค่า ความคล้ายคลึงระหว่างรายการอาหารกับความชอบของผู้ใช้ งานด้วยการใช้หลักการ K-Nearest Neighbor (KNN) มาสนับสนุนการแนะนำอาหาร ระบบจะแสดงข้อมูลรายการ อาหาร ปริมาณแคลอรี คุณค่าทางอาหาร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถ เลือกตัดสินใจได้ด้วยตนเอง รวมทั้งการแนะนำทำออกกำลังกายตามข้อจำกัดของร่างกายและโรคประจำตัวเพื่อให้ คำแนะนำที่เหมาะสม



$$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$$

โดยที่ x คือ ชุดข้อมูลของความชอบวัตถุดิบ เนื้อสัตว์ ผัก รสชาติ ของผู้ใช้งาน

y คือ ชุดข้อมูลของส่วนประกอบในรายการอาหาร

การคำนวณระยะทาง $d(x,y)$ คือ ระยะห่างระหว่างข้อมูล x และ y โดยการวัดระยะทางของ Standard Euclidean Distance กับการให้น้ำหนักหรือค่าระดับความสำคัญกับแอมพริบิวต์แต่ละตัว (Distance Weighted) เพื่อให้เหมาะกับการคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - w_i)(x_i - y_i)^2}$$

โดยที่ C คือ ค่าคงที่

x_i คือ สมาชิกลำดับที่ i ของชุดข้อมูล x

y_i คือ สมาชิกลำดับที่ i ของชุดข้อมูล y

w_i คือ ค่าน้ำหนักของสมาชิกลำดับที่ i ในชุดข้อมูล

ค่าความคล้ายคลึงของความชอบวัตถุดิบ เนื้อสัตว์ ผัก รสชาติ ของผู้ใช้งานกับส่วนประกอบในรายการอาหาร ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$S_{xy} = \frac{1}{1 + d(x,y)}$$

โดยที่ S_{xy} คือ ค่าความคล้ายคลึง (Similarity) ของข้อมูล x และ y

$d(x,y)$ คือ ค่า Euclidean Distance ของข้อมูล x และ y

โดย S_{xy} ที่ได้จะมีค่า 0-1 ค่ายิ่งมากยิ่งมีความคล้ายคลึงมาก

2.วิเคราะห์และออกแบบระบบ

นำข้อมูลความต้องการที่รวบรวมมาได้ นำมาทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ ในการวิเคราะห์จะนำเสนอด้วยแผนภาพการทำงานของใช้ระบบ (Use Case Diagram) และ แผนภาพจำลองเชิงคลาส (Class Diagram) เพื่อให้ทราบถึงขอบเขตของระบบฟังก์ชันการทำงานโดยรวม

แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งานทั่วไป กับระบบย่อยดังแสดงในภาพที่ 1

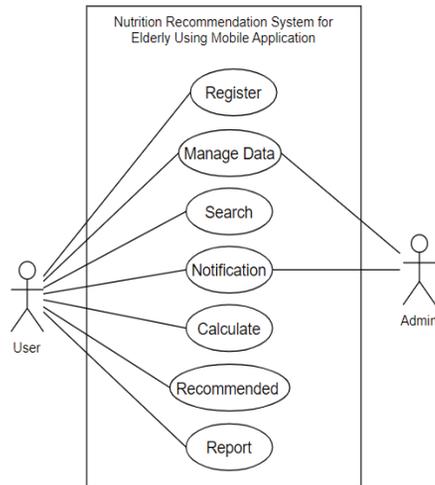
จากภาพที่ 1 สามารถแบ่งผู้ใช้งานระบบออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ดูแลระบบ โดยการแสดงแผนภาพการทำงานของใช้ระบบ (Use Case Diagram) แบ่งออกเป็น 7 ส่วน ดังนี้

2.1) การสมัครสมาชิก (Register) ผู้ใช้งานทำการ

สมัครสมาชิกโดยกรอกข้อมูลส่วนตัวประกอบไปด้วย เพศ วัน เดือนปีเกิด ส่วนสูง น้ำหนัก อาหารที่แพ้ โรคประจำตัว ความชอบวัตถุดิบ ระบบจะทำการคัดกรองอาหารที่ไม่เหมาะกับโรคประจำตัวและการแพ้อาหาร ยกตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้งานเป็นโรคเก๊าท์ ระบบจะทำการคัดกรองรายการอาหารที่ประกอบด้วย เครื่องในสัตว์ สัตว์ปีก ยอดผัก เป็นต้น ออกจากรายการอาหารของผู้ใช้งาน ในการสมัครสมาชิก จะบันทึกข้อมูลตามคุณลักษณะบุคคลเท่านั้นซึ่งผู้ใช้งานสามารถสมัครใหม่ในชื่ออื่นได้

2.2) การจัดการข้อมูล (Manage Data) ผู้ใช้งาน

ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลรายการอาหารและปริมาณการ



ภาพที่ 1 แผนภาพการทำงานของผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ

ดื่มเป็นประจำวัน โดยในการบันทึกข้อมูลรายการอาหาร สามารถเลือกได้จากรายการอาหารที่ระบบแนะนำหรือรายการอาหารที่ผู้ใช้งานเลือกเอง

2.3) การค้นหา (Search) ผู้ใช้งานระบบสามารถค้นหารายการอาหารได้จากชื่อรายการอาหารหรือแคลอรีของรายการอาหารที่ตนเองสนใจและในส่วนของรายการออกกำลังกายสามารถค้นหาได้จากชื่อท่าออกกำลังกาย

2.4) การแจ้งเตือน (Notification) ผู้ใช้งานรับการแจ้งเตือนเมื่อรับประทานอาหารทุกมื้อและแจ้งเตือนปรับปรุงน้ำหนักหากต้องการปรับเปลี่ยนน้ำหนักเพื่อให้ระบบคำนวณแคลอรีประจำวันใหม่

2.5) การคำนวณ (Calculate) ค่าต่าง ๆ เมื่อผู้ใช้งานกรอกข้อมูลส่วนตัวเข้าสู่ระบบ ระบบจะทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้ [13]

1) ดัชนีมวลกาย (Body Mass Index: BMI) คำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าดัชนีมวลกาย} = \frac{\text{น้ำหนัก (กิโลกรัม)}}{(\text{ส่วนสูง (เซนติเมตร)/100})^2}$$

2) อัตราพลังงานพื้นฐานต่อวัน (Basal Metabolic Rate: BMR) คำนวณได้โดยใช้สูตรตามตารางที่ 1

3) ค่าพลังงานที่ร่างกายต้องการ (Total Daily Energy Expenditure: TDEE) วิธีและสูตรการคำนวณ

ค่าพลังงานที่ร่างกายต้องการในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในแต่ละวัน คำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{พลังงานที่ร่างกายต้องการทั้งหมดต่อวัน (TDEE)} = \text{BMR} \times \text{ตัวแปร}$$

จากสูตรการหาพลังงานที่ร่างกายทั้งหมด สามารถหาตัวแปรได้จากการออกกำลังกาย การทำกิจกรรม สามารถแปรผลได้ดังแสดงในตารางที่ 2

4) ปริมาณการดื่มน้ำประจำวัน คำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัว}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 2.2 \times 30$$

2.6) รายงาน (Report) ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลรายงานสรุบน้ำหนักแต่ละสัปดาห์ รายงานผลรวมแคลอรีรับประทานต่อวันในรูปแบบกราฟเส้น และรายงานค่าความสำเร็จในรูปแบบปฏิทิน รวมทั้งการดูประวัติการบันทึกข้อมูลย้อนหลัง

2.7) การให้คำแนะนำ (Recommended) รายการอาหาร ระบบจะทำการนำข้อมูลการแพ้อาหารและโรคประจำตัว 5 โรคประกอบไปด้วย โรคเก๊าท์ โรคเบาหวาน โรคกระเพาะ โรคความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ [1] เข้ามาคัดกรองส่วนประกอบของอาหารและทำการคำนวณค่าความคล้ายคลึงจากการเลือกของ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความชอบเนื้อสัตว์ ความชอบของผัก ความชอบของรสชาติ ผู้ใช้งานจะทำการเลือกปัจจัยแบ่งระดับความชอบ โดยแสดงดังภาพที่ 2



ตารางที่ 1 ตารางการคำนวณอัตราพลังงานพื้นฐานต่อวัน (BMR) ตามน้ำหนักตัวและอายุ ในผู้ชายและผู้หญิง

Basal Metabolic Rate (อัตราพลังงานพื้นฐานต่อวัน) (กิโลแคลอรี/วัน)		
อายุ	ผู้ชาย	ผู้หญิง
>60	$(13.5 \times \text{นน.}) + 487$	$(10.5 \times \text{นน.}) + 596$

นน. = น้ำหนักตัวคิดเป็นกิโลกรัม

เมื่อทำการเลือกข้อมูลข้างต้น ระบบจะทำการคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างค่าความชอบวัตถุดิบกับส่วนประกอบของรายการอาหารซึ่งจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลจำนวน 200 รายการที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ [14, 15] ระบบจะทำการจัดเก็บรายการอาหารลงในฐานข้อมูลประกอบไปด้วย ค่าแคลอรี และคุณค่าทางอาหารทั้ง 5 หมู่ และถูกจัดลำดับการให้ ความสำคัญตามส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ ผัก รสชาติ ยกตัวอย่าง ส่วนประกอบที่มีความสำคัญหลักจะมีค่าน้ำหนัก 5 และส่วนประกอบที่มีความสำคัญรองลงมาจะมีค่าลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 3 ถึง 5

จากข้อมูลข้างต้น ยกตัวอย่างการเลือกของผู้ใช้งานดังตารางที่ 6

ระบบจะนำทั้ง 3 ปัจจัยเข้าสู่การคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงโดยหลักการ K-NN (K-Nearest Neighbor) จากสูตรการคำนวณค่าความคล้ายคลึง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7

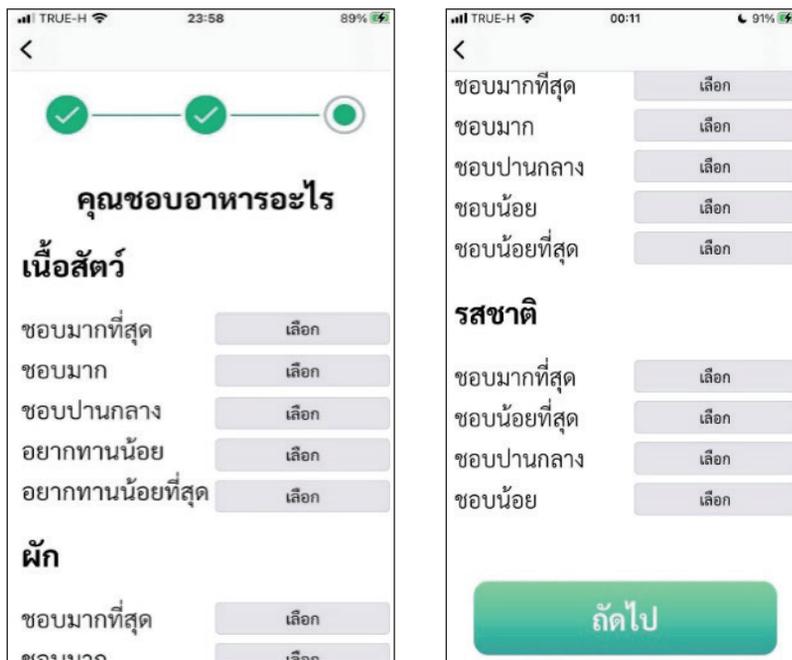
3. การพัฒนาระบบ

การแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส ถูกพัฒนาด้วยภาษา Switch, JavaScript และ SQL โดยใช้ Xcode เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนา และ Postgresql เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ซึ่งในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การใช้งานเริ่มต้นด้วยการเลือกเมนูสมัครสมาชิกจะปรากฏหน้าต่างขั้นตอนการสมัครสมาชิก โดยผู้ใช้งานจะต้องกรอกข้อมูลส่วนตัวของตนเองเข้าสู่โปรแกรมประยุกต์บนมือถือประกอบไปด้วย เพศ วันเดือนปีเกิด ส่วนสูง น้ำหนัก อาหารที่แพ้ โรคประจำตัว ข้อมูลความชอบ ดังภาพที่ 4 (ก) โปรแกรมประยุกต์บนมือถือจะทำการคำนวณค่า BMI, BMR, TDEE ดังภาพที่ 4 (ข) และทำการสรุปภาพรวมของปริมาณแคลอรีต่อวันรวมทั้งปริมาณน้ำดื่มที่เหมาะสมตามคุณลักษณะ ดังภาพที่ 4 (ค)

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรของการออกกำลังกาย/การทำกิจกรรม

การออกกำลังกาย/การทำกิจกรรม	ตัวแปร
นั่งทำงานอยู่กับที่ และไม่ได้ออกกำลังกายเลย	1.2
ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเล็กน้อย ประมาณอาทิตย์ละ 1-3 วัน	1.375
ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาปานกลาง ประมาณอาทิตย์ละ 3-5 วัน	1.55
ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาอย่างหนัก ประมาณอาทิตย์ละ 6-7 วัน	1.725
ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาอย่างหนักทุกวันเช้าเย็น	1.9



ภาพที่ 2 หน้าจอโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ ส่วนของความชอบวัตถุดิบ

ตารางที่ 3 การกำหนดค่าคะแนนความชอบและค่าน้ำหนักให้กับรายการอาหารตั้งต้นของส่วนประกอบเนื้อ

ลำดับ	ชื่อรายการอาหาร	เนื้อปู	หอย	กุ้ง	ปลาหมึก	ไก่	อื่น ๆ	ค่าน้ำหนัก
1	ผัดซีเมากุ้ง	0	0	5	0	0	...	5
2	ไก่ผัดเผ็ด	0	0	0	0	5	...	5

ตารางที่ 4 การกำหนดค่าคะแนนความชอบและค่าน้ำหนักให้กับรายการตั้งต้นของส่วนประกอบผัก

ลำดับ	ชื่อรายการอาหาร	ใบโหระพา	มะเขือเปาะ	มะระ	ใบมะกรูด	ใบกะเพรา	อื่น ๆ	ค่าน้ำหนัก
1	ผัดซีเมากุ้ง	5	0	0	0	0	...	4
2	ไก่ผัดเผ็ด	0	3	0	2	2	...	4

ตารางที่ 5 การกำหนดค่าคะแนนความชอบและค่าน้ำหนักให้กับรายการอาหารตั้งต้นของรสชาติอาหาร

ลำดับ	ชื่อรายการอาหาร	เผ็ด	เปรี้ยว	หวาน	เค็ม	ค่าน้ำหนัก
1	ผัดซีเมากุ้ง	5	0	0	0	3
2	ไก่ผัดเผ็ด	5	0	0	0	3



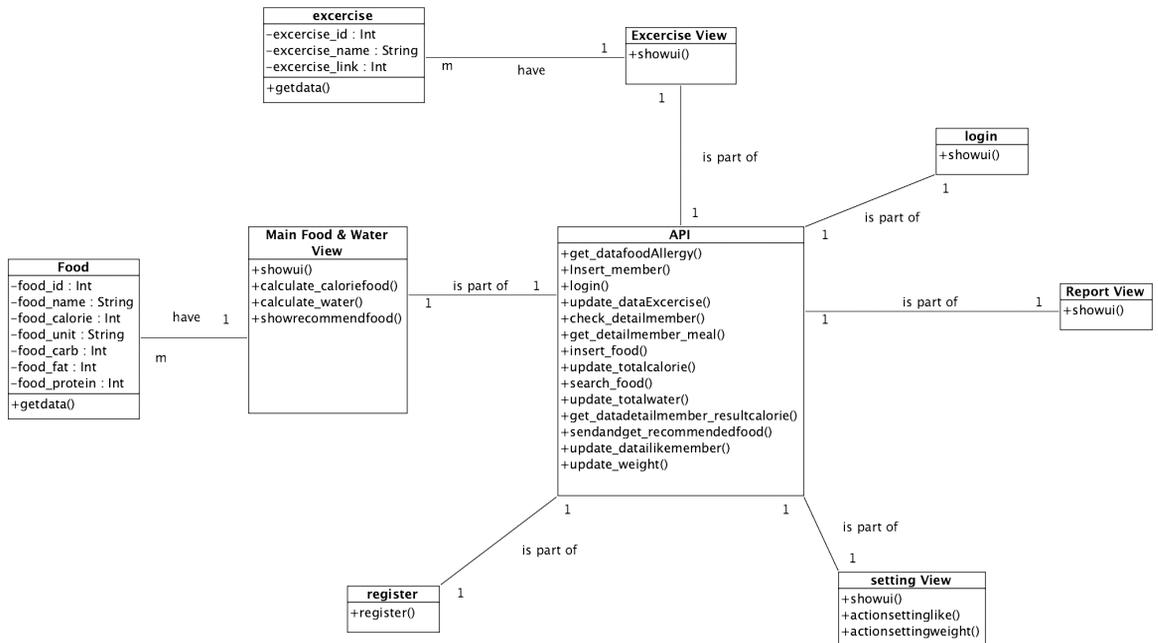
ตารางที่ 6 กำหนดความต้องการของผู้ใช้

ตัวอย่างที่ 1	อยากทานมากที่สุด ค่าความชอบ = 5	อยากทานมาก ค่าความชอบ = 4	อยากทานปานกลาง ค่าความชอบ = 3	อยากทานน้อย ค่าความชอบ = 2	อยากทานน้อยมาก ค่าความชอบ = 1
เนื้อสัตว์	กุ้ง	ปลาหมึก	-	-	-
ผัก	ใบโหระพา	มะระ	-	-	-
รสชาติ	เผ็ด	-	-	-	-

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณค่าความคล้ายคลึงของรายการอาหารเรียงตามลำดับค่าความคล้ายคลึงจากมากไปน้อย

หาค่า Standard Euclidean Distance จากสูตร

ลำดับ	ชื่อรายการอาหาร	$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - w_i)(x_i - y_i)^2}$ $= \sum_{i=1}^n C - w_i (x_i - y_i) $	หาค่าความคล้ายคลึง จากสูตร $s_{xy} = \frac{1}{1 + d(x, y)}$	ผลลัพธ์ ค่าความ คล้ายคลึง (0-1)
1	ผัดซีเมากุ้ง	1.65 + 1.32 + 1.65 + 0 + 0.264 + 0.99 + 0.99	1/(1+6.84)	0.12
2	ผัดกยอดมะระ	1.65 + 1.32 + 1.32 + 1.744 + 0.99. + 0.84	1/(1+7.864)	0.112



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคลาส ในโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ

โปรแกรมประยุกต์บนมือถือจะมีการแนะนำรายการอาหารตามอาหารที่แพ้โรคประจำตัว ความชอบวัตถุดิบ ดังภาพที่ 5 (ก) ผู้ใช้งานจะทำการเลือกอาหารที่รับประทานในแต่ละมื้อจากรายการอาหารที่ระบบแนะนำหรือรายการอาหารที่ผู้ใช้งานเลือกเอง โดยระบบจะแสดงข้อมูล ปริมาณแคลอรี และคุณค่าทางอาหาร ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ด้วยตนเองแสดงทางหน้าจอ ดังภาพที่ 5 (ข) รวมทั้งการดื่ม

ประจำวัน นอกจากนี้จะแจ้งเตือนการรับประทานอาหารโดยกำหนดเป็นมือเช้า กลางวัน เย็นประจำวัน และผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลรายงานสรุบน้ำหนักแต่ละสัปดาห์ รายงานผลรวมของปริมาณแคลอรีที่รับประทานอาหารต่อวันในรูปแบบกราฟเส้น และรายงานค่าความสำเร็จในรูปแบบปฏิทิน รวมทั้งการดูประวัติการบันทึกข้อมูลย้อนหลัง ดังภาพที่ 5 (ค)



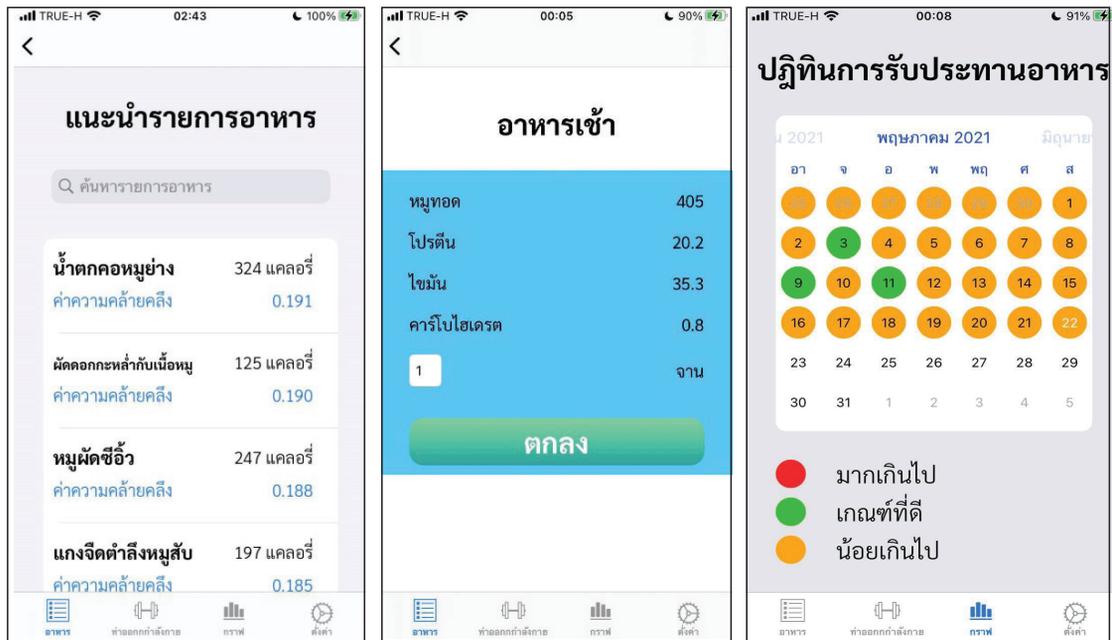
ภาพที่ 4 หน้าจอโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ

ในส่วนของการแนะนำท่าออกกำลังกาย ผู้ใช้งาน จะทำการเลือกข้อจำกัดของร่างกายตนเอง ดังภาพที่ 6 (ก) ระบบจะทำการคัดกรองท่าออกกำลังกายที่เหมาะสมให้กับผู้สูงอายุ ดังภาพที่ 6 (ข) เมื่อผู้ใช้เลือกท่าที่ต้องการ ระบบจะแสดงวิธีทำท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง วิธีปฏิบัติของท่าออกกำลังกาย ดังภาพที่ 6 (ค) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขส่วนที่บาดเจ็บของร่างกายได้

ผลการวิจัย

เมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนมือถือเสร็จสิ้น ได้ทดสอบการใช้งานโปรแกรมกับกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุ

จำนวน 30 คน มีระยะเวลาทดสอบการใช้งานโปรแกรมจำนวน 15 วัน โดยทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือ และแนะนำการใช้งานให้แก่ผู้สูงอายุ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบผู้วิจัยได้ทำการสำรวจจากแบบประเมินความพึงพอใจของการทำงานโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ ซึ่งแบบประเมินความพึงพอใจได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของไลเคอร์ท (Likert's Scale) โดยจะให้คะแนนในส่วนของแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วย มาตราส่วนประเมินค่าเชิงคุณภาพ 5 ระดับ (Rating Scale) แสดงดังตารางที่ 8

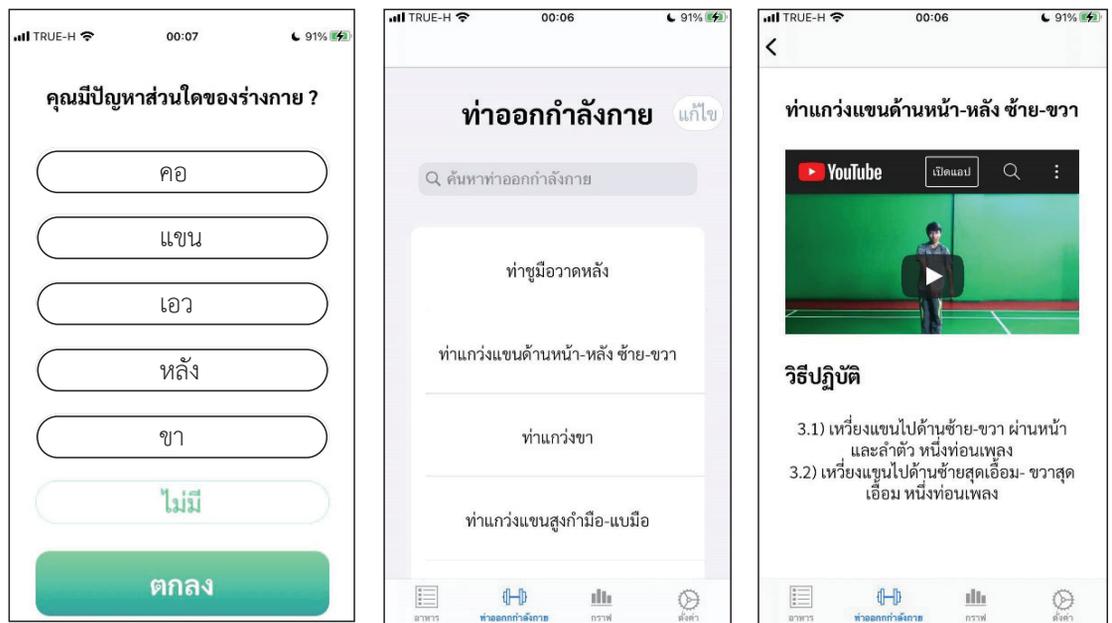


(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ ส่วนของการแนะนำรายการอาหารและปฏิทิน



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ ส่วนของการแนะนำการออกกำลังกาย

**ตารางที่ 8** ตารางเกณฑ์เฉลี่ยการให้คะแนนของแบบประเมินความสามารถของระบบ

ระดับเกณฑ์การให้คะแนน		ความหมาย
เชิงคุณภาพ	เชิงปริมาณ	
ดีมาก	4.51-5.00	ระบบมีความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับดีมาก
ดี	3.51-4.50	ระบบมีความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับดี
พอใช้	2.51-3.50	ระบบมีความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับพอใช้
ปรับปรุง	1.51-2.50	ระบบมีความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับต้องปรับปรุง
ใช้ไม่ได้	1.00-1.50	ระบบมีความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

การทดสอบโปรแกรมโดยกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุ ความพึงพอใจ สามารถแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าระดับความพึงพอใจ แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระดับความพึงพอใจในการใช้งานระบบ

รายการ	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ			
1.1 ความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ	4.80	0.27	ดีมาก
1.2 การจัดรูปแบบง่ายต่อการอ่านและใช้งาน	4.43	0.58	ดี
1.3 ขนาดตัวอักษร สีอักษร และรูปแบบอักษร	4.52	0.60	ดีมาก
1.4 มีความยืดหยุ่นในการแสดงผล	4.01	0.62	ดี
2. ด้านคุณภาพของเนื้อหา			
2.1 ข้อมูลโภชนาการด้านอาหารมีความถูกต้อง	4.14	0.56	ดี
2.2 ข้อมูลการให้คำแนะนำด้านการออกกำลังกายมีความถูกต้องและสอดคล้องกับอาการบาดเจ็บของร่างกาย	4.24	0.59	ดี
2.3 ข้อมูลการให้คำแนะนำด้านอาหารมีความถูกต้องและสอดคล้องกับความชอบ และโรคประจำตัว	4.00	0.47	ดี
3. ด้านประโยชน์และการนำไปใช้			
3.1 ช่วยให้ได้รับคำแนะนำด้านโภชนาการอาหาร และปริมาณการดื่มน้ำที่เหมาะสม	4.14	0.49	ดี



ตารางที่ 9 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
3.2 เพิ่มทางเลือกในการรับประทานอาหารมากยิ่งขึ้น	4.52	0.46	ดีมาก
3.3 ช่วยให้ผู้ใช้งานเห็นความสำคัญในการดูแลตนเอง	4.34	0.59	ดี
3.4 ช่วยให้ผู้ใช้งานลดการรับประทานอาหารที่ไม่เหมาะสมต่อร่างกาย	3.88	0.60	ดี
3.5 ช่วยให้ผู้ใช้งานรับประทานอาหารตรงเวลา และมีปริมาณที่เหมาะสม	4.27	0.76	ดี
3.6 ช่วยแนะนำการออกกำลังกายที่เหมาะสมแก่ตนเอง	4.00	0.57	ดี
ค่าเฉลี่ยภาพรวมของระบบ	4.25	0.55	ดี

สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของการแนะนำโภชนาการอาหารสำหรับผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมประยุกต์บนมือถือ โดยนำผลประเมินในทุกด้านมาคำนวณรวมกันด้วยวิธีทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมประยุกต์สามารถช่วยให้ผู้สูงอายุได้รับการแนะนำในการดูแลตนเองได้ โดยมีค่าระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีสามารถนำไปใช้งานได้จริง

นอกจากนี้ได้ประเมินความแม่นยำของการให้คำแนะนำรายการอาหารด้วยการใช้หลักการ K-Nearest Neighbor (KNN) สอดคล้องกับความชอบ และโรคประจำตัวจากนักโภชนาการอาหาร จำนวน 60 เคส พบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 5 ซึ่งเกิดจากผู้สูงอายุมีโรคประจำตัวมากกว่า 4 โรค จาก 5 โรค และมีการแพ้อาหารหลายอย่างจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแนะนำรายการอาหาร

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีความรู้ในการดูแลสุขภาพ เพียงแต่ไม่สามารถทำอย่างสม่ำเสมอ เช่น การรับประทานอาหาร การออกกำลังกายที่เหมาะสม โดยประเด็นสำคัญของปัญหาในการไม่สามารถปฏิบัติได้เป็นประจำคือเรื่องของการขี้เกียจให้แก่ตนเองใน

การปฏิบัติ เนื่องจากผู้สูงอายุมักเคยชินกับการปฏิบัติตนตามสภาพที่ตนเคยเป็นมาก่อนหน้านี้ จากสภาพดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษาโภชนาการของผู้สูงอายุและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนมือถือเพื่อช่วยแนะนำโภชนาการอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุและเพิ่มทางเลือกในการรับประทานอาหารให้มากขึ้น โดยนำข้อมูลการคำนวณปริมาณแคลอรีประจำวัน ค่าอื่น ๆ ที่ถูกต้อง เหมาะสมตามคุณลักษณะมาช่วยในการจัดการรายการอาหารและน้ำดื่มประจำวัน การบันทึกรายการอาหารและน้ำดื่มประจำวัน การเรียกดูประวัติย้อนหลัง รายงานภาพรวมของการดูแลโภชนาการของตนเองและแจ้งเตือนอยู่เสมอ เพื่อสร้างแรงจูงใจให้แก่ผู้สูงอายุ ซึ่งผลจากการพัฒนาและทดลองใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนมือถือแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้สูงที่ผู้สูงอายุจะสามารถใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนมือถือเพื่อดูแลสุขภาพของตนเองได้ และจากการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุพบว่าระบบได้แนะนำรายการอาหารได้ถูกต้องสอดคล้องกับความชอบของตนเอง โดยระบบได้ทำการคัดกรองรายการอาหารที่ไม่สามารถรับประทานได้จากโรคส่วนตัวและอาการแพ้อาหาร จึงทำให้รายการอาหารตรงตามความต้องการและไม่มีวัตถุดิบที่รับประทานไม่ได้ ส่งผลให้รายการอาหารที่แนะนำมีความสอดคล้องกับโรคประจำตัว รวมทั้งการแนะนำทำออกกำลังกายตามข้อจำกัดของร่างกายได้อย่างเหมาะสม แต่ระบบยังไม่สามารถจัดเป็นชุดรายการอาหารที่ประกอบ



ไปด้วยอาหารหลัก ผลไม้ และเครื่องดื่มได้ รวมถึงยังไม่สามารถจำกัดในส่วนของคุณค่าทางอาหารที่มีผลกับโรคประจำตัวบางโรค ได้แก่ ปริมาณน้ำตาล ซึ่งส่งผลต่อโรคเบาหวาน ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยในลำดับถัดไป ควรพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อเพิ่มกลุ่มผู้ใช้งานให้มากยิ่งขึ้น และข้อมูลการคำนวณรายการอาหารเชิงลึก เช่น ความต้องการคุณค่าทางอาหารต่อวันตามคุณลักษณะ และการจัดชุดอาหารต่อวันให้แก่ผู้สูงอายุ

เอกสารอ้างอิง

1. ขวีสภา แก้วอนันต์. โภชนาการสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2562;12(2):112-9.
2. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. อยากรสุขภาพดีต้องมี 3อ. อาหาร ออกกำลังกาย อารมณ์. กรุงเทพฯ: สำนักงานส่งเสริมสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2560.
3. ศักดิ์ชาย ควรระงับ. กระบวนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อควบคุมน้ำหนักตัวของบุคลากรของมหาวิทยาลัยพายัพ. พยาบาลสาร 2557;41(1):85-95.
4. พริยฉัตร คณานุกัษ, กัลยา สร้อยสิงห์, เกษมสุข เขียวทอง, ธนวันต์ พัฒนสิงห์, จีน่า ซัมเมอร์ส, จิราพร ธรรมสุขเสรี. พฤติกรรมการรับประทานอาหารตามหลักโภชนาการของผู้สูงอายุในจังหวัดชลบุรี. วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี 2563;14(3):548-63.
5. ทิมลอร ต้นหัน. แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2559;10(3):55-62.
6. จันทร์จิราพร ทองประสิทธิ์, ทิพย์ จินตโกวิท. พฤติกรรมของผู้สูงอายุในการใช้แอปพลิเคชันไลน์บนสมาร์ตโฟน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2563;30(1):118 -29.
7. ไหมมูนิะ สังขาว, เพลินพิศ ฐานิวัฒนานนท์. ผลของโปรแกรมสนับสนุนการจัดการตนเองต่อความสม่ำเสมอในการรับประทานยาและระดับความดันโลหิตของผู้สูงอายุโรคความดันโลหิตสูงที่ควบคุมความดันโลหิตไม่ได้. วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์. 2563;40(1):84-100.
8. น้ำเพ็ญ พรหมประสิทธิ์, สุภาวดี มากอัน, สมชาย ตูละ. แอปพลิเคชันแนะนำการดูแลสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 11 วันที่ 24-25 ตุลาคม 2562. สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. กรุงเทพฯ; 2562. หน้า 38-42.
9. รัชชานันท์ ศรีสุภักดิ์, ประภากร ศรีสว่างวงศ์. โมบายแอปพลิเคชันเพื่อการดูแลสุขภาพส่วนบุคคลสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2563;29(2):230-9.
10. ประกายเพชร วินัยประเสริฐ, จิณพิชญ์ชา มะมม. การพัฒนาแอปพลิเคชันช่วยคำนวณอาหารที่จำเป็นต่อวัน (NuTu-App) เพื่อส่งเสริมภาวะโภชนาการในผู้ป่วยที่มีแผลกดทับ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2562;27(3):485-98.
11. ปาลิตา แสงศิริ. ระบบแนะนำร้านอาหารอัตโนมัติบนสมาร์ตโฟนโดยใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่งและรายการอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา; 2561.
12. Fouzi H, Abdelhafid Z, Mohamad MH and Ying S. Road Traffic Modeling and Management: Using Statistical Monitoring and Deep learning. Amsterdam. Elsevier; 2022.
13. ศุภินิธิ ข้าพรหมราช. การพัฒนาโปรแกรมออกกำลังกายเพื่อลดไขมันโดยมีผู้ฝึกสอนส่วนตัว [อินเทอร์เน็ต]. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2 ส.ค. 2565]. เข้าถึงจาก: <http://research.rmu.ac.th/rdi-mis//upload/fullreport/1629883485.pdf>
14. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. อาหารนุ่ม.. เมฆอร่อยเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสหมิตรพรันตังแอนดพับลิสซิง จำกัด; 2561.
15. สุวิมล ทรัพย์วโรบล. โภชนาการกับการควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬา; 2562.



การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4 ในร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย

Histological study of the third and fourth parts of the vertebral artery in Thai embalmed cadavers

ภาสินี สวงสนิท* และ ระพีพันธุ์ ศรีเดช

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
สมุทรปราการ 10540

Pasinee Sanguansit* and Rapipan Siridet

Division of Biological science, Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University,
Samutprakarn 10540

Received: 30 May 2022/ Revised: 25 August 2022/ Accepted: 2 September 2022

บทคัดย่อ

หลอดเลือด vertebral artery (VA) เป็นหลอดเลือดที่ทอดตัวจากส่วนคอไปยังศีรษะมีหน้าที่สำคัญในการนำเลือดไปเลี้ยงสมองส่วนท้าย โดย VA แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตลอดความยาวของหลอดเลือดนี้ vertebral ส่วนที่ 3 (V3) เป็นส่วนที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการเคลื่อนไหวของศีรษะมากที่สุดและส่วนที่ 4 (V4) เป็นส่วนที่มักพบการอุดตันของหลอดเลือด งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดง V3 และ V4 จากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทยจำนวน 20 ร่าง โดยตัวอย่างหลอดเลือดจากทั้งข้างขวาและซ้ายถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลาย จากนั้นเตรียมชิ้นเนื้อด้วยวิธีมาตรฐาน ย้อมด้วยสี Hematoxylin และ Eosin และ Verhoeff-Van Gieson ศึกษาลักษณะทางจุลพยาธิวิทยาใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดบันทึกภาพดิจิทัลและวัดความหนาของผนังหลอดเลือดด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่าความหนาผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima) ของ V3 และ V4 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media) และผลรวมค่าความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในและชั้นกลาง (intima-media thickness; IMT) ของ V3 และ V4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในส่วนที่ต่างกันของ V3 และ V4 นั้น พบพยาธิสภาพส่วนใหญ่อยู่ในส่วนปลายของ V3 และส่วนต้นของ V4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนา IMT ที่หนามากที่สุดในส่วนปลายของ V3 และส่วนต้นของ V4 ข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงแนวโน้มการหนาตัวของผนังหลอดเลือดที่ส่วนปลายของ V3 และ ที่ส่วนต้นของ V4 บ่งบอกถึงความเสี่ยงในการเกิดภาวะสมองขาดเลือดจากหลอดเลือดตีบหรือตัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์โรคหลอดเลือดและเป็นข้อมูลในการระวังและป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับหลอดเลือดได้

คำสำคัญ: หลอดเลือดแดง vertebral ลักษณะทางจุลกายวิภาค ร่างอาจารย์ใหญ่



Abstract

The vertebral artery (VA) is a blood vessel that courses through the neck and cranium. The vertebral artery is important as they provide vascularization to the hindbrain. The vertebral artery is divided into 4 segments: Along its course, the V3 is the most vulnerable to injury from head movement, and the arterial occlusion is commonly located in the V4. This research studied the histological feature of the third and fourth parts of the bilateral vertebral artery (VA) in 20 Thai embalmed cadavers. Both arteries were studied into proximal, middle, and distal segments. In histopathological studies, tissues were processed and stained with Hematoxylin and Eosin, and Verhoeff-Van Gieson according to the standard protocol. The photomicrographs were taken under a digital microscope and wall thickness was measured by the ImageJ program. The results showed that the average value of tunica intima (TI) thickness was not significantly different in V3 and V4 whereas the average values of tunica media (TM) and intima-media thickness (IMT) were significantly different in V3 and V4. In the different segments of the artery, the pathological sites were mostly located in the distal segment of V3 and the proximal segment of V4 as shown by the greater IMT thickness of V3 in the distal segment and V4 in the proximal segment. These results demonstrated that the arterial wall thickness tended to be greater in the distal segment of V3 and proximal segment of V4. These might lead to an increased risk of ischemic stroke due to the narrowing or obstruction of the lumen. Therefore, the data of this study could be beneficial for the prognosis of vascular disease or the prevention of vascular injury.

Keywords: Vertebral artery, Histology, Cadavers

บทนำ

การศึกษาโครงสร้างทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงในมนุษย์ได้รับความสนใจจากนักกายวิภาคศาสตร์และแพทย์ผู้เกี่ยวข้องโดยเฉพาะการศึกษาหลอดเลือดบริเวณคอ [1-3] vertebral artery (VA) เป็นหลอดเลือดแดงที่มีความยาวเริ่มจากคอขึ้นไปในกะโหลกศีรษะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยส่วนแรก (V1) แยกออกจากหลอดเลือด subclavian ทอดตัวจากส่วนคอผ่านช่องกระดูกสันหลัง (transverse foramen) ระดับ C6 ไปยังส่วนที่สอง (V2) คือส่วนที่ทอดตัวตั้งแต่ช่องกระดูกสันหลังระดับ C6 ไปจนถึงระดับ C1 หลังจากออกจากช่องกระดูกสันหลังของ C1 คือส่วนที่สาม (V3) อยู่ภายใน sub-occipital triangle จนเข้าสู่ส่วนสุดท้าย (V4) ผ่าน atlantooccipital membrane และ เยื่อหุ้มสมอง

ชั้นนอก (dura mater) ทอดผ่าน medulla oblongata จนเชื่อมกับ VA อีกข้าง [2, 3] ร่วมกับ basilar artery เรียกว่า vertebrobasilar arterial system มีหน้าที่นำเลือดไปเลี้ยง ก้านสมอง สมองน้อย และบริเวณด้านล่างของสมองกลีบขมับ และสมองกลีบท้ายทอยคิดเป็นร้อยละ 20 จากปริมาณเลือดทั้งหมดที่ส่งไปเลี้ยงสมอง [4, 5] โดย VA เป็นหลอดเลือดชนิด medium-sized arteries มีลักษณะทางจุลกายวิภาคแบ่งเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นใน tunica intima ชั้นกลาง tunica media และชั้นนอกคือ tunica adventitia โดยแต่ละชั้นมีหน้าที่และความสำคัญดังนี้ เซลล์บุผนังหลอดเลือด (endothelial cell) เป็นชั้นย่อยด้านในสุดของผนังหลอดเลือด ชั้นในมีหน้าที่เป็น permeability, macromolecular barrier และ thromboresistant surface มีบทบาทกระตุ้น



การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและสร้าง inflammatory mediators [6] เส้นใยอีลาสติก (elastic fiber) และกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) ในผนังหลอดเลือดชั้นกลางมีบทบาทสำคัญในการหดและขยายตัวของหลอดเลือด ส่วน external elastic lamina (EEL) และ internal elastic lamina (IEL) ทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่น ควบคุมปริมาณการไหลเวียนของเลือด [7] โดยโรคของหลอดเลือดที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือดเกือบทั้งหมดสามารถพบได้ใน VA เช่น หลอดเลือดตีบตัน หลอดเลือดแดงแข็ง หลอดเลือดโป่งพอง การฉีกขาดของหลอดเลือด และหลอดเลือดในสมองแตก ความผิดปกติดังกล่าวเกิดได้จากปัจจัยภายนอก เช่น การบาดเจ็บบริเวณคอจากการออกกำลังกายหรือการจัดกระดูกที่อาจนำไปสู่การฉีกขาดของ VA [8] หรือปัจจัยภายในและปัจจัยส่งเสริม ได้แก่ อายุ เพศ พันธุกรรม ภาวะไขมันในเลือดสูง การสูบบุหรี่ ความดันโลหิตสูง เบาหวาน โดยปัจจัยเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์บุผนังหลอดเลือด ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนและมีการเคลื่อนที่ของเซลล์ชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบภายในผนังหลอดเลือด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ไขมัน แคลเซียม และสารอื่นๆ ที่พบในเลือด การสะสมของสารเหล่านี้เป็นเหตุให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดทำงานผิดปกติ ส่งผลต่อพยาธิกำเนิดของโรคหลอดเลือดแดงต่างๆ และนำไปสู่พยาธิสภาพในชั้นอื่นๆ ของหลอดเลือดตามมาได้ ซึ่งผลกระทบจากพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นภายในผนังหลอดเลือด V3 และ V4 เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสมองส่วนหลังขาดเลือดและนำไปสู่อาการทางระบบประสาท [9]

ในปัจจุบันมีการใช้การบันทึกภาพรังสีหลอดเลือด (angiography) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของ VA ในคนที่ยังมีชีวิต โดยสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับความยาว ความกว้าง และส่วนที่คดงอของหลอดเลือดเท่านั้น [2] และมีการใช้การวินิจฉัยด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonography) ในการหาความหนาของ intima-media thickness (IMT) เพื่อป้องกันภาวะโรคหลอดเลือดตีบแข็ง (atherosclerosis) ได้ [10] แต่ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับองค์ประกอบภายในผนังหลอดเลือดนั้นต้องใช้ขั้นตอนการศึกษาทางจุลกายวิภาค ซึ่งเป็นการศึกษาจากตัวอย่าง

หลอดเลือดของผู้เสียชีวิต โดยได้มีการรายงานข้อมูลทางจุลกายวิภาคของ VA จากการใช้วิธีการย้อมมาตรฐานและการย้อมพิเศษต่างๆ โดยหลายงานวิจัยพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายในและภายนอกของ VA ข้างซ้ายใหญ่กว่าข้างขวา [3, 11, 12] ขนาด V3 ชาวเอเชียมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับชาติอื่นๆ (รัสเซีย อเมริกา และ แอฟริกา) [2] ในส่วนของข้อมูลความหนาชั้นต่างๆ ของ VA แต่ละส่วน ยังคงมีความหลากหลายของข้อมูลอยู่ [2-5, 13] โดย VA เป็นหลอดเลือดที่มีความยาวและมีลักษณะโค้งงอโดยเฉพาะส่วน V3 เป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนทิศทางและไม่มีการดกปกคลุมจึงเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการเคลื่อนไหวของศีรษะ และ V4 เป็นส่วนที่อยู่ภายในกะโหลกศีรษะและมักพบการอุดตันของหลอดเลือดนี้ [14] ในปัจจุบันการรายงานข้อมูลทางจุลกายวิภาคของ V3 และ V4 ยังมีไม่มากนัก ทั้งยังไม่มีรายงานลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือด V3 และ V4 ในประชากรไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนา ลักษณะทางจุลกายวิภาคและความผิดปกติของผนังหลอดเลือด V3 และ V4 ในร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย ด้วยวิธีการย้อม Hematoxylin และ Eosin และ Verhoeff-Van Gieson ทั้งนี้ข้อมูลเหล่านี้ทำให้เกิดความเข้าใจการเกิดพยาธิสภาพในส่วน (segment) ต่างๆ ของหลอดเลือด V3 และ V4 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์โรคหลอดเลือด และเป็นข้อมูลในการระวังและป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับหลอดเลือดได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างหลอดเลือดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากร่างอาจารย์ใหญ่ที่ใช้เพื่อการเรียนการสอนในกลุ่มวิชากายวิภาคศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติจำนวน 20 ร่าง เป็นเพศชาย 12 ร่าง เพศหญิง 8 ร่าง อายุอยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ (50 ปีขึ้นไป) มีร่างกายที่ผ่านการดองสมบูรณ์ ไม่มีแผลบริเวณคอหรือศีรษะ แต่ละร่างจะทำการศึกษาหลอดเลือด V3 และ V4 ทั้งข้างขวาและซ้ายข้างละ 20 หลอดเลือด รวมเป็น 40

ตัวอย่าง โดยหลอดเลือด V3 ถูกตัดออกจากร่างตั้งแต่ตำแหน่งที่ออกจากช่องกระดูกสันหลังของ C1 จนถึงตำแหน่งก่อนเข้าสู่ foramen magnum และผ่าหลอดเลือด V4 จากตำแหน่งที่ทะลุผ่าน เยื่อหุ้มสมองชั้นนอกและเยื่อหุ้มสมองชั้นกลาง จนถึงบริเวณรอยต่อระหว่าง pons และ medulla oblongata

2. การเตรียมตัวอย่างชิ้นเนื้อ

ตัวอย่างหลอดเลือดแต่ละเส้นถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน เท่าๆ กัน ได้แก่ ส่วนต้น (proximal) ส่วนกลาง (middle) และส่วนปลาย (distal) และตัดหลอดเลือดในแนวภาคตัดขวางที่ความหนาที่ประมาณ 0.5 cm จากนั้นนำหลอดเลือดไปแช่ในน้ำยาฟอมาลิน (10% neutral buffer formalin) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปผ่านกระบวนการเตรียมชิ้นเนื้อ (tissue processing) ตามวิธีมาตรฐาน โดยการดึงน้ำออกชิ้นเนื้อ (dehydration) ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ตั้งแต่ความเข้มข้น 70% -100% แช่ 30 นาที ในแต่ละความเข้มข้น จากนั้นทำชิ้นเนื้อให้ใส (clearing) ด้วยไซลีน 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที และ แทรกซึมชิ้นเนื้อ (infiltrate) ด้วยพาราฟินเหลว 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที แล้วนำชิ้นเนื้อฝังลงในบล็อกพาราฟิน และตัดบล็อกพาราฟินที่ความหนา 5 μm จากนั้นย้อมด้วยสีย้อม Hematoxylin และ Eosin เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคและพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดและย้อมสีพิเศษ Verhoeff-Van Gieson เพื่อวัดความหนาของผนังหลอดเลือดและศึกษาลักษณะของ IEL และ EEL

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาค (histology) ของผนังหลอดเลือด

นำสไลด์เนื้อเยื่อที่ได้มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยศึกษาและบันทึกผลลักษณะโครงสร้างและพยาธิสภาพที่พบภายในผนังหลอดเลือดทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ ผนังหลอดเลือดชั้นใน ชั้นกลาง และชั้นนอก ในทั้ง 3 ส่วนของหลอดเลือดแดง V3 และ V4

3.2 ศึกษาความหนาของผนังหลอดเลือด (arterial wall thickness)

นำเนื้อเยื่อหลอดเลือดที่ผ่านการย้อมด้วย Verhoeff-Van Gieson มาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดบันทึกภาพดิจิทัลภายใต้กำลังขยาย 4X ทำการบันทึกภาพและใช้โปรแกรม ImageJ (freeware) ในการวัดความหนาของ ผนังหลอดเลือด โดยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน วัดระยะตั้งฉากจาก endothelium ถึง IEL และความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นกลาง วัดระยะตั้งฉากจาก IEL ถึง EEL แต่ละตัวอย่างถูกทำการวัด 8 ตำแหน่งโดยแบ่งช่วงให้สมมาตรกันเพื่อให้ครอบคลุมผนังหลอดเลือดทั้งวงและทำการวัดตำแหน่งละ 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการบันทึกความหนาของผนังหลอดเลือด ลักษณะทางจุลกายวิภาค และพยาธิสภาพที่พบภายในผนังหลอดเลือดแดง V3 และ V4 นำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาและใช้สถิติ one-way ANOVA และ Mann-Whitney U test โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการเปรียบเทียบความหนาของผนังหลอดเลือดระหว่างหลอดเลือดแดง V3 และ V4 โดยกำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ค่า $p\text{-value} < 0.05$

ผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะของหลอดเลือด V3 และ V4 ในร่างอาจารย์ใหญ่จำนวน 20 ร่าง เป็นเพศชาย 12 ร่าง เพศหญิง 8 ร่าง อายุอยู่ในช่วง 52-101 ปี เฉลี่ย 71.25 ± 12.08 ปี ได้ข้อมูลดังนี้

1. ความหนาของผนังหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4

ความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในของหลอดเลือดแดง V3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $316.510 \pm 193.684 \mu\text{m}$ ผนังหลอดเลือดชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ $496.621 \pm 99.148 \mu\text{m}$ และผลจากการรวมค่าความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในและชั้นกลางเพื่อแสดงค่า IMT พบว่าในส่วนที่ต่างกันของ V3 นั้น ส่วนปลายมีความหนา IMT มากที่สุดที่ความหนาเฉลี่ย $873.696 \pm 189.589 \mu\text{m}$ โดยส่วน



กลางและส่วนต้นมีความหนาเฉลี่ย 789.616±279.342 µm และ 776.07±318.741 µm น้อยลงตามลำดับ

ความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในของ V4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 310.631 ± 217.799 µm ผนังหลอดเลือดชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 357.93 ± 97.532 µm และในส่วนที่ต่างกัน ค่า IMT ของ V4 หนาที่สุดในส่วนต้น มีค่าเท่ากับ 819.949 ± 443.783 µm

ผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด V3 และ V4 พบว่าความหนาของผนังหลอดเลือด

ชั้นในใกล้เคียงกันที่ค่าเฉลี่ย 316.510±193.684 µm และ 310.631±217.799 µm ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาผนังหลอดเลือดชั้นกลางของ V3 หนากว่า V4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ค่าเฉลี่ย 496.621 ± 99.148 µm และ 357.93 ± 97.532 µm ตามลำดับ และค่า IMT ของ V3 หนากว่า V4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ค่าเฉลี่ย 813.13 ± 233.352 µm และ 668.560 ± 279.098 µm ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด tunica intima (TI) tunica media (TM) และ intima-media thickness (IMT) ของหลอดเลือด vertebral V3 และ V4

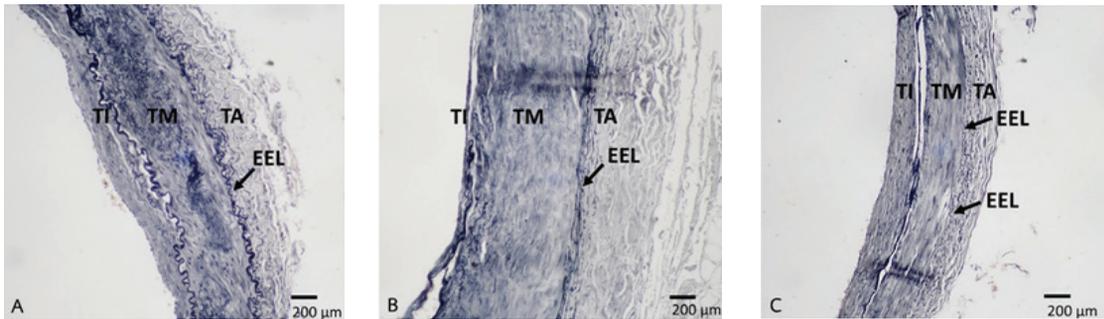
	TI (µm)	TM (µm)	IMT (µm)
Proximal			
V3	287.417±231.024	488.653±116.534	776.07±318.741
V4	402.659±402.649	417.290±109.399	819.949±443.783
Middle			
V3	287.483±246.758	502.133±109.006	789.616±279.342
V4	241.05±199.847	344.856±93.894	585.906±250.953
Distal			
V3	374.620±188.973	499.076±116.624	873.696±189.589
V4	288.183±237.928	311.64±112.765	599.823±288.575
Average			
V3	316.510±193.684	496.621±99.148	813.13±233.352
V4	310.631±217.799	357.93±97.532	668.560±279.098

ค่าเฉลี่ย±SD., * $p<0.05$, one-way ANOVA และ Mann-Whitney U test; n=4

2. ลักษณะทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4

จากการสังเกตลักษณะรูปแบบการเรียงตัวของเซลล์บุผนังหลอดเลือด มีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ส่วน IEL และ EEL แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ หยักเป็นคลื่น

(wavy) เส้นตรง (straight) และ เป็นคลื่นผสมตรง (wavy and straight) ลักษณะเส้นใยมีทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (ภาพที่ 1) โดยหลอดเลือด V3 และ V4 มีผนังหลอดเลือดชั้นในประกอบด้วย เซลล์บุผนังหลอดเลือดเรียงตัวแบบไม่ต่อเนื่องเป็นส่วนใหญ่มีลักษณะหลุด ขาดหาย หรือ



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบของ external elastic lamina (EEL) ที่อยู่ระหว่างผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) และผนังหลอดเลือดชั้นนอก (tunica adventitia; TA) มีลักษณะหยักเป็นคลื่น (A) เป็นเส้นตรง (B) และเป็นคลื่นผสมเส้นตรง (C) (Verhoeff stain, 100x)

มีการแทรกของเซลล์อักเสบชนิด lymphocytes ชั้น subendothelial ของหลอดเลือดมีความหนามากกว่า 1 ชั้น (layer) ในทุกตัวอย่าง ลักษณะของ IEL ของ V4 มีความต่อเนื่องมากกว่า V3 และส่วนใหญ่มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรงผสมกับหยักเป็นคลื่น

ผนังหลอดเลือดชั้นกลางของ V4 บางกว่า V3 อย่างชัดเจน ประกอบด้วย เซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวเป็นแนววงกลม (circular smooth muscle cell) เป็นส่วนใหญ่ มีเส้นใยคอลลาเจน (collagen fiber) แทรกตัวอยู่ นอกจากนี้ใน V3 ยังพบกล้ามเนื้อเรียบจำนวนมากติดสีเหลือง มีคอลลาเจนติดสีชมพูแทรกตัวอยู่ พบเส้นใยอีลาสติกจำนวนมากบริเวณ 2 ใน 3 ทางด้านใน EEL เห็นได้ชัดเจน ส่วนใหญ่มีลักษณะตรงผสมหยักแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วน EEL ของ V4 บางกว่า V3 โดยส่วนใหญ่พบแบบผสมระหว่างคลื่นกับเส้นตรงที่มีลักษณะค่อนข้างบางและไม่ต่อเนื่อง

ผนังหลอดเลือดชั้นนอกเป็นชั้นที่มีความหนาประกอบด้วยหลอดเลือดขนาดเล็ก เนื้อเยื่อเกี่ยวพันส่วนใหญ่เป็นเส้นใยคอลลาเจนเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นทางด้านใน

นอกจากนี้ยังพบเส้นใยอีลาสติกใน V3 มากกว่า V4 (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

3. ลักษณะพยาธิสภาพที่พบในผนังหลอดเลือดแดง vertebral ส่วนที่ 3 และ 4

หลอดเลือด V3 และ V4 มีความหนาของผนังชั้นในมากกว่า 1 ชั้น ในทุกตัวอย่างและพบการเกิด atherosclerotic plaque โดยแบ่งลักษณะของ plaque ที่พบเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ foam cell, fibrous cap, lipid core, calcification และ cholesterol cleft ในผนังหลอดเลือดแดง V3 พบพยาธิสภาพอยู่ในส่วนปลายมากที่สุด โดยในจำนวนนี้มีลักษณะแบบ foam cell เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่หลอดเลือด V4 พบพยาธิสภาพส่วนใหญ่อยู่ในส่วนต้น ซึ่งเป็นลักษณะของ foam cell และ calcification เป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 3-5)



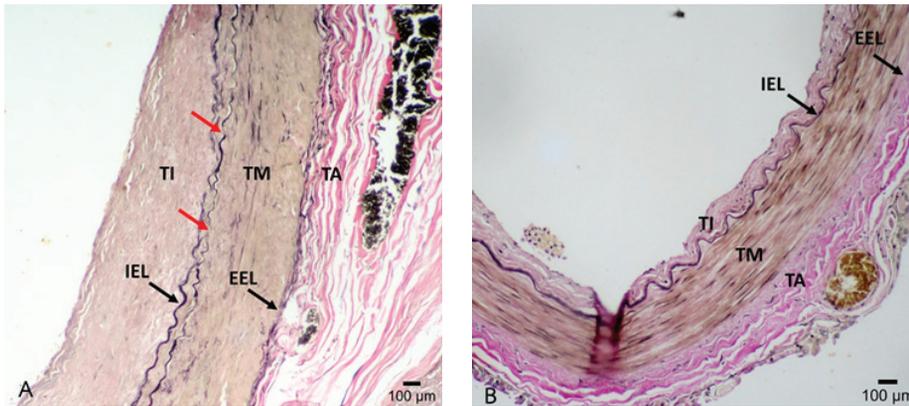
ตารางที่ 2 ร้อยละของการเรียงตัวและลักษณะโครงสร้างของ endothelium (Endo.) internal elastic lamina (IEL) และ external elastic lamina (EEL) ของหลอดเลือด vertebral ส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4

Structure	V3 (n=40)			V4 (n=40)				
	Proximal	Middle	Distal	Proximal	Middle	Distal		
	n (%)							
Endo	cont.	6 (15.0%)	8 (20.0%)	5 (12.5%)	13 (32.5%)	9 (22.5%)	14 (35.0%)	
	discont.	34 (85.0%)	32 (80.0%)	35 (87.5%)	27 (67.5%)	31 (77.5%)	26 (65.0%)	
IEL	w	cont.	-	-	3 (7.5%)	4 (10.0%)	8 (20.0%)	2 (5.0%)
		discont.	5 (12.5%)	1 (2.5%)	2 (5.0%)	3 (7.5%)	2 (5.0%)	1 (2.5%)
	s	cont.	-	-	-	2 (5.0%)	3 (7.5%)	1 (2.5%)
		discont.	-	2 (5.0%)	2 (5.0%)	3 (7.5%)	-	4 (10.0%)
	w and s	cont.	9 (22.5%)	11 (27.5%)	5 (12.5%)	14 (35.0%)	19 (47.5%)	26 (65%)
		discont.	26 (65.0%)	26 (65.0%)	28 (70.0%)	14 (35.0%)	8 (20.0%)	6 (15.0%)
EEL	w	2 (5.0%)	-	1 (2.5%)	1 (2.5%)	4 (10.0%)	2 (5.0%)	
	discont. s	6 (15.0%)	10 (25.0%)	5 (12.5%)	14 (35.0%)	11 (27.5%)	13 (32.5%)	
	w and s	32 (80.0%)	30 (75.0%)	34 (85.0%)	25 (62.5%)	25 (62.5%)	25 (62.5%)	

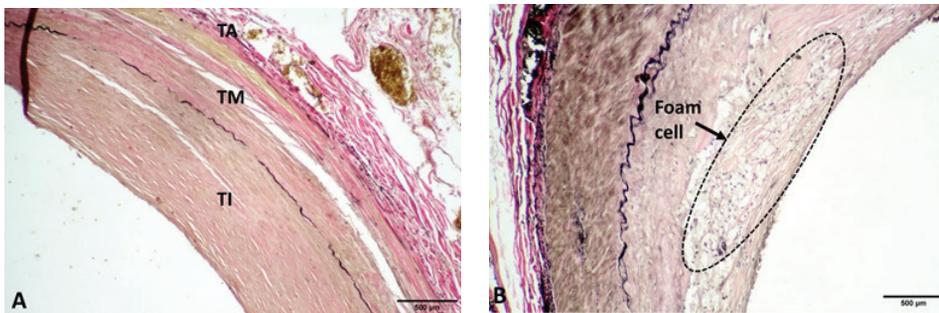
(cont.: continuous, discont.: discontinuous, w: wavy, s: straight)

ตารางที่ 3 ร้อยละลักษณะของ plaque ที่พบในผนังหลอดเลือด vertebral ส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4

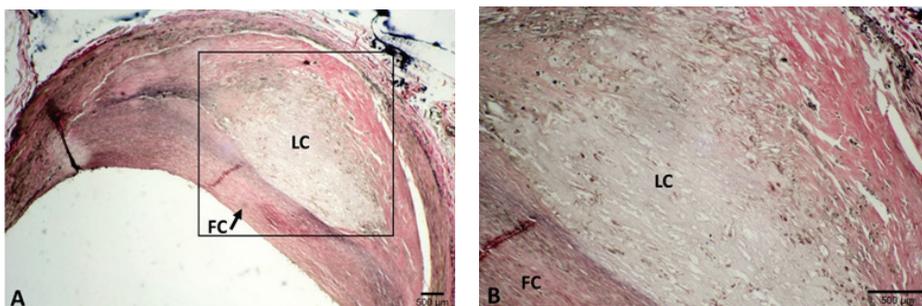
Plaque characteristics	V3 (n=40)			V4 (n=40)		
	Proximal n (%)	Middle n (%)	Distal n (%)	Proximal n (%)	Middle n (%)	Distal n (%)
Foam cell	12 (30.0%)	12 (30.0%)	14 (35.0%)	23 (57.5%)	19 (47.5%)	12 (30.0%)
Fibrous cap	5 (12.5%)	5 (12.5%)	8 (20.0%)	7 (17.5%)	4 (10.0%)	4 (10.0%)
Lipid core	4 (10.0%)	5 (12.5%)	8 (20.0%)	8 (20.0%)	4 (10.0%)	4 (10.0%)
Calcifications	-	1 (2.5%)	1 (2.5%)	22 (55.0%)	5 (12.5%)	5 (12.5%)
Cholesterol cleft	-	-	4 (10.0%)	-	2 (5.0%)	2 (5.0%)



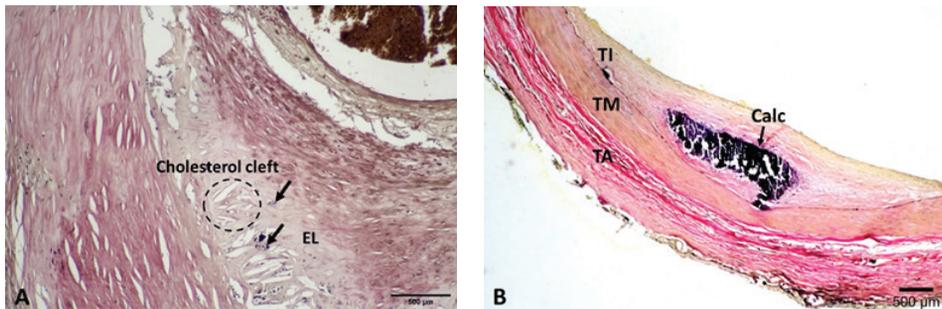
ภาพที่ 2 A: V3 ประกอบด้วยผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) หนาตัวมาก internal elastic lamina (IEL) หยักและไม่ต่อเนื่อง (ลูกศรสีแดง) ในผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) พบกล้ามเนื้อเรียบ (ติดสีเหลือง) มีคอลลาเจน (ติดสีชมพู) แทรกตัวอยู่ external elastic lamina (EEL) เห็นได้ชัดเจน มีลักษณะตรงผสมหยักแบบไม่ต่อเนื่อง และผนังหลอดเลือดชั้นนอก (tunica adventitia; TA) มีคอลลาเจนและเส้นใยอีลาสติกจำนวนมาก B: V4 ประกอบด้วยชั้นผนังหลอดเลือดชั้นในมีลักษณะหนาตัวขึ้นเล็กน้อย IEL เป็นคลื่นมีความต่อเนื่อง ผนังหลอดเลือดชั้นกลางพบกล้ามเนื้อเรียบ มีคอลลาเจนแทรกตัว EEL เห็นได้ไม่ชัดเจน และชั้นนอกสุดประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนหนาแน่นทางด้านใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



ภาพที่ 3 A: การหนาตัวของผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) ที่ประกอบไปด้วยเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (ติดสีเหลือง) เป็นส่วนใหญ่ และแทรกด้วยเส้นใยคอลลาเจน (ติดสีชมพู) B: ลักษณะของ foam cell ที่มีการสะสมภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน เซลล์มีลักษณะกลม/รี มี fat vacuoles เล็กๆ ภายในไซโทพลาสซึม (Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



ภาพที่ 4 ลักษณะของ plaque ที่อยู่ก่อนไปด้านใดด้านหนึ่ง ภายในประกอบไปด้วย fibrous cap (FC) ที่คลุม lipid core (LC) (Verhoeff-Van Gieson stain, A: 40x, B: 100x)



ภาพที่ 5 A: ลักษณะของ extracellular lipid (EL), microcalcification (ลูกศรชี้) และ cholesterol clef พบใน lipid/necrotic core B: ลักษณะของ calcification (Calc) ขนาดใหญ่ในผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) (Verhoeff-Van Gieson stain, A: 100x, B: 40x)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาโครงสร้างของผนังหลอดเลือด V3 และ V4 ในอาจารย์ใหญ่ที่มีอายุเฉลี่ย 71 ปีซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มผู้สูงอายุ พบว่ามีการหนาตัวของผนังหลอดเลือดชั้นในมากกว่า 1 ชั้นในทุกตัวอย่าง ซึ่งต่างไปจากลักษณะโดยปกติของ muscular artery ที่ผนังชั้นในบางแหงจะเห็นเซลล์บุผนังหลอดเลือดวางตัวอยู่บน IEL [7] ดังรายงานของ Rustagi และคณะ ที่ศึกษา V4 จากร่างผู้เสียชีวิตในช่วงอายุ 20-40 ปี แสดงค่าเฉลี่ยผนังหลอดเลือดชั้นในข้างขวาและข้างซ้ายเท่ากับ $19.93 \pm 8.47 \mu\text{m}$ และ $17.07 \pm 6.93 \mu\text{m}$ ตามลำดับ [13] Sato และคณะศึกษาหลอดเลือดในผู้มีอายุตั้งแต่ 8 เดือน- 92 ปี ให้ข้อมูลว่าผนังชั้นในของ V3 และ V4 อยู่ในช่วง $60 - 85 \mu\text{m}$ โดยไม่มีความต่างกันทางสถิติ [8] ในขณะที่งานวิจัยนี้พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในของ V3 กับ V4 มีค่าเฉลี่ย $316.510 \pm 193.684 \mu\text{m}$ และ $310.631 \pm 217.799 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ความหนาที่มากกว่างานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นบ่งบอกถึงความผิดปกติของผนังหลอดเลือดในลักษณะ intimal thickening และในงานวิจัยนี้ยังพบพยาธิสภาพของโรคหลอดเลือดตีบแข็งทั้ง 3 ระดับ ระดับเริ่มต้นมีการแทรกของ foam cells ในผนังหลอดเลือดชั้นใน ระดับกลางมีการเกิด atheroma และระดับรุนแรงพบการสะสมของแคลเซียม [6] โดยเชื่อว่าอายุที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างและหน้าที่ของหลอดเลือด ผลจากการวิจัยนี้พบว่าส่วนใหญ่

เซลล์บุผนังหลอดเลือดเรียงตัวแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นปัจจัยนำไปสู่การสูญเสียการทำงานของเยื่อบุผนังหลอดเลือดอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยอาจเกิดจากการลดลงของ vasodilator pathways เช่น ไนตริกออกไซด์ที่มีบทบาทในการขยายตัวของหลอดเลือด การป้องกันการเกาะกันของเกล็ดเลือด การยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อเยื่อบุผนังหลอดเลือดสูญเสียหน้าที่ไปจึงส่งผลให้ไขมันที่อยู่ในกระแสเลือด (LDL) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารที่เป็นอนุพันธ์ของออกซิเจนเปลี่ยนรูปไปเป็น oxidized LDL ส่งผลให้ผนังหลอดเลือดถูกทำลายและมีการอักเสบรุนแรงมากยิ่งขึ้นเกิดการสะสมของเซลล์ชนิดต่างๆ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ไขมัน คอเลสเตอรอล และ แคลเซียม จนผนังหลอดเลือดชั้นในหนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การอักเสบดังกล่าวกระตุ้นให้ macrophage จับกินไขมันที่สะสมอยู่ในผนังหลอดเลือด อย่างไรก็ตามเม็ดเลือดขาวเหล่านี้ไม่สามารถทำลายไขมันที่สะสมอยู่เป็นจำนวนมากได้ ทำให้เกิดการสะสมของไขมันในไซโตพลาสซึมของ macrophage เรียกว่า “foam cell” ซึ่งพบลักษณะพยาธิสภาพนี้ได้ถึงร้อยละ 30 ในทุกส่วนของ V3 และ V4 โดยความเครียดและการอักเสบจากการรับประทานอาหารและการตายของเซลล์อาจมีส่วนต่อการทำหน้าที่ของหลอดเลือดที่น้อยลง เมื่อหลอดเลือดมีการอักเสบมากขึ้นส่งผลให้เกิดการตายของ foam cells บางส่วน มีการปลดปล่อยไขมันออกมา แล้วเกิดปฏิกิริยากลายเป็น

oxidized forms ทำให้มีเศษเซลล์ปนกับ cholesterol crystals ร่วมกับ เซลล์บุผนังหลอดเลือด, กล้ามเนื้อเรียบ และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ โดยการตายของเซลล์เหล่านั้นบริเวณตรงกลางเรียก lipid/necrotic core และมีการเคลื่อนตัวของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบจากผนังหลอดเลือดชั้นกลางแล้วแบ่งตัวเพิ่มในผนังชั้นใน เกิดการสังเคราะห์และปล่อยคอเลสเตอรอลและโปรตีนโกลบูลินร่วมกับอิลาสตินและเซลล์อื่นๆ กลายเป็น fibrous cap คลุมอยู่ด้านบน ทำให้เกิดรอยโรคบริเวณผนังหลอดเลือดเรียกว่า “atherosclerotic plaque” ส่งผลต่อการไหลเวียนของเลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ได้น้อยลง [6, 15-17] ซึ่งในงานวิจัยนี้พบลักษณะพยาธิสภาพที่มีความรุนแรงมากเป็นจำนวนรองลงมา ในระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงนอกจาก atheroma เช่นเกิด intimal ulceration เมื่อเนื้อเยื่อเสียหายจะเกิดการซ่อมแซมในลักษณะ fibrosis scar และเกิดการชักนำให้เกลือแคลเซียมมาเกาะ โดยในงานวิจัยนี้พบลักษณะ calcification ใน V4 ส่วนต้น มากถึงร้อยละ 55 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jonas และคณะ ที่พบว่าเกิดการเกิด calcification เป็นสิ่งที่พบได้บ่อยในหลอดเลือดแดงในสมองโดยพบมากที่สุดที่หลอดเลือด intracranial internal carotid และความชุกจะเพิ่มขึ้นตามอายุ [18]

Desai และคณะ รายงานว่า IEL ของผนังหลอดเลือด V4 มีความหยักน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ VA ส่วนอื่นๆ [3] ในขณะที่ Sato และคณะ พบความผิดปกติของ IEL มากที่สุดในส่วนปลายของ V3 ซึ่งพบในตัวอย่างที่มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไปเท่านั้น [8] เป็นไปในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว IEL และ EEL มีการเรียงตัวลักษณะเป็นเส้นตรงผสมกับหยักเป็นคลื่นโดยลักษณะของเส้นใยที่ยืดตรงหรือมีการขาดเป็นท่อนไม่มีความต่อเนื่องของเส้นใยเป็นบางส่วนอาจเกิดจากอายุที่มากขึ้นทำให้เกิดความเสื่อมของอิลาสติน ส่งผลให้ความสามารถในการคืนตัวลดลง

Desai และคณะ และ Sato และคณะ ได้ให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นกลางโดยรายงานว่าส่วนที่หนาที่สุดอยู่ช่วงปลายของ V3 [3, 8] เช่น

เดียวกันกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า ความหนาผนังหลอดเลือดชั้นกลางของ V3 หนากว่า V4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในผนังหลอดเลือดชั้นกลางประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เรียงตัวเป็นแนววงกลมเป็นส่วนใหญ่ พบเส้นใยอีลาสติกแทรกตัวอยู่ในผนังชั้นกลางของ V3 ได้ชัดเจนกว่า V4 เนื่องจากหลอดเลือดแดง V3 มีเส้นใยอีลาสติกจำนวนมากเพื่อชดเชยผลกระทบจากการถูกยืดในขณะที่มีการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลังส่วนคอ V3 สัมผัสกับแรงเฉือนและแรงดึงบริเวณตำแหน่งที่ออกจากกระดูกคอ C2 โดยถูกยืดในขณะที่เอียงคอไปด้านข้างและงอระหว่างการทำหมอนคอ [19, 20]

นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการนำค่าความหนาผนังหลอดเลือดชั้นในรวมกับชั้นกลางเพื่อแสดงค่า IMT ซึ่งทางคลินิกมีการตรวจหาความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในและชั้นกลางเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการบ่งชี้ภาวะหลอดเลือดตีบแข็ง ดังข้อมูลสนับสนุนที่ว่าความหนาของผนังหลอดเลือดมีความสัมพันธ์กับภาวะหลอดเลือดแดงเสื่อมจากไขมันแทรกที่ผนังหลอดเลือด [21] ทั้งนี้ Jadhav และคณะ รายงานว่าผู้ที่มีความหนาของผนังหลอดเลือดชั้น IMT ในหลอดเลือด carotid มากกว่า 0.8 mm จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและสมองมากขึ้น [10] Jovanikic และคณะ ได้รายงานค่า IMT ของ V1 ในผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 0.78 ± 0.248 mm และมีหลายงานวิจัยที่สำรวจผลกระทบของอายุที่มากขึ้นต่อโครงสร้างของหลอดเลือดแดง ข้อสังเกตที่พบคือการเพิ่มขึ้นของความหนา IMT ของผนังหลอดเลือดแดงเกี่ยวข้องกับอายุ ดังรายงานที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของ carotid IMT มีความสัมพันธ์กับอายุที่มากขึ้นทั้งในผู้ชายและผู้หญิง [21-23] และความชราามีผลต่อความหนาที่มากขึ้นของ IMT ในหลอดเลือด femoral [24] โดยในงานวิจัยนี้พบว่าค่าเฉลี่ย IMT ของ V3 และ V4 ที่ความหนา 813.13 ± 233.352 μ m และ 668.560 ± 279.098 μ m ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผนังหลอดเลือดที่มีการหนาตัวขึ้น หากเปรียบเทียบตลอดความยาวของหลอดเลือด V3 และ V4 พบว่าส่วนปลายของ V3 มีการหนาตัวของผนังหลอดเลือด



มากที่สุด สอดคล้องกับการพบพยาธิสภาพในส่วนปลายมากกว่าส่วนอื่น อาจเนื่องมาจากส่วนปลายของ V3 เป็นส่วนที่ต่อมาจากการโค้งงอของหลอดเลือดในทิศทางเกือบตั้งฉากก่อนที่จะเข้าสู่เยื่อหุ้มสมองชั้นนอก เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทาง การไหลของเลือดอย่างกะทันหันทำให้เกิดการบาดเจ็บของผนังหลอดเลือด นำไปสู่การเกิด plaque และมีการปรับตัวให้ผนังหลอดเลือดหนาขึ้น

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของผนังหลอดเลือด V3 และ V4 ในผู้สูงอายุชาวไทย ที่มีการหนาตัวของผนังหลอดเลือดชั้นใน ค่าเฉลี่ย IMT ของ V3 และ V4 มีความหนามากกว่าปกติ และฮิสทอสตินมีความเสื่อม ยึดออกและแตกหัก ประกอบกับการพบ foam cell ถึงร้อยละ 30 ในทุกส่วนของ V3 และ V4 ข้อมูลการหนาตัวของผนังหลอดเลือดและรอยโรคดังกล่าวบ่งบอกถึงความเสี่ยงในการเกิดภาวะสมองขาดเลือดจากหลอดเลือดตีบหรือตัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์โรคหลอดเลือดและเป็นข้อมูลในการระวังและป้องกันการบาดเจ็บที่จะอาจจะเกิดขึ้นกับหลอดเลือดได้ ทั้งนี้ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคหลอดเลือด VA ในกลุ่มตัวอย่างที่มีโรคประจำตัว ช่วงอายุ เพศ หรือเชื้อชาติที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ใหญ่ที่ได้อุทิศร่างกายเพื่อเป็นวิทยาทานให้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าในงานวิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติในการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Aggarwal P, Datta I, Ganguly S, Pal A, Bharati S, Verma M. Histological study of medium sized artery of neck in relation with their pulse pressure and pulsatory power. J Evol Med Dent Sci 2014;3(66):14270-7.
- Kornieieva MA, Al-Hadidi AM. Morphology of vertebral artery in Asian Population. Asian J Med Sci 2014;5(4):84-8.
- Desai AR, Chavan SK. Histo-Mophometric study of various segments of vertebral artery in human cadavers. Int J Anat Res 2019;7(1.1):6102-7.
- Rawal JD, Doshi BD, Patel MD, Patel DV, Jadav HR. Histomorphometric comparison of first and fourth part of vertebral artery in Indian. Indian J Clin Anat Physiol 2017;4(4):517-20.
- Bhadkaria V, Chawre HK, Joshi SS, Joshi SD. Histological variations in various segments of vertebral artery. J Evol Med Dent Sci 2016;5(2):120-6.
- คันสนีย์ วงศ์ไวศยวรรณ. ตำราพยาธิวิทยากายวิภาค. เล่ม1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เดือนตุลา; 2555.
- Ross MH, Pawlina W. Histology: A Text and Atlas, with Correlated cell and molecular biology. 6th ed. Baltimore: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- Sato T, Sasaki T, Suzuki K, Matsumoto M, Kodama N, Hiraiwa K. Histological study of the normal vertebral artery etiology of dissecting aneurysms. Neurol Med Chir (Tokyo) 2004;44:629-36.
- ลิวรรณ อุนนาภิรักษ์ และ คณะ. พยาธิสรีรวิทยาทางการพยาบาล. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์บุญศิริการพิมพ์; 2550.
- Jadhav UM, Kadam NN. Carotid intima-media thickness as an independent predictor of coronary artery disease. Indian Heart J 2001;53(4):458-62.



11. Rawal JD, Jadav HR. Histomorphometric comparison of diameter of right and left vertebral arteries. *Natl J Med Res* 2012;2(03):260-3.
12. Rustagi SM, Bharihoke V. Intracranial human vertebral artery: a histomorphological study. *Int J Cur Res Rev* 2013;5(12):89-96.
13. Macchi C, Giannelli F, Cecchi F, Gulisano M, Pacini P, Corcos L, et al. The inner diameter of human intracranial vertebral artery by color Doppler method. *Ital J Anat Embryol* 1996;101(2):81-7.
14. Watcharasakul K. Cervical artery dissection. *J Thai Stroke Soc* 2016;15(1):19-31.
15. รุ่งรัตน์ นิลธเสน. ไนตริกออกไซด์กับโรคหลอดเลือดตีบแข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ-2559*;2(1):71-9.
16. Thijssen DH, Carter SE, Green DJ. Arterial structure and function in vascular ageing: are you as old as your arteries?. *J Physiol* 2016;594(8):2275-84.
17. เจตนา เรื่องประทีป. สารระสำคัญเกี่ยวกับพยาธิวิทยาของหลอดเลือด. *Asian Arch Pathol* 2019;1(2):13-33.
18. Jonas W, Tim C, Hecke VW, Willem P, Spiering W, Huiberdina L, et al. Intracranial Arterial Calcification: Prevalence, Risk Factors, and Consequences: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol* 2020;76(13):1595-604.
19. Johnson CP, Baugh R, Wilson CA, Burns J. Age related changes in the tunica media of the VA: implications for the assessment of vessels injured by trauma. *J Clin Pathol* 2001;54(2):139-45.
20. Kumar K. Microstructure of human arteries. *J Anat Soc India* 2001;3:137-40.
21. Engelen L, Ferreira I, Stehouwer CD, Boutouyrie P, Laurent S. Reference intervals for common carotid intima-media thickness measured with echotracking: relation with risk factors. *Eur Heart J* 2013;34(30):2368-80.
22. Jovanikić O, Lepić T, Raicević R, Veljancić D, Ristić A, Gligić B. Intimomedial thickness of the vertebral arteries complex: a new useful parameter for the assessment of atherosclerotic process?. *Vojnosanit Pregl* 2011;68(9):733-8.
23. Homma S, Hirose N, Ishida H, Ishii T, Araki G. Carotid plaque and intima-media thickness assessed by b-mode ultrasonography in subjects ranging from young adults to centenarians. *Stroke* 2001;32(4):830-5.
24. Dinunno FA, Jones PP, Seals DR, Tanaka H. Age-associated arterial wall thickening is related to elevations in sympathetic activity in healthy humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000;278(4):1205-10.



การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงโคโรนารี
จากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย
Histological study of coronary artery in Thai cadavers

ระพีพันธุ์ ศิริเดช* และ ภาสินี สงวนสิทธิ์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
สมุทรปราการ 10540

Rapipan Siridet* and Pasinee Sangunsit

Division of Biological Science, Faculty of Science and Technology,
Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

Received: 30 May 2022/ Revised: 26 August 2022/ Accepted: 5 September 2022

บทคัดย่อ

โรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก และพบว่าการเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็ง (atherosclerosis) ในหลอดเลือดแดงโคโรนารี (coronary artery) มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในผู้สูงอายุ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคและความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย (left coronary artery) และด้านขวา (right coronary artery) จากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทยจำนวน 20 ร่าง อายุ 52-101 ปี ด้วยการย้อมสี Hematoxylin และ eosin และ Verhoeff-Van Gieson พบว่าผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima) ของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านขวามีความหนามากกว่าผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบการสะสมของ foam cell เป็นจำนวนมากภายในผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังพบการเกิด plaque ในลักษณะอื่นๆ ได้แก่ lipid core, fibrous cap, calcifications และ cholesterol cleft และพบความผิดปกติของ internal และ external elastic lamina ที่มีลักษณะเป็นแนวตรง เรียงตัวซ้อนกัน แตกเป็นเศษ ๆ และขาดหลุดจากกัน แสดงให้เห็นว่าอายุ 50 ปีขึ้นไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือด ซึ่งอาจจะนำไปสู่การเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็งได้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและการเฝ้าระวังการเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็งได้

คำสำคัญ: หลอดเลือดแดงโคโรนารี จุลกายวิภาค อาจารย์ใหญ่ ผนังหลอดเลือด ผนังหลอดเลือดชั้นใน

Abstract

Cardiovascular disease is the leading cause of death for people worldwide and found that the incidence of atherosclerosis in the coronary arteries is sharply increasing in the elderly. The objectives of this research were to study the histology and arterial wall thickness of the left and right coronary artery of 20 Thai cadavers aged 52–101 years with Hematoxylin and eosin staining and Verhoeff-Van Gieson. The thickness of the tunica intima of the right coronary artery was significantly thicker than the tunica media ($p < 0.05$), and large accumulations of foam cells were found in the wall of left and right coronary arteries. Other plaques included the lipid core, fibrous cap, calcifications, and cholesterol cleft, and abnormalities of the internal and external elastic lamina were observed, there were straight, reduplication, stretch, and fraying. It was shown that people aged over 50 will have histological changes to the arterial wall. This may lead to the development of atherosclerosis. The results of this research will be the basis of information that can be applied in risk assessment and surveillance of coronary artery disease.

Keywords: Coronary artery, Histology, Cadaver, Arterial wall, Tunica intima

บทนำ

โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Diseases; CVDs) เป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก พบอัตราการเสียชีวิตมากถึงร้อยละ 31 และในประเทศไทยจากข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขพบว่าโรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรเป็นลำดับที่ 2 รองจากโรคมะเร็ง การหนาตัวของผนังหลอดเลือด (arterial wall thickening) เป็นพยาธิสภาพเริ่มต้นของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด เช่น โรคหลอดเลือดตีบแข็ง (atherosclerosis) โรคหลอดเลือดสมอง (stroke) การหนาตัวของผนังหลอดเลือดเกิดจากความผิดปกติของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (endothelial cells; ECs) ซึ่งปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลต่อการเกิดความผิดปกติดังกล่าวมาจากหลายสาเหตุ เช่น อายุ เพศ ไขมันในเลือดสูง รับประทานอาหารที่มีคอเลสเตอรอลและไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ หรือ low density lipoprotein (LDL) สูง ความดันโลหิตสูง สูบบุหรี่ เป็นต้น [1, 2]

การเกิดภาวะตีบแข็งของหลอดเลือดมักเกิดขึ้นบริเวณหลอดเลือดแดงขนาดใหญ่และขนาดกลาง เช่น หลอดเลือดแดงโคโรนารี (coronary artery) และหลอดเลือดแดง

คาโรติด (carotid artery) เป็นต้น [3] การตีบแคบของหลอดเลือดบริเวณหัวใจจะส่งผลให้ผู้ป่วยเสียชีวิตจากภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด ซึ่งพยาธิกำเนิดของโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (coronary artery disease) ส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมของไขมันชนิดไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และก่อให้เกิดการอักเสบแบบเรื้อรังภายในผนังหลอดเลือด [4] โดยอนุภาคของไขมันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น oxidized-LDL ด้วยเอนไซม์ที่อยู่ภายในร่างกาย ทำให้อนุภาคของไขมันเป็นพิษต่อเซลล์มากขึ้นส่งผลให้ผนังหลอดเลือดอักเสบ [5] รวมทั้งมีการเพิ่มจำนวนและการเคลื่อนที่ของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle cells; SMCs) จากผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media) ไปยังผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima) ซึ่งในสภาวะปกติจะไม่พบ SMCs ในบริเวณดังกล่าว การอักเสบแบบเรื้อรังภายในผนังหลอดเลือด ทำให้มีการตายของเซลล์ชนิดต่าง ๆ เช่น ECs, SMCs, macrophage เกิดเป็นรอยโรคที่เรียกว่า “atherosclerotic plaque” ส่งผลให้เกิดการตีบแคบของหลอดเลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจได้น้อยลงซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้ [6] การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือดเพื่อศึกษาพยาธิกำเนิดของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีใน



ประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากการศึกษาลักษณะดังกล่าวมีข้อจำกัดในการเก็บตัวอย่างในกลุ่มประชากรที่มีชีวิต และข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายที่สูง รวมถึงเรื่องการรักษาสิทธิของผู้ป่วย [7] งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีจากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทยที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป ด้วยวิธีการย้อม Hematoxylin และ eosin และการย้อม Verhoeff-Van Gieson stain โดยคาดว่าจะพบความผิดปกติหรือพยาธิสภาพภายในผนังหลอดเลือด ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและการเฝ้าระวังการเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็งได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บหลอดเลือด

นำหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย (left coronary artery) และด้านขวา (right coronary artery) ออกจากหัวใจของร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทยจำนวน 20 ร่าง ประกอบด้วยเพศชาย 12 ร่างและเพศหญิง 8 ร่าง อายุเฉลี่ย 71.60 ± 12.06 ปี เป็นร่างที่ผ่านการดองสมบูรณ์ ไม่มีบาดแผลที่บริเวณหน้าอก ไม่มีการผ่าตัดหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ และหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ไม่มีความเสียหาย จากนั้นนำหลอดเลือดมาตัดในแนวภาคตัดขวาง (cross section) ให้มีความหนาที่อนละเอียดประมาณ 0.5 เซนติเมตร และแช่ในน้ำยาฟอร์มาลิน (10% neutral buffer formalin) เป็นเวลา 24

ชั่วโมง ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำการศึกษาดูต่อไป

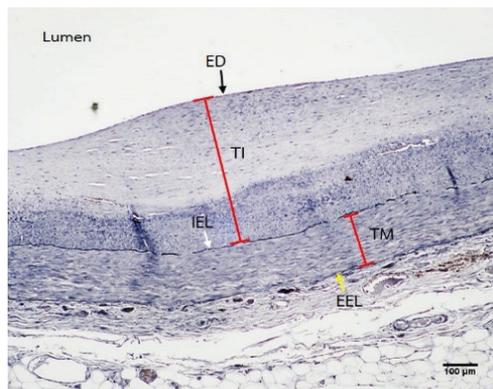
2. การเตรียมเนื้อเยื่อ

นำหลอดเลือดที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยน้ำยาฟอร์มาลิน (10% neutral buffer formalin) ไปผ่านกระบวนการเตรียมเนื้อเยื่อ (tissue processing) จากนั้นนำไปย้อมด้วยสี Verhoeff-Van Gieson เพื่อศึกษาความหนาของผนังหลอดเลือดและย้อม Hematoxylin และ Eosin เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาค พยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3. การศึกษาความหนาของผนังหลอดเลือด (arterial wall thickness)

หลอดเลือดที่ผ่านการย้อมด้วยสี Verhoeff's Elastic stain ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างต่อไปนี้

- วัดความหนาของผนังหลอดเลือด 2 ชั้นได้แก่ผนังหลอดเลือดชั้นในและผนังหลอดเลือดชั้นกลาง โดยมีจุดอ้างอิงการวัดทั้งหมด 8 จุด โดยแบ่งช่วงให้ครอบคลุมผนังหลอดเลือดทั้งวง และทำการวัด 3 ซ้ำต่อ 1 จุด โดยวิธีการวัดผนังหลอดเลือดในชั้น (tunica intima; TI) จะเริ่มวัดจากชั้น endothelium (ED) ไปถึง internal elastic lamina (IEL) ส่วนผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) จะเริ่มจาก internal elastic lamina (IEL) ไปยัง external elastic lamina (EEL) แสดงจุดการวัดได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) วัดจาก endothelium (ED) ถึง internal elastic lamina (IEL) และผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) วัดจาก internal elastic lamina (IEL) ถึง external elastic lamina (EEL)



4. การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคและลักษณะทางพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือด

ศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคและพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ที่ผ่านการย้อมด้วยสี Hematoxylin และ Eosin รวมทั้งลักษณะความผิดปกติและรูปแบบการเรียงตัวของ internal และ external elastic lamina

5. การเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยรายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาของผนังหลอดเลือดและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ด้วยสถิติ Paired t-test ในกรณีที่มีข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ หรือ Wilcoxon signed rank test ในกรณีที่มีข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ที่ค่า p-value < 0.05

ผลการวิจัย

1. ผลความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา และการเปรียบเทียบความหนาของผนังแต่ละชั้นในหลอดเลือดข้างเดียวกัน

พบผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน เท่ากับ $1,338.397 \pm 1,056.073 \mu\text{m}$ ส่วนผนังหลอดเลือดชั้นกลาง

มีค่าเฉลี่ยความหนา $917.936 \pm 307.395 \mu\text{m}$ โดยจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน มีความหนามากกว่าผนังหลอดเลือดชั้นกลาง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านขวาชั้นใน จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีค่า $1,501.912 \pm 584.257 \mu\text{m}$ ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นกลาง ที่มีค่า $597.032 \pm 190.414 \mu\text{m}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001) แสดงผลได้ดังตารางที่ 1

2. ผลการเปรียบเทียบความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา

ค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีค่า $1,338.397 \pm 1,056.073 \mu\text{m}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านขวา ที่มีค่าเฉลี่ยความหนา $1,501.912 \pm 584.257 \mu\text{m}$ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นกลางของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย มีค่า $917.936 \pm 307.395 \mu\text{m}$ ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านขวา ที่มีค่า $597.032 \pm 190.414 \mu\text{m}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ค่า p-value < 0.05 แสดงผลได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย (left coronary artery) และด้านขวา (right coronary artery)

Arterial wall	Left coronary (μm)	Right coronary (μm)
Tunica intima	$1,338.397 \pm 1056.073$	$1,501.912 \pm 584.257$
Tunica media	917.936 ± 307.395	$597.032 \pm 190.414^*, **$

ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, *p<0.05 เปรียบเทียบกับ tunica media ข้างซ้าย, **p<0.001 เปรียบเทียบกับ tunica intima ข้างเดียวกัน,

Paired t-test, Wilcoxon signed rank test; n=20



3. ลักษณะทางพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดง หลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา

ผลการศึกษาทางลักษณะทางพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา พบว่าผนังหลอดเลือดชั้นในมีการหนาตัว ซึ่งเกิดจากการแทรกตัวของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ จากผนังหลอดเลือดชั้นกลางจำนวนมาก (ภาพที่ 2) พบเซลล์อักเสบสะสมภายในผนังหลอดเลือดจำนวนมาก (ภาพที่ 3) และมี plaque เกิดขึ้นภายในผนังหลอดเลือด พบ foam cells จำนวนมากส่วนใหญ่แทรกตัวอยู่ในผนังหลอดเลือดชั้นใน ซึ่งเป็นกลุ่มของ macrophage ที่จับกินไขมันทำให้เซลล์มีช่องว่างสีขาวที่เรียกว่า fat vacuoles จำนวนมากอยู่ภายใน cytoplasm (ภาพที่ 4) บางบริเวณพบการเกิด atheromatous plaque คือ ประกอบด้วย fibrous cap กลุ่ม lipid core (ภาพที่ 5) ซึ่งเกิดการสะสมของไขมันจำนวนมากภายใน extracellular matrix เกิดเป็น extracellular lipid pools นอกจากนี้บางบริเวณพบ apoptotic smooth muscle cells

(ภาพที่ 6) สะสมอยู่ภายในเกิดเป็น necrotic core และพบหินปูนแคลเซียม (calcification) อยู่ภายใน lipid core ที่แทรกอยู่ในผนังหลอดเลือดชั้นใน (ภาพที่ 7) โดยพบหินปูนแคลเซียมยื่นตัวตันผนังหลอดเลือดชั้นใน เข้าไปใน lumen ของหลอดเลือด (ภาพที่ 8) บางตัวอย่างพบการเกิดหินปูนแคลเซียมยื่นขยายเข้าไปในผนังหลอดเลือดชั้นกลาง และบางตัวอย่างเกาะอยู่ด้านในของ endothelium ซึ่งเป็นด้านที่อยู่ชิดกับ lumen นอกจากนี้บริเวณที่มี plaque ยังพบ cholesterol cleft (ภาพที่ 9) ส่วนผนังหลอดเลือดชั้นกลางพบการแทรกตัวของเส้นใยคอลลาเจน (collagen fiber) จำนวนมากและพบเส้นใยอีลาสติก (elastic fiber) ที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์ ขาดเป็นเส้นสั้น ๆ กระจายอยู่ในผนังหลอดเลือดชั้นกลาง และยังพบเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ที่มีรูปร่างและการเรียงตัวที่ผิดปกติไม่เป็นระเบียบ (ภาพที่ 10) จากการศึกษาลักษณะของ plaque ภายในผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวาพบลักษณะของ plaque ภายในผนังหลอดเลือดแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของ plaque ที่พบในผนังของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้าย (left coronary artery) และด้านขวา (right coronary artery)

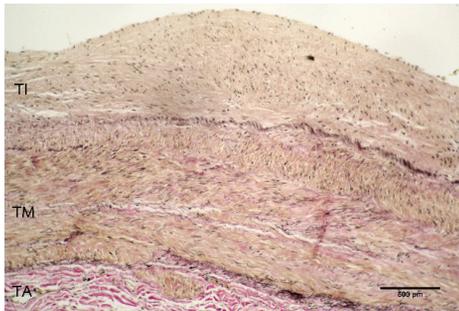
Artery	ลักษณะของ plaque				
	Foam cell (%)	Fibrous cap (%)	Lipid core (%)	Calcification (%)	Cholesterol cleft (%)
Left coronary	19 (95.00%)	14 (70.00%)	18 (90.00%)	9 (45.00%)	6 (30.00%)
Right coronary	20 (100.00%)	18 (90.00%)	15 (75.00%)	10 (50.00%)	3 (15.00%)

จากการศึกษา internal elastic lamina และ external elastic lamina พบลักษณะความผิดปกติของ elastic lamina ภายในหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ได้แก่มีการเรียงตัวซ้อนกัน (reduplication)

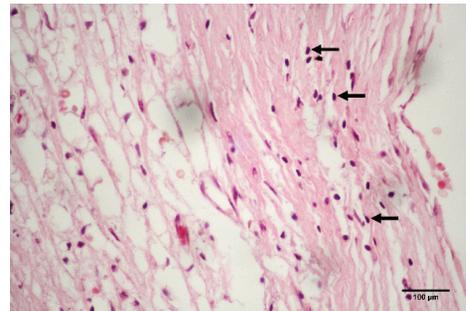
แตกเป็นเศษ ๆ (fragmentation) และขาดจากกัน (fraying) (ภาพที่ 11) และพบว่ามี การเรียงตัวทั้งรูปแบบตรง (straight) และคลื่นผสมตรง (wave + straight) ซึ่งส่วนใหญ่พบว่ามีลักษณะเป็นแนวตรง (ภาพที่ 12) แสดงผลได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะรูปแบบการเรียงตัวของ internal elastic lamina และ external elastic lamina

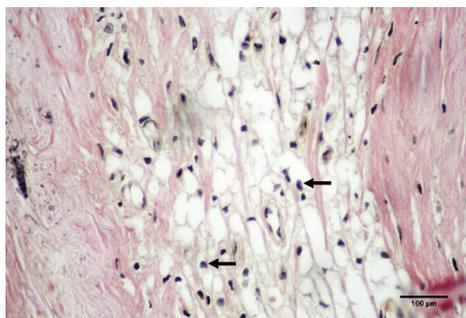
		Left coronary	Right coronary
Internal elastic lamina	Straight	14 (70.00%)	13 (65.00%)
	Wave+ straight	6 (30.00%)	7 (35.00%)
External elastic lamina	Straight	15 (75.00%)	17 (85.00%)
	Wave+ straight	5 (25.00%)	3 (15.00%)



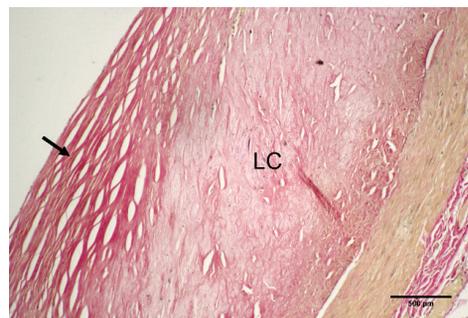
ภาพที่ 2 แสดงการหนาตัวของผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) จากการแทรกตัวของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เคลื่อนตัวขึ้นไปจากผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) (Tunica adventitia : TA, Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



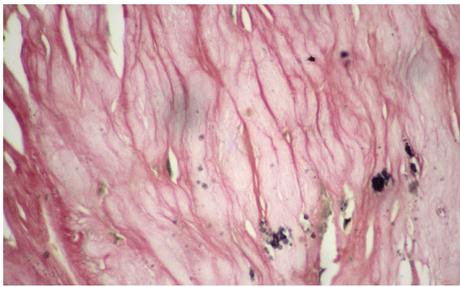
ภาพที่ 3 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีที่มีเซลล์อักเสบ (ลูกศรสีดำ) สะสมอยู่ภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน จำนวนมาก (H&E, 400x)



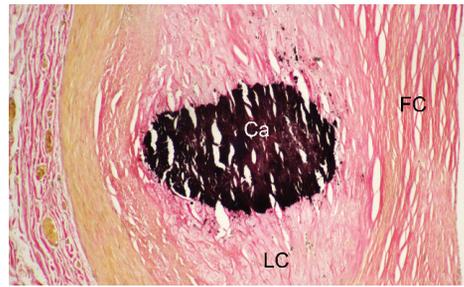
ภาพที่ 4 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบ foam cells (ลูกศรสีดำ) จำนวนมากแทรกตัวอยู่ในผนังหลอดเลือดชั้นใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 400x)



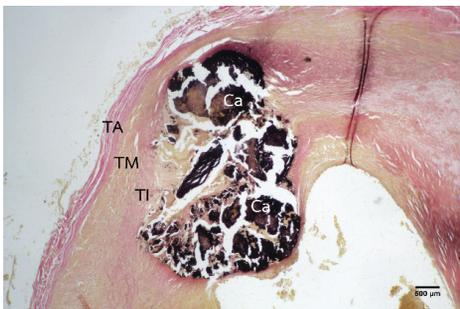
ภาพที่ 5 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบ fibrous cap (ลูกศรสีดำ) คลุม lipid core (LC) ที่สะสมอยู่ภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



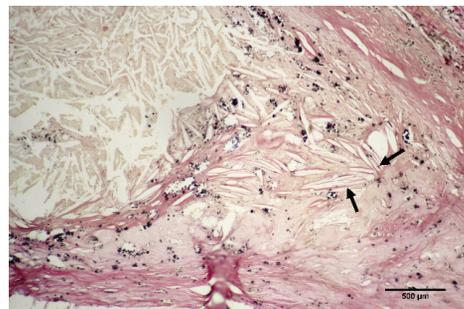
ภาพที่ 6 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบ extracellular lipid pools, apoptotic smooth muscle cells สะสมอยู่ในผนังหลอดเลือดชั้นใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 400x)



ภาพที่ 7 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบการเกิดหินปูนแคลเซียม (calcification; Ca) อยู่ภายใน lipid core (LC) ที่ถูกคลุมด้วย fibrous cap (FC) ภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



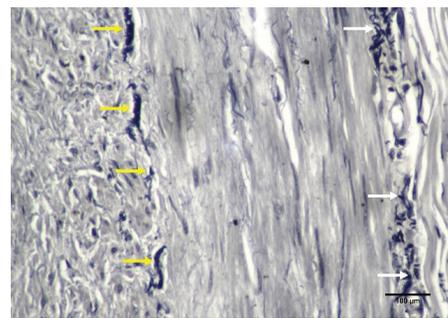
ภาพที่ 8 แสดงการเกิดหินปูนแคลเซียม (calcification; Ca) ภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน (tunica intima; TI) จะเห็นหินปูนแคลเซียมขนาดใหญ่ยื่นตัวตันเข้ามาใน lumen ของหลอดเลือด (Tunica media : TM, Tunica adventitia : TA, Verhoeff-Van Gieson stain, 40x)



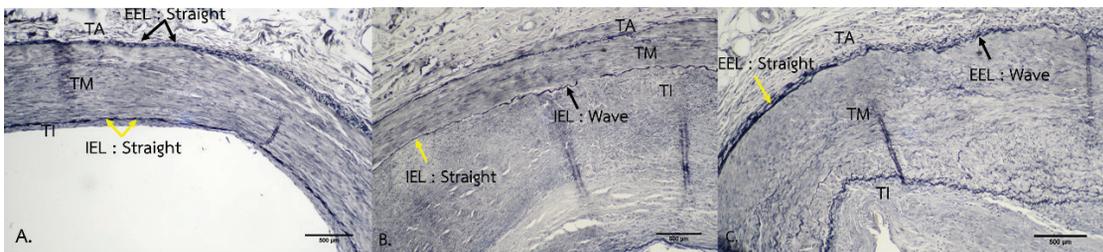
ภาพที่ 9 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบ cholesterol clefts ที่มีลักษณะเป็นช่องว่างรูปกระสวย (ลูกศรสีดำ) และ microcalcification ที่มีลักษณะเป็นก้อนสีดำ ๆ ขนาดเล็กกระจายอยู่ใน atherosclerotic plaque ของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



ภาพที่ 10 แสดงพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารี โดยพบการเรียงตัวที่ผิดปกติ ไม่เป็นระเบียบของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบภายในผนังหลอดเลือดชั้นกลาง (tunica media; TM) รวมทั้งเซลล์มีรูปร่างที่ผิดปกติ (Tunica intima: TI, Tunica adventitia: TA, Verhoeff-Van Gieson stain, 100x)



ภาพที่ 11 แสดงลักษณะพยาธิสภาพของ internal elastic lamina และ external elastic lamina ที่มีการแตกเป็นเศษเล็ก ๆ แยกจากกัน ทำให้มีการเรียงตัวที่ไม่ต่อเนื่องของทั้ง internal (ลูกศรสีเหลือง) และ external elastic lamina (ลูกศรสีขาว) (Verhoeff's Elastic stain, 400x)



ภาพที่ 12 แสดงลักษณะการเรียงตัวของ internal elastic lamina (IEL) และ external elastic lamina (EEL) ของหลอดเลือดแดงโคโรนารี (A) IEL & EEL แบบแนวตรง (straight) (B) IEL แบบคลื่นผสมตรง (wave + straight) (C) EEL แบบคลื่นผสมตรง (wave + straight) (Tunica intima: TI, Tunica media: TM, Tunica adventitia: TA, Verhoeff's Elastic stain, 100x)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความหนาของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา จากร่างอาจารย์ใหญ่ชาวไทย จำนวน 20 ร่างที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป พบการหนาตัวของผนังหลอดเลือดชั้นในของหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Deopujar และ Dixit [8] ที่พบว่าผนังหลอดเลือดชั้นในมีความหนาเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่อายุ 40 ปีขึ้นไป ซึ่งอาจจะนำไปสู่การเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็ง [8] เนื่องจากเมื่ออายุมากขึ้นจะทำให้เกิดภาวะ oxidative stress และพบ inflammatory proteins ในเลือดสูงขึ้น [9] ทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความผิดปกติ (endothelial dysfunction) ในผู้สูงอายุทั้งเพศชายและเพศหญิง ส่งผลให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดหลังไนตริกออกไซด์ลดลงและเกิดการเคลื่อนตัวของเซลล์เม็ดเลือดขาวเข้ามาในผนังหลอดเลือดบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บหรืออักเสบมากขึ้น ทำให้ผนังหลอดเลือดชั้นในหนาตัว เรียกลักษณะดังกล่าวว่า pathological intimal thickening หรือ PIT และพัฒนาไปเป็น fibroatheroma stage [10] และผลจากการสร้างไนตริกออกไซด์ลดลง จะทำให้หน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือดในการเป็นผนังกั้นให้กับผนังหลอดเลือดผิดปกติ สารไขมันจึงสามารถซึมผ่านจาก lumen เข้าไปในผนังหลอดเลือดได้ และยิ่งไปกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบแบ่งตัวเพิ่มจำนวนมากขึ้น และเคลื่อนตัวไปยังผนังหลอดเลือดชั้นใน ทำให้เกิดการหนาตัวของผนังหลอดเลือดจนเกิดการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือด [11, 12] จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าความผิดปกติในการทำหน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือดถือเป็นจุดเริ่มต้นของการหนาตัวของผนังหลอดเลือด

จากการศึกษาลักษณะทางพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา พบ plaque ภายในผนังหลอดเลือดชั้นใน ดังนี้คือ foam cell, fibrous cap, lipid core, calcifications และ cholesterol cleft โดยจะพบ foam cells มากที่สุดทั้งในหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhanvadia และคณะ [13] ที่ได้ศึกษาลักษณะพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงด้านซ้ายหน้า (left anterior descending; LAD), หลอดเลือดแดงด้านซ้ายข้าง (left circumflex artery; LCA) และหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านขวา (right coronary artery; RCA) ในผู้ที่เสียชีวิต อายุอยู่ในช่วง 8-79 ปี ผลจากการศึกษาพบรอยโรคของผนังหลอดเลือดในระยะ intimal xanthoma มากที่สุดในช่วงกลุ่มอายุ 40-49 ปี ซึ่งเป็นระยะที่มีการสะสมของ foam cells จำนวนมากบริเวณ lumen ของหลอดเลือด แต่ไม่พบ necrotic core หรือ fibrous cap และไม่มีการ thrombosis ส่วนในช่วงกลุ่มอายุ 40-79 ปี จะพบรอยโรคระยะ fibrous cap atheroma ซึ่งเป็นแบบ advanced atherosclerotic โดยจะพบ necrotic core ที่ถูกคลุมด้วย fibrous cap แต่ไม่มีการ thrombosis [13] แสดงให้เห็นว่าโรคหลอดเลือดตีบแข็งมีระดับความรุนแรงมากขึ้นตามระดับของอายุ และเกิดขึ้นได้ตั้งแต่วัยรุ่นและพัฒนาาระดับความรุนแรงต่อไปในช่วงอายุที่มากขึ้น สาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็ง คือมีการสะสมของคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ซึ่งจะถูกขนส่งในกระแสเลือดในรูปของไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ หรือ LDL และเมื่อ LDL ถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลอิสระ จะไปส่งผลให้ผนังหลอดเลือดมีการอักเสบ



และถูกทำลาย การอักเสบนี้จะไปกระตุ้นให้เซลล์บุผนังหลอดเลือด และเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ มีการหลั่งสาร adhesion molecules, chemoattractant และ growth factors ซึ่งมีผลกระตุ้นการทำงานของเซลล์เม็ดเลือดขาวให้แบ่งตัวเพิ่มจำนวน และเคลื่อนที่มายังบริเวณที่มีการอักเสบ [14] จากนั้น oxidized LDL จะทำให้ macrophage กลายสภาพไปเป็น foam cells เกาะติดอยู่ที่ผนังหลอดเลือด [15] โดยการสะสมของ foam cells เป็นเวลานานจะกลายไปเป็น atherosclerotic plaque ที่ประกอบด้วย fibrous cap ครอบคลุมด้านบน lipid core หรือไขมันแกน และองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ซากเซลล์, ผลิต cholesterol และ foam cells บางบริเวณพบเฉพาะ foam cells ในผนังหลอดเลือดชั้นใน ระยะนี้เรียกว่า intimal xanthoma ซึ่งเป็นระยะที่กลับสู่สภาพปกติได้หากสิ่งกระตุ้นหมดไป [16] กรณีที่ xanthoma มีการพัฒนาต่อไปจะมีการสะสมของไขมันจำนวนมากในผนังหลอดเลือดชั้นใน เป็น lipid pools ขนาดเล็กได้ชั้นของ foam cells [17] เรียกลักษณะความผิดปกตินี้ว่า pathological intimal thickening คือมีการหนาตัวของผนังหลอดเลือด โดยที่ยังไม่พบการเกิด necrosis ของเซลล์ [18] และในการศึกษานี้ยังพบการเกิด necrotic core เรียกโรคนี้ว่า fibroatheroma บริเวณนี้จะพบ apoptosis และ necrosis ของ foam cells และเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ [19] ด้านบนของ necrotic core จะคลุมด้วย fibrous cap ซึ่งเป็นชั้นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยคอลลาเจนร่วมกับ lymphocytes macrophage และเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ และผลจากการเกิด fibroatheroma จะทำให้ผนังหลอดเลือดหนาตัวมากกว่าปกติ ส่งผลให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบในผนังหลอดเลือดชั้นกลาง ได้รับเลือดไปเลี้ยงน้อยลงเพราะมี atheroma ขวางการแพร่ของเลือด ทำให้ผนังหลอดเลือดชั้นกลางเกิดการฝ่อตัว (atrophy) [20]

นอกจากนี้การศึกษานี้ยังพบการสะสมของหินปูนแคลเซียม (calcification) ที่ผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา โดยส่วนใหญ่พบในผนังหลอดเลือดชั้นใน ส่งผลให้มีการหลุดลอกของเซลล์บุผนังหลอดเลือด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Demer และคณะ [21] ที่พบว่า

ส่วนใหญ่การเกิด atherosclerotic calcification มักพบในผนังหลอดเลือดชั้นใน เกิดจากสารก่อการอักเสบและไขมันที่สะสมใน atherosclerotic lesions ปริมาณมากเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก [21] ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดการสะสมของหินปูนแคลเซียมในผนังหลอดเลือดชั้นใน (intimal calcification) ได้แก่อายุที่เพิ่มขึ้น โรคเบาหวาน โรคไขมันในเลือดสูง ความดันเลือดสูง เพศชาย ควันบุหรี่ และโรคไต เป็นต้น เมื่อผนังหลอดเลือดแข็งตัวจากการอักเสบเรื้อรังและกลายเป็นแคลเซียมไปเกาะ จะทำให้หลอดเลือดสูญเสียความยืดหยุ่น เกิดการตีบของหลอดเลือดได้ [22]

จากการศึกษาลักษณะพยาธิสภาพของ internal และ external elastic lamina โดยการย้อมด้วย Verhoeff-Van Gieson stain ในหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา พบลักษณะความผิดปกติได้แก่ เกิดการเรียงตัวซ้อนกัน, แตกเป็นเศษ ๆ และขาดหลุดจากกัน ผลจากการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pranjali and Sachin [23] ที่พบความเสียหายหรือเสื่อมสภาพของ internal elastic lamina ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ มีการขาดแยกจากกัน ไม่ต่อเนื่อง โดยระดับความรุนแรงของความเสียหายของ internal elastic lamina จะมากขึ้นตามช่วงอายุที่สูงขึ้น [23] และส่งผลให้ผนังหลอดเลือดสูญเสียความยืดหยุ่น [8] และจากการเรียงตัวที่ไม่ต่อเนื่องของ internal elastic lamina พบว่ามีความสัมพันธ์กับความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก internal elastic lamina ที่มีการเรียงตัวไม่ต่อเนื่องหรือเสื่อมสภาพ จะทำให้เซลล์กล้ามเนื้อจากผนังหลอดเลือดชั้นกลางเคลื่อนตัวมายังผนังหลอดเลือดชั้นใน [24] และการสลายของ internal elastic lamina ที่มีการเรียงตัวซ้อนกัน จะทำให้เกิดความเสียหายในการยึดเกาะของเซลล์บุผนังหลอดเลือด ทำให้เซลล์สูญเสียและกลายเป็นบริเวณว่างเปล่า (bare areas) ซึ่งจะทำให้มีการแทรกตัวของไลโปโปรตีนเข้ามาภายในผนังหลอดเลือดมากขึ้นจนกลายเป็น atherosclerotic lesions [25] และจากการศึกษานี้พบลักษณะของ internal และ external elastic lamina เป็นแนวตรงมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัย



ของ Shembekar และคณะ [26] ที่พบการยืดตัว (stretching) และการแตกเป็นเศษ ๆ ของ internal elastic lamia ในผู้เสียชีวิตที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุมากขึ้นจะส่งผลให้ internal และ external elastic lamia เกิดการยืดตัว และแข็งตัวมากขึ้น [26]

จากการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลง ลักษณะทางจุลกายวิภาคและพยาธิสภาพของผนังหลอดเลือดแดงโคโรนารีด้านซ้ายและด้านขวา โดยพบรอยโรคที่เรียกว่า atherosclerotic plaque ในรูปแบบต่าง ๆ การเสื่อมสภาพของ internal และ external elastic lamina และการหนาตัวของผนังหลอดเลือด ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นสาเหตุสำคัญของ การเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็ง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและการเฝ้าระวังการเกิดโรคหลอดเลือดตีบแข็งได้

เอกสารอ้างอิง

1. Yoshizumi M, Abe J, Tsuchiya K, Berk BC, Tamaki T. Stress and vascular responses: atheroprotective effect of laminar fluid shear stress in endothelial cells: possible role of mitogen-activated protein kinases. *J Pharmacol Sci* 2003;91(3):172-6.
2. Messner B, Bernhard D. Smoking and cardiovascular disease: mechanisms of endothelial dysfunction and early atherogenesis. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2014;34(3):509-15.
3. Falk E. Pathogenesis of atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol* 2006;47(8):7-12.
4. Glass CK, Witztum JL. Atherosclerosis. the road ahead. *Cell* 2001;104(4):503-16.
5. Hansson GK. Inflammation, atherosclerosis, and coronary artery disease. *N Engl J Med* 2005;352(16):1685-95.
6. ศันสนีย์ วงศ์ไวศยวรรณ. ตำราพยาธิวิทยาภาควิชาโรค เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เดือนตุลา; 2555.
7. Bhandari BJ, Jadhav MN, Shetty AK, Kittur SK. Morphological analysis of coronary atherosclerosis by modified American heart association classification in young individuals an autopsy study. *J Pathol* 2018;8(2):67-72.
8. Deopujari R, Dixit A. The Study of Age related changes in coronary arteries and its relevance to the atherosclerosis. *J Anat Soc India* 2010;59(2):192-6.
9. Wu J, Xia S, Kalionis B, Wan W, Sun T. The role of oxidative stress and inflammation in cardiovascular aging. *Biomed Res Int* 2014;2014:1-13.
10. Milutinović A, Šuput D, Zorc-Pleskovič R. Pathogenesis of atherosclerosis in the tunica intima, media, and adventitia of coronary arteries: An updated review. *Bosn. J Basic Med Sci* 2020;20(1):21-30.
11. รุ่งรัตน์ นิลธเสน. ไนตริกออกไซด์กับโรคหลอดเลือดตีบแข็ง Nitric oxide and atherosclerosis. *ว. วิทยา. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ* 2559;2(1): 71-9.
12. Bennett MR, Sinha S, Owens GK. Vascular smooth muscle cells in atherosclerosis. *Circ Res* 2016;118(4):692-702.
13. BhanVadia VM, Desai NJ, Agarwal NM. Study of coronary atherosclerosis by modified american heart association classification of atherosclerosis- an autopsy study. *J Clin Diagn Res* 2013;7(11): 2494-7.
14. Libby P, Ridker PM, Hansson GK. Progress and challenges in translating the biology of atherosclerosis. *Nature* 2011;473:317-25.
15. Bekkering S, Quintin J, Joosten LA, van der Meer JW, Netea MG, Riksen NP. Oxidized low-density



- lipoprotein induces long-term proinflammatory cytokine production and foam cell formation via epigenetic reprogramming of monocytes. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2014;34(8):1731-8.
16. Bentzon JF, Otsuka F, Virmani R, Falk E. Mechanisms of plaque formation and rupture. *Circ Res* 2014;114(12):1852-66.
17. Virmani R, Kolodgie FD, Burke AP, Farb A, Schwartz SM. Lessons from sudden coronary death: a comprehensive morphological classification scheme for atherosclerotic lesions. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2000;20(5):1262-75.
18. Dalager S, Paaske WP, Kristensen IB, Laurberg JM, Falk E. Artery-related differences in atherosclerosis expression: implications for atherogenesis and dynamics in intima-media thickness. *Stroke* 2007;38(10):2698-705.
19. Clarke MC, Bennett MR. Cause or consequence: what does macrophage apoptosis do in atherosclerosis?. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2009;29(2):153-5.
20. Mori H, Torii S, Kutyna M, Sakamoto A, Finn AV, Virmani R. Coronary artery calcification and its progression: What does it really mean?. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018;11(1):127-42.
21. Demer LL, Tintut Y. Vascular calcification: pathobiology of a multifaceted disease. *Circulation* 2008;117(22):2938-48.
22. Liu W, Zhang Y, Yu CM, Ji QW, Cai M, Zhao YX, et al. Current understanding of coronary artery calcification. *J Geriatr Cardiol* 2015;12(6):668-75.
23. Pranjali R, Sachin S. Histology of coronary arteries in relation to the coronary sclerosis. *J Anat* 2018;2(2):1-6.
24. Venkateshwer M, Pusala B. Anatomical variations in branching pattern and dimensions of coronary arteries: a cadaveric study from south India. *J Dent Med Sci* 2016;15(8): 21-8.
25. Bocan TMA, Schifani TA, Guyton JR. Ultrastructure of the human aortic fibrolipid lesion. Formation of the atherosclerotic lipid-rich core. *Am J Pathol* 1986;123(3):413-24.
26. Shembekar S, Meshram M. Age Related Histological Changes in Tunica Intima of Coronary Arteries in Relevance to the Atherosclerosis. *Indian J Forensic Med Toxicol* 2016;10(2):168-71.



การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมน้ำมันมะพร้าว ชนิดสกัดเย็น

The development of liquid soap products from coconut shell charcoal mixed with cold pressed coconut oil

นรากร ศรีสุข¹ และ ศนิ จิระสทิษฐ์^{2*}

¹สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20130

Narakorn Srisuk¹ and Sani Jirasatid^{2*}

¹Program of Applied Biology, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao 24000

²Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20130

Received: 29 June 2022/ Revised: 25 September 2022/ Accepted: 1 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสบู่เหลวจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มีในชุมชน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ตัวอย่างสบู่เหลวแปรรูปผงถ่านที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 25 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v และศึกษาคุณภาพทางกายภาพ-เคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คุณภาพต้านจุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์สบู่เหลว ผลการทดลองพบว่า มีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 77, 1 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเติมผงถ่านจากกะลามะพร้าวส่งผลทำให้ค่า L^* ลดลง ($p \leq 0.05$) ขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) สบู่เหลวทุกตัวอย่างมีค่า pH แปรรูปอยู่ระหว่าง 9.11-9.46 และการผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นไม่มีผลกระทบต่อค่าการแยกตัวของสบู่เหลว จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงถ่าน พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 4.56 ขณะที่ตัวอย่างควบคุมไม่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อนำผงถ่านร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v มาเป็นส่วนผสมของสบู่เหลวผสมกับน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v พบว่า ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแปรรูปอยู่ระหว่างร้อยละ 28.64-30.48 โดยสบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v ผสมกับน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 6.91 คะแนน จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน และตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 390 โคโลนีต่อ 1 กรัมของตัวอย่าง และไม่พบเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* และ *Clostridium* sp. ซึ่งมีคุณภาพต้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มพช. 95/2552)

คำสำคัญ: น้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ผงถ่านกะลามะพร้าว สบู่เหลว

Corresponding author: sani@go.buu.ac.th



Abstract

The objective of this research was to develop the liquid soap from the coconut shell charcoal powder mixing with the cold pressed coconut oil by using the natural raw materials and technology of community in Khlong Khuean district, Chachoengsao. The charcoal powder in liquid soap was varied at different concentrations of 0, 5, 10, 15 and 25% w/v mixed with 10% v/v cold-pressed coconut oil. The qualities of physico-chemical, antioxidant activity, microbial and sensory characteristics of samples were analyzed. It was found that the Hunter L*, a* and b* values of control were 77, 1 and 5, respectively. When the coconut shell charcoal was added, the L* values decreased ($p \leq 0.05$), while the a* and b* values increased ($p \leq 0.05$). The pH values of all liquid soaps were varied between 9.11-9.46. In addition, the adding of charcoal powder and cold pressed coconut oil did not affect the syneresis of the liquid soaps. The antioxidant activity analysis revealed that the antioxidant activity of charcoal powder was 4.56%, while the antioxidant activity of control sample did not detect. When the charcoal powder at different concentrations of 0, 5, 10, 15, 20 and 25% w/v mixed with the cold-pressed coconut oil 10% v/v were used as the mixtures of liquid soaps, the antioxidant activity of the liquid soaps varied within the range of 28.64-30.48%. The highest overall acceptability of 6.91 scores from a full score of 9 score was obtained in the liquid soap mixed with the 15% w/v of the coconut shell charcoal and the 10% v/v of cold-pressed coconut oil. Also, total plate count of this sample was 390 colonies per 1 g of sample, and *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* and *Clostridium* sp. were not detected in which the quality of product accorded the Thai industrial standard No. 1543 (TCPS 95/2552).

Keyword: Cold pressed coconut oil, Coconut shell charcoal powder, Liquid soap

บทนำ

จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย มีผลผลิตมะพร้าวน้ำหอมที่มีชื่อเสียงมาก โดยเฉพาะอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา เนื่องจากมะพร้าวน้ำหอมมีรสชาติหอมหวานและรสชาติดี และได้ Good Agricultural Practices: GAP ซึ่งเป็นผลดีด้านการพัฒนาผลผลิตและด้านเศรษฐกิจของเกษตรกรในพื้นที่ แต่ปัญหาจากพื้นที่ที่เกิดขึ้นคือ มีกะลามะพร้าวที่เหลือทิ้งเป็นขยะในปริมาณมาก ซึ่งเกษตรกรไม่ได้ใช้ประโยชน์จากกะลามะพร้าว และการเผากะลามะพร้าวของเกษตรกรในพื้นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ จากการลงพื้นที่เพื่อศึกษาความต้องการของผู้ประกอบการในพื้นที่ พบว่าผู้ประกอบการให้ความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จาก

เศษวัสดุเหลือทิ้งจากกะลามะพร้าวและผู้ประกอบการมีเตาเผาไรควันที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐบาลแต่ใช้ประโยชน์น้อย จากข้อมูลนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตผงถ่านจากกะลามะพร้าวและต่อยอดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ใช้วัตถุดิบในพื้นที่ โดยใช้เครื่องเผาผงถ่านไรควันที่ได้การสนับสนุนจากภาครัฐบาลเป็นการนำนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถผลิตผงถ่านจากกะลามะพร้าวเองได้ ผงถ่านที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียสสามารถเปลี่ยนอนุมูลอิสระเป็นออกซิเจนและมีคุณสมบัติการดูดซับสูง [1] ซึ่งคุณสมบัตินี้ถูกนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในการใช้ชำระพิษที่ตกค้างในร่างกายและดูดซับกลิ่นได้ [2] ผงถ่านจากกะลามะพร้าวได้จากการนำกะลามะพร้าวมาเผา

ให้ใหม่จนเป็นสีดำและดับไฟโดยไม่ปล่อยทิ้งไว้ให้กลายเป็นขี้เถ้า จากนั้นทำให้เย็นและบดเป็นผง จากรายงานวิจัยพบว่าผงถ่านจากกะลามะพร้าวมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นสูงมาก [3] โดยสามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องกรองน้ำและกล่องดูดกลิ่นของตู้เย็น รวมไปถึงอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง เป็นต้น [4] นอกจากนี้คุณสมบัติที่มีรูพรุนขนาดเล็กของผงถ่าน สามารถดูดซับไขมัน ลดความมันของผิวหนังได้ รวมถึงดูดซับสิ่งสกปรกอื่น ๆ ได้โดยเฉพาะสารอินทรีย์ [5] ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวทำความสะอาดผิว จากรายงานพบว่าชาวญี่ปุ่นนำผงถ่านใช้เป็นอาหารเสริม เพื่อการดีที่ออกซูดซึบสารพิษที่ตกค้างในระบบทางเดินอาหาร ดูดซับกลิ่นไม่พึงประสงค์โดยผสมในยาสีฟันหรือผลิตภัณฑ์บำรุงผิว [6] ทั้งนี้ผงถ่านได้รับการจัดอันดับจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ว่าปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการดูดซับพิษร้ายแรงเฉียบพลัน มีรายงานวิจัยพบว่าสบู่ผสมผงถ่านช่วยดูดซับสิ่งสกปรกจากผิวหนังและมีคุณสมบัติช่วย

ชำระล้าง สิ่งตกค้างจากผิวได้ดี [7] และสบู่ผสมผงถ่านยังมีประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับกลิ่นไม่พึงประสงค์ ความชื้น และสามารถจัดเซลล์ผิวที่ตายให้หลุดออกได้ง่าย [8]

เกษตรกรที่ปลูกมะพร้าวน้ำหอมในพื้นที่ตำบลคลองเขื่อน อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถผลิตน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นได้เอง ซึ่งถือเป็นองค์ความรู้ที่ดีภายในชุมชน โดยแยกน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวด้วยวิธีสกัดเย็น ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการแปรรูปทางเคมี น้ำมันที่ได้จึงมีลักษณะใส มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของมะพร้าว น้ำมันมะพร้าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ลดการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่น ป้องกันรอยหมองคล้ำ [9] แต่ปัญหาของเกษตรกรคือ ไม่สามารถนำไปขายในพื้นที่อื่นหรือนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ จากรายงานวิจัยพบว่าน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นมีสารสำคัญ คือ กรดลอริก (Lauric acid) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อราและต้านไวรัส นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นยังมีวิตามินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระปริมาณสูง [10]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) เตamacถ่านกะลามะพร้าวไร้ควันที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลในพื้นที่สวนมะพร้าว (ข) ผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่เผาจากเครื่องเผาถ่านไร้ควัน

ผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาสูตรสบู่เหลวจากผงถ่านกะลามะพร้าวผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เกษตรกรสามารถผลิตได้เองทั้งผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น โดยนำองค์ความรู้ เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรสบู่เหลวผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิด สกัดเย็น ซึ่งแปรรูปผงถ่านในระดับ

ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 25 w/v ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ-เคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คุณภาพด้านจุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มผช. 95/2552) [11] ซึ่งถือได้ว่าเป็นการนำโมเดล BCG (Bio-Circular-Green Economy) มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตผงถ่านจากกะลามะพร้าว โดยใช้กะลามะพร้าวที่เป็นของเหลือจากสวนมะพร้าวในพื้นที่ ตำบลคลองเขื่อน อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราทำความสะอาดและขูดขุยมะพร้าวออกให้หมด จากนั้นนำไปตากให้แห้ง นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส นานประมาณ 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น บดกะลามะพร้าวให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 280 เก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ-เคมีของผงถ่าน ได้แก่ ค่าสีระบบ CIE วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (CR-400, Konika Minota, Japan) รายงานเป็นค่า L^* (ความสว่าง) a^* ($-a^*$ แสดงสีเขียว และ $+a^*$ แสดงสีแดง) และ b^* ($-b^*$ แสดงสีน้ำเงิน และ $+b^*$ แสดงสีเหลือง) ปริมาณความชื้น ค่า pH (Schott CG 842, Germany) และค่า a_w (EZ-200, Japan) จาก AOAC [12] และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจาก Karagozler และคณะ [13]

2. การผลิตสบู่เหลวผสมผงถ่าน พัฒนาสูตรการผลิตสบู่โดยดัดแปลงสูตรจาก ธารททัย และคณะ [14] โดยนำ Sodium Lauryl Ether Sulfate ปริมาณ 100 กรัม และ Sodium Chloride 12.5 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 250 กรัม คนให้เข้ากันจากนั้นเติม Cocamidopropyl Betaine 6 กรัม และ Sodium Chloride 12.5 กรัม ผสมให้เข้ากันและเติม SILK 700 3 กรัม และหัวน้ำหอม 1 กรัม (สารเคมีที่ผลิตสบู่เหลวและกลิ่นมะพร้าว เกรด cosmetic ซื้อจากร้านเคมีภัณฑ์ จังหวัดชลบุรี) ได้ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวเป็นสูตรควบคุม จากนั้นนำสบู่สูตรควบคุมผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น โดยเติมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นปริมาณร้อยละ 10 v/v ที่ผลิตเองจากกลุ่มเกษตรกรโดยใช้มะพร้าวจากสวนมะพร้าว ตำบลคลองเขื่อน อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา และผสมผงถ่านแปรผันความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อให้สบู่เหลวหมดฟอง

3. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาสบู่เหลวผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของผงถ่านร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v

3.1 ทดสอบคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสูตรต่าง ๆ ได้แก่

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter (Lab 850, Schott, Germany)

- ค่าสีระบบ CIE วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (CR-400, Konika Minota, Japan)

- การแยกตัวของผลิตภัณฑ์ จาก AOAC [12] นำผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่ผลิตได้ชั่งน้ำหนัก จากนั้นเทใส่กรวยแก้วที่ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อดูการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์สบู่เหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง คำนวณโดยชั่งน้ำหนักน้ำที่แยกจากการกรองที่ได้มา คำนวณค่า %Syneresis ตามสมการ (1)

$$\%Syneresis = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่แยกออกจากผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ใช้}} \times 100 \quad (1)$$

- วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) จาก Karagozler และคณะ [13] ของสบู่เหลวผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazylscavenging capacity (DPPH) ทำการสกัดสารตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่าง 15 กรัม เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทดสอบด้วยตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นมาตรฐาน DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ในขวดสีชาขนาดเล็กและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที สีจะอ่อนลงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (A_{515}) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, UV-1601, Japan) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณและรายงาน %ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ตามสมการ (2)

$$\%ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม และ A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง



- ทดสอบปริมาตรและความคงทนของฟองสปู โดย
ตัดแปลงวิธีการจาก รุ่งเรือง และคณะ [15] ใช้ตัวอย่าง สปู
1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เทสารละลายลงใน

กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดปากกระบอกตวงด้วย
พาราฟิล์มให้สนิท เขย่ากระบอกตวงขึ้นลงจำนวน 40 ครั้ง
คำนวณปริมาตรตามสมการ (3)

$$\text{ปริมาตรฟองสปู (มล.)} = \text{ระดับฟองสปู (มล.)} - \text{ปริมาตรน้ำกลั่น (มล.)} \quad (3)$$

- ทดสอบความคงทนของฟองสปู โดยตัดแปลงวิธี
การจาก รุ่งเรือง และคณะ [15] ทดสอบโดยตั้ง กระบอกตวง

ที่เขย่าแล้วทิ้งไว้นาน 5 นาที และคำนวณความคงทนของ
ฟองสปู ตามสมการ (4)

$$\text{ความคงทนของฟองสปู (มล.)} = \text{ระดับฟองสปู (มล.)} - \text{ปริมาตรน้ำกลั่น (มล.)} \quad (4)$$

3.2 ทดสอบทางประสาทสัมผัส กลุ่มตัวอย่าง
จำนวน 150 คน ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
สปูเหลวทั้ง 6 สูตร ด้วยวิธี 9-point hedonic scale
(1 คะแนน = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน = ชอบมากที่สุด)
โดยประเมินทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อ
สัมผัสและความชอบโดยรวม โดยตัดแปลงวิธีการจาก สุรชัย
และคณะ [16] (COA. NO. RSUERB2021-111)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely
randomized design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ
วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of
variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่าง
ของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป
SPSS version 18 ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใน
ข้อที่ 3.2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized
completely block design (RCBD)

3.3 ตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของ
ผลิตภัณฑ์สปูเหลวผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น
ในสูตรที่มีคุณภาพที่ดีและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจาก
ผู้บริโภคสูง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่
1543 พ.ศ. 2552 (มพข. 95/2552) ดังนี้ Total plate count,
Yeast and mold, *Pseudomonas aeruginosa*,
Staphylococcus aureus, *Candida albicans* และ
Clostridium sp. การวิเคราะห์จุลินทรีย์ โดยตัดแปลงวิธีการ
จาก FDA's Bacteriological Analytical Manual (BAM)
[17]

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณภาพทางกายภาพ-เคมีของผงถ่าน
จากกะลามะพร้าว

1. ผงถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าว โดยเผาด้วย
เครื่องเผาถ่านไร้ควันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
นาน 6 ชั่วโมง บดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 280
มีคุณภาพทางกายภาพ-เคมี แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพ-เคมีของผงถ่านจากกะลามะพร้าว

คุณภาพทางกายภาพ-เคมี	ผลการทดลอง
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	2.10±0.90
a_w	0.18±0.13
L^*	7.45±0.56
a^*	5.54±0.73
b^*	17.43±0.02
pH	8.23±0.66



ผงถ่านมีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.10 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.180/2560 ซึ่งระบุไม่เกินร้อยละ 8 ซึ่งมีค่า a_w เท่ากับ 0.18 และมีความเป็นด่างโดยมีค่า pH เท่ากับ 8.23 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิต สบู่เหลว ผงถ่านมีสีดำภายหลังการเผาโดยมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 7.45, 5.54 และ 17.43 ตามลำดับ ทั้งนี้ความชื้นของผงถ่านจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ ศตพล [18] ศึกษาประสิทธิภาพของผงถ่านจากกะลามะพร้าว พบว่าผงถ่านจากกะลามะพร้าวมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ชุมชน มีค่าร้อยละ 0.1-2.4 ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนของวัตถุดิบ

2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสบู่เหลวผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น คุณภาพทางกายภาพ-เคมีของสบู่เหลว (ตัวอย่างควบคุม) และสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นความเข้มข้นร้อยละ 10 v/v แสดงในตารางที่ 2

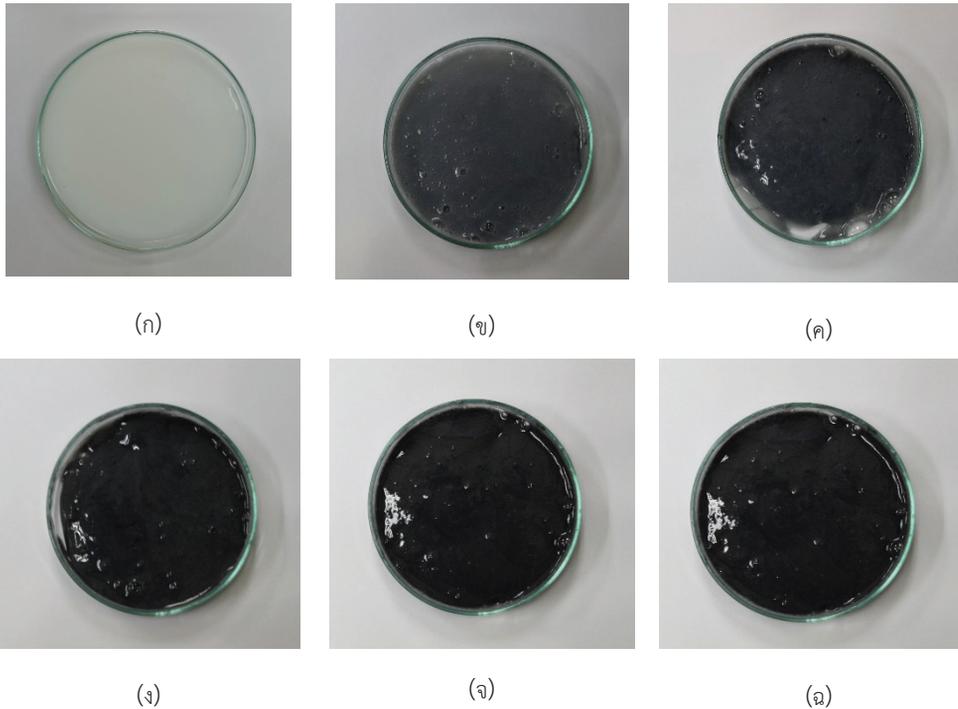
ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพ-เคมีของสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นต่างๆ ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ร้อยละ 10 v/v

ผลิตภัณฑ์สบู่เหลว (w/w)	pH	L^*	a^*	b^*	การแยกตัว (มิลลิลิตร)	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาตรฟอง (มิลลิลิตร)	ความทงนของฟอง (มิลลิลิตร)
สบู่เหลวไม่ผสมผงถ่าน	9.46 ^b ±0.03	77.04 ^a ±0.54	1.01 ^d ±0.76	5.78 ^c ±0.77	0	70.93 ^a	77.25 ^a	30.03 ^a ±0.46
สบู่ผสมผงถ่าน 5%	9.11 ^d ±0.02	22.23 ^c ±0.43	7.67 ^c ±0.09	11.54 ^a ±0.87	0	70.46 ^a	70.95 ^c	25.43 ^b ±0.98
สบู่ผสมผงถ่าน 10%	9.33 ^c ±0.01	25.12 ^b ±0.92	9.33 ^b ±0.54	11.08 ^a ±0.98	0	70.85 ^a	73.34 ^b	23.56 ^c ±0.04
สบู่ผสมผงถ่าน 15%	9.45 ^b ±0.04	19.12 ^d ±0.05	9.09 ^b ±0.99	10.67 ^b ±0.76	0	69.35 ^{ab}	71.96 ^d	25.34 ^b ±0.23
สบู่ผสมผงถ่าน 20%	9.62 ^a ±0.01	15.45 ^e ±0.23	10.63 ^a ±0.67	11.23 ^a ±0.12	0	67.75 ^b	71.43 ^d	22.04 ^d ±0.57
สบู่ผสมผงถ่าน 25%	9.41 ^b ±0.01	15.98 ^e ±0.87	10.13 ^a ±0.34	11.06 ^b ±0.82	0	67.96 ^b	72.58 ^c	23.02 ^c ±0.10

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่ไม่ผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น (ตัวอย่างควบคุม) มีค่าสีแตกต่างจากตัวอย่างสบู่เหลวที่ผสมผงถ่านที่ระดับต่าง ๆ และผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างควบคุมมี สีขาวครีม ซึ่งมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 77, 1 และ 5 ตามลำดับ แต่เมื่อเติมผงถ่านจากกะลามะพร้าวส่งผลทำให้สบู่เหลวเป็นสีดำและเข้มมากขึ้นตามความเข้มข้นของผงถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* ลดลง ขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า สีเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

ผงถ่านในสบู่เหลวและเข้มมากขึ้นตามความเข้มข้นของผงถ่าน แสดงในภาพที่ 2 สบู่เหลวทุกตัวอย่างมีค่า pH แปรผันอยู่ระหว่าง 9.11-9.46 และจากการทดสอบการแยกตัวของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวพบว่า สบู่เหลวทุกสูตรไม่เกิดการแยกตัวของผลิตภัณฑ์ แสดงว่าการผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสและการแยกตัวของน้ำของสบู่เหลว ส่วนปริมาณความชื้นของสบู่เหลวผสมผงถ่านมีค่าระหว่างร้อยละ 67-70



ภาพที่ 2 (ก) สบู่เหลวสูตรควบคุม (ข) สบู่เหลวผสมผงถ่าน 5% w/w (ค) สบู่เหลวผสมผงถ่าน 10% w/w (ง) สบู่เหลวผสม ผงถ่าน 15% w/w (จ) สบู่เหลวผสมผงถ่าน 20% w/w และ (ฉ) สบู่เหลวผสมผงถ่าน 25% w/w

เมื่อพิจารณาปริมาตรฟองและความคงทนของ ฟองสบู่ พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีปริมาตรฟองและมีความคงทนของฟองสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 77 มิลลิลิตร และเท่ากับ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสม ผงถ่านที่ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v ผสมน้ำมัน มะพร้าวชนิดสกัดเย็นมีปริมาตรฟองลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 70-72 มิลลิลิตร และมีความคงทนของฟองระหว่าง 22-25 มิลลิลิตรในเวลา 5 นาที ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวัตถุดิบในการ ผลิตสบู่เหลวและสบู่เหลวผสมน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v ที่ไม่ผสมผงถ่าน แสดงในตารางที่ 3 และฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระ DPPH ของสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวัตถุดิบในการผลิตสบู่เหลว และสบู่เหลวผสมน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v ที่ไม่ผสมผงถ่าน

ผลิตภัณฑ์	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)
ผงถ่านจากกะลามะพร้าว	4.56±0.15
น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น	51.82±1.89
สบู่เหลวทางการค้า	ไม่พบในตัวอย่าง
สบู่เหลวผสมน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v	28.98±0.88



ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสบู่เหลวผสมผงถ่านความเข้มข้นต่าง ๆ และน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v

ผลิตภัณฑ์สบู่เหลว (w/w)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)
สบู่เหลว (ตัวอย่างควบคุม)	ไม่พบในตัวอย่าง
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 5%	30.48 ^a ±0.67
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 10%	28.18 ^c ±0.34
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 15%	29.19 ^b ±0.56
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 20%	28.95 ^c ±0.62
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 25%	28.64 ^c ±0.28

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวทางการค้าและผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่ผลิตเองปราศจากผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นไม่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (สูตรควบคุม) เมื่อนำผงถ่านร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v มาเป็นส่วนผสมของสบู่เหลวผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v พบว่าผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระประมาณร้อยละ 28-30 (ตารางที่ 4) แสดงให้

เห็นว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นในสบู่เหลวน่าจะมาจากน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น เนื่องจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีค่าสูงร้อยละ 51.82 ส่วนผงถ่านจากกะลามะพร้าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพียงร้อยละ 4.56 (ตารางที่ 3)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสบู่เหลวและสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v

ผลิตภัณฑ์สบู่เหลว (w/w)	ลักษณะปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	ความชอบโดยรวม
สบู่เหลว (ตัวอย่างควบคุม)	7.38 ^b ±1.86	7.14 ^b ±2.73	7.25 ^b ±1.86	7.17 ^b ±1.26	7.59 ^a ±2.03
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 5%	7.14 ^c ±1.57	7.03 ^b ±1.14	7.32 ^b ±1.19	7.53 ^a ±1.12	6.79 ^c ±1.37
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 10%	6.25 ^f ±1.54	7.12 ^b ±1.53	7.75 ^a ±1.14	7.64 ^a ±1.78	6.75 ^c ±1.59
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 15%	7.87 ^a ±1.07	7.68 ^a ±1.13	7.79 ^a ±1.21	7.57 ^a ±1.18	6.91 ^b ±1.35
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 20%	6.39 ^e ±1.49	6.28 ^c ±1.27	6.48 ^c ±1.36	7.16 ^b ±1.58	6.55 ^d ±1.74
สบู่เหลวผสมผงถ่าน 25%	6.49 ^d ±1.15	6.12 ^c ±1.24	6.12 ^d ±1.29	7.17 ^b ±1.62	6.35 ^e ±1.12

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สบู่เหลว พบว่า ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่ไม่ได้ผสมผงถ่านจะมีสีขาวนวล มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงถึง 7.59 คะแนน อาจเนื่องจากความคุ้นชินของผู้บริโภคต่อสีของสบู่เหลวที่เป็นสีขาวหรือสีครีม ส่วนผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-25 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v มีคะแนนลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 6.25-7.87 คะแนน เนื่องจากเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อเดียวกัน มีความเหนียวและไม่เกิดการแยกตัวของผลิตภัณฑ์ ส่วนคะแนนของสีมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสอย่างมาก เนื่องจากผงถ่านเป็นผง สีดำสนิทและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านจะส่งผลต่อความเข้มสีดำของสีสบู่เหลวมากขึ้น จึงทำให้คะแนนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 6.12-7.68 คะแนน ซึ่งผู้บริโภคบางกลุ่มยังไม่ชอบผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่เป็นสีดำ คะแนนเนื้อสัมผัสของสบู่เหลวอยู่ในช่วง 6.12-7.79

คะแนน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นผงถ่านถึงร้อยละ 20 และ 25 w/v จะส่งผลต่อเนื้อสัมผัส คือมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านดูดปริมาณน้ำต้นตำรับในสบู่เหลวมากขึ้น ดังนั้นกลิ่นพบว่าผงถ่านที่เป็นส่วนผสมใน สบู่เหลวไม่มีผลต่อกลิ่นของสบู่เหลวทำให้คะแนนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.17-7.64 คะแนน สบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 w/v มีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 6.35 เนื่องจากมีสีดำเข้มและความขุ่นเหนียวของผลิตภัณฑ์สูง สบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 6.91 คะแนน นักวิจัยพิจารณาถึงคุณประโยชน์และคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ จึงเลือกสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v เพื่อศึกษาคุณภาพจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มพช.95/2552) แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ร้อยละ 10 v/v

จุลินทรีย์	ผลการวิเคราะห์
Total plate count	390 โคโลนีต่อ 1 กรัม
Yeast and mold	22 โคโลนีต่อ 1 กรัม
<i>Staphylococcus aureus</i>	ไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม
<i>Candida albicans</i>	ไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม
<i>Clostridium</i> sp.	ไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

จากการทดสอบคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสบู่เหลวผสมผงถ่านร้อยละ 15 w/v และน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v พบว่า มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ 390 โคโลนีต่อ 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราทั้งหมด 22 โคโลนีต่อ 1 กรัม ของตัวอย่างสบู่ ส่วนการทดสอบหาเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* และ *Clostridium* sp. พบว่าตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค แสดงให้เห็นว่าสบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าว ร้อยละ 15 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10

v/v มีคุณภาพด้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มพช. 95/2552)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาสูตรสบู่เหลวสูตรใหม่ที่ผลิตได้เองจากวัตถุดิบในอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นที่ร้อยละ 10 v/v ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของสบู่เหลว



แต่ละสูตร พบว่า สบู่เหลวที่ไม่ผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าว สกัดเย็นมีความสว่าง มีสีแดงเล็กน้อยและมีสีเหลืองที่เด่นกว่า แต่เมื่อเติมผงถ่านจากกะลามะพร้าวส่งผลทำให้สบู่เหลว เป็นสีดำและเข้มมากขึ้นตามความเข้มข้นของผงถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* ลดลง ขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสีเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่าน ในสบู่เหลว และจากการทดสอบการแยกตัวของผลิตภัณฑ์ สบู่เหลว พบว่า สบู่เหลวทุกสูตรไม่เกิดการแยกตัวของ ผลิตภัณฑ์ แสดงว่าการผสมผงถ่านและน้ำมันมะพร้าวชนิด สกัดเย็นที่ร้อยละ 10 v/v ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อ สัมผัสและความคงตัวของสบู่เหลว ส่วนปริมาณความเข้มข้นของ สบู่เหลวมีค่าระหว่างร้อยละ 67-70 ซึ่งความเข้มข้นของสบู่เหลว ลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่าน เนื่องจากผงถ่านที่เพิ่ม ขึ้นสามารถดูดซับปริมาณน้ำต้นตำรับได้มากขึ้น ปริมาตรฟอง และความคงทนของฟองสบู่ พบว่า ผงถ่านจากกะลามะพร้าว ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นมีผลกระทบต่อการศึกษาการเกิดฟอง ของสบู่เหลวเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง ควบคุม งานวิจัยของ รุ่งเรือง และคณะ [15] โดยศึกษาสบู่ ถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับว่านตาลเดี่ยวและย่านาง พบว่า สบู่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 9.89-9.96 และพบว่า ผงถ่านจากกะลามะพร้าวมีปริมาณคาร์บอนสูง ช่วยดูดซับ สารพิษตามร่างกายได้ดี ปานทิพย์ และคณะ [19] วิจัยการ พัฒนาสูตรสบู่จากกระเทียม กระชาย ขมิ้นชัน และหัวไชเท้า พบว่า ปริมาตรฟองมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-7.1 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สบู่เหลวผสมผงถ่าน ความเข้มข้นต่างๆ ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v การเติมผงถ่านร่วมกับน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นช่วย ปรับปรุงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสบู่เหลวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม สบู่ที่มีฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 28-30 และมีส่วนช่วยในการ ฆ่าเชื้อทำให้แผลไม่เกิดการอักเสบ กักเก็บน้ำที่ให้ความชุ่มชื้น ไว้กับผิว โดยส่วนประกอบหลักที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใน สบู่เหลวมาจากน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น จุฑาภรณ์ [20] พบว่า น้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นมีสารสำคัญ คือ กรดลอริก

(Lauric acid) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและสูงกว่าผงถ่าน ใดๆก็ตามผงถ่านมีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งทำหน้าที่ดูดซับ สารตกค้างและ สิ่งสกปรกได้สูง กัญรัตน์ และคณะ [3] พบว่า สบู่ที่ผสมผงถ่านจะช่วยดูดซับสิ่งสกปรกจากรูขุมขนของ ผิวหนังได้ มีคุณสมบัติช่วยชำระล้างสิ่งตกค้างจากผิวได้ เป็นอย่างดี และได้ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การดูดซับโครเมียม และความพึงพอใจต่อสบู่ซาร์โคลไม้ไผ่ พบว่าสบู่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ร้อยละ 3.18 สมฤทธิ์ และ คณะ [21] ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสบู่ว่านหางจระเข้ ผสมน้ำผึ้ง เพื่อให้ทราบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สบู่ที่ผสม ว่านหางจระเข้และน้ำผึ้งเป็นส่วนผสม พบว่า สบู่สูตรที่ผลิต ได้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 32 ซึ่งสอดคล้องกับ สบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นร้อยละ 10 v/v พบว่าผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสูตรดังกล่าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มขึ้นร้อยละ 29

คะแนนทางประสาทสัมผัสของสบู่เหลวผสม ผงถ่านที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผสมน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น ร้อยละ 10 v/v ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมผงถ่านจากกะลา มะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-25 w/v ผลิตภัณฑ์มีผลต่อ คะแนนสีและ ผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสมาก เนื่องจาก ผงถ่านเป็นผงสีดำสนิท ทำให้สบู่เหลวมีสีดำ ส่งผลต่อคะแนน ความชอบโดยรวมลดลงอยู่ในช่วง 6 คะแนน นักวิจัยจึง พิจารณาเลือกสบู่เหลวผสมผงถ่านที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v เพื่อศึกษาคุณภาพจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์สบู่เหลว ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มพช.95/2552) สรุปได้ว่าสบู่เหลวที่ผลิตได้มี คุณสมบัติคุณภาพทางกายภาพ-เคมีที่เหมาะสม แต่จะมีสีที่ เปลี่ยนแปลงไปชัดเจน เนื่องจากเป็นสีดำของผงถ่าน การเติม น้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็นทำให้ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมีฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 30 และผงถ่านมีรูพรุนมาก [22] มีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ ดูดซับกลิ่น ใช้ทำความสะอาดผิวได้ดี ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของ ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และจากการทดสอบความชอบโดย รวมของผลิตภัณฑ์สบู่เหลว พบว่าสบู่เหลวผสมผงถ่านจาก



กะลามะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 w/v ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 6.91 คะแนน จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน และมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1543 พ.ศ. 2552 (มพช. 95/2552) โดยนักวิจัยมีข้อเสนอแนะในการให้ความรู้ถึงประโยชน์ของสบู่ที่ผลิตจากวัตถุดิบในพื้นที่และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวที่ผลิตได้สามารถสร้างเป็นอัตลักษณ์ในชุมชนได้และหนุนเสริมการตลาดที่ยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ที่ช่วยสนับสนุนทุนวิจัยทุนการขับเคลื่อนงานวิจัยเชิงพื้นที่ ทุน FRMU

เอกสารอ้างอิง

1. Zhang D, Huo P, Liu W. Separation science and engineering: Behavior of phenol adsorption on thermal modified activated carbon. *Chin J Chem Eng* 2016;24:446-52.
2. กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน, ภาคภูมิ ใจชมพู. การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิต ข้าวหลาม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา* 2560;2(1):1-15.
3. กัญรัตน์ ม่านเขียว, อุทัยวรรณ บุญจันทร์, นภัสกร มาตเมฆ, สิวเรศ ไพโรจน์, นันทวรรณ เอนกอนันต์, มณฑา หมี่ไพรพฤษ, ปรีชา ปัญญา, ณัฐภาณี บัวดี. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การดูดซับสารโครเมียม (VI) ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง และความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อสบู่ซาร์โคลไม้ไผ่. *วารสาร สทวท* 2560; 4(2):99-107.
4. บุญรัก ลาดสูงเนิน, สมิต อนันต์ศิริพงษ์. การผลิตและการทดสอบสมบัติกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าว. *วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม ระบบเกษตร แห่งชาติ* 2556;8:201-7.
5. Suliman W, Harsh JB, Abu-Lail NI, Fortuna AM, Dallmeyer I, Garcia-Perez M. Modification of biochar surface by air oxidation: Role of pyrolysis temperature. *Biomass & Bioenergy* 2016;85:1-11.
6. Nandeshwar SN, Mahakalakar AS, Gupta RR, Kyzas GZ. Green activated carbons from different waste materials for the removal of iron from real wastewater samples of Nag River, India. *J Mol Liq* 2016;216:688-92.
7. Asadullah M, Jahan I, Ahmed MB, Adawiyah P, Malek NH, Rahman MS. Preparation of microporous activated carbon and its modification for arsenic removal from water. *J Ind Eng Chem* 2014;20:887-96.
8. เจษฎา รัตนวุฒิ. ผลของการเสริมผงถ่านไม้ไผ่ร่วมกับน้ำส้มควันไม้ในอาหารต่อสมรรถภาพคุณภาพเปลือกไข่ การเปลี่ยนแปลงของวิลไลและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ของไก่ไข่ในระยะสุดท้ายของการให้ผลผลิต. *สงขลา:มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2557.*
9. กฤตชน วงศ์รัตน์, โสภภาพ กล้าสกุล, กนกพร บุญธรรม. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวสูตรเข้มข้นน้ำมันมะพร้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของวิสาหกิจชุมชนบ้านแสงอรุณ อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. *วารสาร ววพ* 2565;17(1):63-73.
10. ธนาศักดิ์ รัชชเมณี, นันทวรรณ กระจำงตา, ยุทธพงศ์ โลโรสงค์, กษิตินษ์ นันทวิสุทธิ, บุรฉัตร เรืองดิษฐ์. ประสิทธิภาพของสารสกัดโมโนกลีเซอไรด์จากน้ำมันมะพร้าวกลั่นบริสุทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของราแคนดิดา อัลบิแคนส์ ที่ดื้อต่อยา ฟลูโคนาโซลในห้องปฏิบัติการ. *วารสาร ววพ* 2563;28(4):688-704.
11. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสบู่เหลว. [อินเทอร์เน็ต]. 2552 [เข้าถึงเมื่อ 7 ก.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps95_52.pdf



12. AOAC association. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, Inc.; 2000.
13. Karagozler A, Eedag B, Emek YC, Uygun DA. Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastata*. Food Chem 2008;111:400-7.
14. ชารุทพัย มาลาเวช, ชลิตา พุฒขาว, อารีรัตน์ จันทร์บูรณ์, สิทธิศักดิ์ เครือจันทร์, ธัญญวัฒน์ สายเท้าเอียน, ภูวนัย อุ่มเพชร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสมุนไพรจากกระสัง. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 11 วันที่ 27-28 มีนาคม 2562. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. นครศรีธรรมราช; 2562. หน้า 1-7.
15. รุ่งเรือง งาหอม, จินดาพร สืบข้าเพชร, คณิตตา ธรรมจริยวงศา. การศึกษาปริมาณและประเภทของดอกไม้จากศาลหลักเมืองจังหวัดบุรีรัมย์และพระบรมราชานุสาวรีย์พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราช เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สบู่. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ ถักทองงานวิจัยท้องถิ่นก้าวไกลสู่สากล ครั้งที่ 10 วันที่ 7-8 สิงหาคม 2561. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. นครราชสีมา; 2561. หน้า 1224-34.
16. สุรัชย์ อุดมอ่าง, นิรมล อุดมอ่าง, รัฐนันท์ พงศ์วิริทธิ์ธร. การยอมรับและพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทย. วารสารศรีนครินทร์วิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) 2558;7(13): 187-99.
17. BAM. Bacteriological Analytical Manual–Chapter 23. Microbiological Methods for Cosmetics [Internet]. 2017 [cited 2022 February 15]. Available from: <http://www.fda.gov.com>
18. ศตพล มุ่งค้ำกลาง. การหาประสิทธิภาพแห่งเชื้อเพลิงจากถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการประกอบอาหาร. วารสาร เทพสตรี I-TECH 2559;11(1):59-67.
19. ปานทิพย์ รัตนศิลป์กุลชาญ, เกตุแก้ว จันทร์จำรัส, ภรณ์ทิพย์ นราแห้ว, อุมารณณ์ ผ่องใส. การพัฒนาสบู่เหลวจากสมุนไพรไทยและทดสอบฤทธิ์เบื้องต้นในการต้านทานต่อเชื้อสแตฟิโลค็อกคัสออฟเรียสที่ดื้อยาเมทิซิลิน (MRSA). วารสาร มฉก. วิชาการ 2557;18 (35):47-60.
20. จุฑาภรณ์ ผลไพบูลย์. การหาปริมาณกรดลอริกและกลีเซอไรด์ที่สัมพันธ์กันในน้ำมันมะพร้าวดัดแปรโดยใช้จีซี-เอฟไอดี และเอชพีแอลซี-อีแอลเอสดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ; 2557.
21. สมฤดี สังขาว, อติตยา ชวีญวงค์, นงนุช ขอนทอง, เกศินี ใจดี, ณัฐนันท์ ชำรวาย, อภรณ์ พาศัย, มณฑา หมี่ไพร พฤกษ์, ณัฐภานี บัวดี. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณวิตามินซีและความพึงพอใจของสบู่ว่านหางจระเข้ผสมน้ำผึ้ง: สบู่สมุนไพรอำเภอมือง กำแพงเพชร. วารสาร สทวท 2560;4(1):119-25.
22. ปัญญา มณีจักร. การเตรียมถ่านกัมมันต์ราคาถูกโดยการเผาด้วยความร้อนในเครื่องเผาอบอากาศเพื่อกำจัดเหล็ก (III). วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 2560;6(2):72-84.



ระบบวัดค่าจุดศูนย์กลางความดันแบบเวลาจริงสำหรับประเมินความสามารถ ในการทรงตัวในผู้สูงอายุ

A real-time center of pressure measurement system for postural balance assessment in the elderly

พุดิพงษ์ ขุนทรง¹ พงศกร บำรุงไทย^{1*} ประภาพรณ เกษราพงศ์¹ ทรงชัย จิตภักดีบดินทร์¹
กิตติพงษ์ เยาวจา¹ รุ่งเพชร สงวนพงษ์² และ น้ำผึ้ง ปุณฺณนรินทร์²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

² คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ 10540

Putthipong Khunsong¹, Pongsakon Bamrungthai^{1*}, Prapapan Ketsarapong¹,
Songchai Jitpakdeebodin¹, Kittipong Yaovaja¹, Rungpetch Sanguanpong²,
and Numpung Punyanirun²

¹ Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Chonburi 20230

² Faculty of Physical Therapy, Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

Received: 2 June 2022/ Revised: 5 October 2022/ Accepted: 10 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบวัดค่าจุดศูนย์กลางความดัน (Center of pressure, COP) แบบเวลาจริงเพื่อประเมินความสามารถในการทรงตัวขณะยืนนิ่งในผู้สูงอายุ ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้างและส่วนโปรแกรม โดยส่วนโครงสร้างมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดจำนวน 2 อัน เพื่อรับรู้ค่าแรงกดที่เท้าแต่ละข้างของผู้รับการประเมินในขณะที่ยืนบนอุปกรณ์ดังกล่าว โดยข้อมูลสามารถจัดเก็บเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองสามารถปรับตามระยะห่างระหว่างเท้าได้ ส่วนโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้แสดงค่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแรงกดและค่าจุดศูนย์กลางความดันเพื่อใช้ประเมินความสามารถในการทรงตัวแบบเวลาจริง ผลลัพธ์ของการประเมินพร้อมด้วยข้อมูลของผู้รับการประเมินจัดเก็บอยู่ในไฟล์คอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถนำมาใช้ติดตามผลและวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ ผลการทดสอบกับผู้สูงอายุจำนวน 30 คน แสดงว่าค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาที่ได้จากระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นสอดคล้องกับร้อยละอัตราส่วนน้ำหนักเท้าซ้ายและเท้าขวาจากเครื่องชั่งน้ำหนักระบบเดิม โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่ร้อยละ 5.54 และระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนความแตกต่างการลงน้ำหนักเท้าเป็นสมการเชิงเส้น โดยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.94 รวมทั้งผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแสดงให้เห็นถึงความพึงพอใจที่สูงกว่าระบบเดิมที่ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักในทุกด้าน อันได้แก่ การใช้งานที่ง่ายและดีขึ้น การแสดงผลที่ชัดเจนและรวดเร็ว รวมถึงสามารถบันทึกข้อมูลได้

คำสำคัญ: การประเมินความสามารถในการทรงตัว ค่าจุดศูนย์กลางความดัน อุปกรณ์ตรวจวัดแรงกด การทรงตัวขณะยืนนิ่ง



Abstract

This research presents the development of a real-time center of pressure measurement system for static balancing assessment in the elderly. The system consists of two parts: the structure and the software. The structure was equipped with two pressure sensing devices that sensed the pressure value of each foot while the assessee was standing on the devices. The sensing data can be stored in a computer. The distance between the two devices can be adjusted according to the distance between the assessee's feet. In the software part, a program was developed to visualize the spatial pressure distribution and show the center of pressure (COP) position which the latter provides the assessment of balancing capability in real-time. The results, along with the assessee's data, were stored in computer files that can be used for further follow-up and analysis. The evaluation results conducted among 30 elderly assesseees show that the pressure ratio percentage between left and right foot, from the developed system, is correspond to the weight ratio percentage between left and right foot, from the existing weighing scale; with the mean difference percentage of 5.54. The relationship between the deviation of center of pressure and the pressure ratio between the two feet is linear equation; with the decision coefficient (R^2) of 0.94. The user satisfaction assessment results show that the developed system has higher satisfaction than the existing weighing scale in all aspects which are ease of use, clear and fast display, and ability to store data.

Keyword: Postural balance assessment, Center of pressure, Pressure sensor, Static balance

บทนำ

ประเทศไทยก้าวสู่สังคมผู้สูงอายุตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2543-2544 เนื่องจากอัตราการเกิดและอัตราการตายที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง [1] เพื่อรองรับสถานการณ์ดังกล่าวภาครัฐจึงได้มีการวางแผนนโยบายและมาตรการในด้านต่าง ๆ ที่ครอบคลุมทั้งทางด้านสังคมและคุณภาพชีวิต [2] จากการสำรวจประชากรผู้สูงอายุโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติในปี พ.ศ. 2564 [3] แสดงข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ สถิติการหกล้ม ซึ่งหมายถึง การที่ผู้สูงอายุหกล้มจากทำย่นหรือการพลัดตกจากเตียง/เก้าอี้ หรือการตกจากที่สูง พบว่ามีผู้สูงอายุที่เข้าร่วมการสำรวจจำนวนมากถึงร้อยละ 6.4 เคยหกล้มในระหว่าง 6 เดือนก่อนวันสัมภาษณ์ โดยมีสาเหตุสำคัญคือการสะดุด การลื่น และพื้นต่างระดับ เมื่อพิจารณาปัจจัยเสี่ยงการหกล้มของผู้สูงอายุสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ (1) ปัจจัยภายในร่างกาย หมายถึง การเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย ได้แก่ ความเสื่อมทางการมองเห็นทำให้เกิดความผิด

พลาดในการรับรู้พื้นและเกิดการล้มได้ การเปลี่ยนแปลงของระบบโครงสร้างและกล้ามเนื้อ รวมทั้งกลไกในการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่ควบคุมการทรงตัวมีประสิทธิภาพลดลง และ (2) การเปลี่ยนแปลงของร่างกายจากความเจ็บป่วยและความผิดปกติ เช่น ภาวะความดันโลหิตต่ำ ซึ่งส่งผลให้เลือดไปเลี้ยงสมองลดลง ทำให้เป็นลมและหกล้มตามมาได้ [4]

ปัจจุบันระบบที่ใช้ในการประเมินการทรงตัวในสถานพยาบาลของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งเป็นระบบที่มีความแม่นยำสูงสามารถพบได้ในสถานพยาบาลขนาดใหญ่ ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง กลุ่มที่สองเป็นระบบที่พบในสถานพยาบาลขนาดเล็ก ซึ่งเป็นระบบที่ราคาไม่สูง ให้ผลการประเมินที่มีความละเอียดและความแม่นยำต่ำ การพัฒนาระบบเพื่อประเมินเสถียรภาพการทรงตัวจึงมีความสำคัญต่อการวินิจฉัยและติดตามความผิดปกติทางร่างกาย รวมถึงการประเมินความเสี่ยงในการหกล้ม



ในผู้สูงอายุ ซึ่งการประเมินเสถียรภาพในการทรงตัวสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์หาค่าจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass, COM) ซึ่งเป็นค่าตำแหน่งเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของร่างกาย โดยเมื่อฉายค่าดังกล่าวในแนวตั้งจะได้ค่าจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง (Center of gravity, COG) หรือการวิเคราะห์หาค่าจุดศูนย์กลางความดัน (Center of pressure, COP) ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางถ่วงน้ำหนักของแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับฝ่าเท้า เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินการทรงตัวของคนปกติและไม่ปกติตามหลักการพยาธิวิทยา (Pathology) [5] โดยค่าดังกล่าวสอดคล้องกับจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง ทั้งนี้เนื่องจากการหาค่าจุดศูนย์กลางความดันสามารถทำได้ง่าย จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายผ่านการใช้อุปกรณ์วัดประเภทต่าง ๆ เช่น

แผ่นตรวจวัดแรง (Force plate) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดที่เท้าแต่ละข้างกระทำกับพื้น เช่น การนำตัวตรวจวัดความเครียด (Strain Gauge) จำนวน 3 ชุดมาสร้างระบบประเมินการทรงตัวที่ประมาณค่าจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง [6] การนำตัวตรวจวัดความเครียดจำนวน 4 ชุด ร่วมกับข้อมูลจากกล้อง Kinect เพื่อนำมาสร้างระบบประเมินท่าทางและความสัมพันธ์ของร่างกายผ่านระบบฝึกหัดด้วยการปฏิสัมพันธ์ความเป็นจริงเสมือน (Virtual reality interaction) [7] และสามารถศึกษางานวิจัยที่ใช้แผ่นตรวจวัดแรงเพิ่มเติมได้จาก Baoliang C และคณะ [8] นอกจากนี้มีการศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน (Pressure sensing devices) ได้มีการพัฒนาระบบประเมินการทรงตัวโดยหาค่าจุดศูนย์กลางความดันที่พกพาได้ง่าย โดยมีการใช้ตัวตรวจวัดค่าจาก 2 ระบบคือ (1) แผ่นตรวจวัดแรง และ (2) แผ่นตรวจวัดความดัน (Pressure sensor platform) ทำมาจากเสื่อความดัน (Pressure mat) ที่มีตัวตรวจรู้อยู่จำนวน 72 x 48 ตัว เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน BioMOBIUS เพื่อหาค่าระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันพบว่าผลที่ได้จากการวัดทั้งสองระบบมีความสอดคล้องกัน [9] การสร้างเป็นอุปกรณ์สำหรับสวมใส่เท้า (In sole) เช่น การสร้างอุปกรณ์สำหรับสวมใส่เท้าด้วยตัวตรวจวัดความดัน 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถหาค่าจุดศูนย์กลางความดัน ซึ่งมีความผิดพลาดสูงกว่าในกรณีใช้ตัวตรวจวัดความดัน 4-5 ตำแหน่ง

ราว 0.5 มิลลิเมตรในแนวนอน และ 1-2 มิลลิเมตรในแกนตั้ง [10] และการสร้างอุปกรณ์สำหรับสวมใส่เท้า flexible instrument insole (FI) ด้วยตัวตรวจวัดความดัน 24 ตำแหน่ง และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการใช้แผ่นตรวจวัดแรง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.05 ถึง 2.34 [11] การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีขายอยู่ทั่วไปเช่น อุปกรณ์ Wii board ซึ่งสามารถนำข้อมูลการกระจายตัวของแรงกดที่ได้มาประมวลผลหาค่าศูนย์กลางของแรงดันเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทรงตัว [12]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถประเมินความสามารถในการทรงตัวขณะยืนนิ่งในผู้สูงอายุที่มีราคาไม่สูงเพื่อวัดความดันที่เท้ากระทำกับพื้นที่มีความละเอียดสูง เพื่อใช้หาค่าจุดศูนย์กลางความดัน (COP) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน 2 ชุด ซึ่งตรวจวัดได้รวดเร็ว สามารถประมวลผลและแสดงผลแบบเวลาจริง เหมาะสมกับการใช้งานในสถานพยาบาลระดับชุมชน เพื่อให้ประชากรส่วนใหญ่สามารถเข้าถึงได้ ใช้งานง่าย มีราคาไม่สูง และเหมาะสมกับสรีระของประชากรที่หลากหลาย

วิธีดำเนินการวิจัย

1.ภาพรวมของงานวิจัย

ระบบประเมินความสามารถในการทรงตัวแบบเดิมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้เป็นระบบที่ใช้จริงอยู่ในปัจจุบันในสถานพยาบาลระดับชุมชนหลายแห่ง โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่เหมือนกันจำนวน 2 อัน และให้ผู้รับการประเมินยืนนิ่งดังภาพที่ 1 โดยวางเท้าบนเครื่องชั่งน้ำหนักข้างละหนึ่งอัน การทดสอบดังกล่าวสามารถใช้ระบุผลได้ว่าผู้รับการประเมินลงน้ำหนักเท้าเท่ากันหรือไม่ระหว่างเท้าซ้ายและเท้าขวา ซึ่งข้อมูลที่ได้มีความละเอียดต่ำและต้องอาศัยการบันทึกผลด้วยมือ อีกทั้งผู้รับการประเมินไม่สามารถทราบตัวตนยืนลงน้ำหนักไม่เท่ากัน เนื่องจากไม่ได้เห็นด้วยตาตัวเองอาศัยเพียงคำบอกของผู้ดูแลหรือนักกายภาพบำบัดที่ดูแลการทดสอบเท่านั้น ซึ่งหากผู้รับการประเมินต้องการเห็นค่าบนเครื่องชั่งน้ำหนักจะต้องก้มลงดูที่เท้าของตนเอง ทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากท่าทางที่เปลี่ยนไป



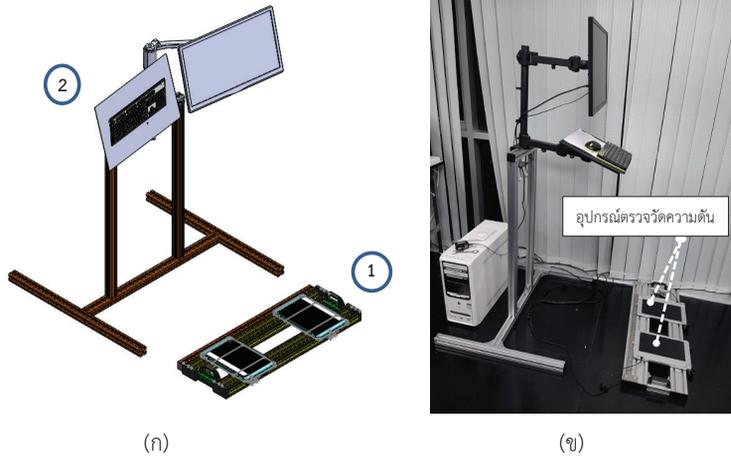
ภาพที่ 1 เจ้าหน้าที่ทำการสาธิตการประเมินความสามารถในการทรงตัวแบบเดิมโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 อัน

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบประเมินความสามารถในการทรงตัวสำหรับผู้สูงอายุในขณะยืนนิ่ง (Static balance) แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยที่ผู้รับการประเมินสามารถมองเห็นผลจากอุปกรณ์แบบเวลาจริง (Real-time) ซึ่งคำว่าเวลาจริงในที่นี้หมายถึงการนำผลการวัดที่ได้จากอุปกรณ์วัดมาคำนวณและแสดงผลการประเมินทันทีโดยไม่ได้อาศัยการประมวลผลภายหลัง (Post processing) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้รับการประเมินเห็นผลการประเมินด้วยตนเองและยังใช้ในการฝึกการทรงตัวได้อีกด้วย โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างและส่วนโปรแกรม ส่วนโครงสร้าง หมายถึง ส่วนประกอบทางกายภาพทั้งหมดที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์แสดงผล และอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลของคอมพิวเตอร์ (คีย์บอร์ดและเมาส์) และส่วนโปรแกรม หมายถึง โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัด และแสดงผลการประเมินในรูปแบบกราฟิก รวมทั้งจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดของผู้รับการประเมินในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบทั้งสองส่วนจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2 ถึง 4

2.การออกแบบและวิเคราะห์ส่วนโครงสร้าง

ส่วนโครงสร้างของระบบประเมินความสามารถในการทรงตัวถูกออกแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks แบ่งออกเป็น 2 ส่วน แสดงดังภาพที่ 2 (ก) อันได้แก่ (1) ฐานอุปกรณ์ตรวจวัด และ (2) ชุดประมวลผลและแสดงผล เพื่อให้อุปกรณ์นี้ใช้งานได้อย่างสะดวกและมีโครงสร้างที่ไม่ใหญ่หรือซับซ้อนจนเกินไป สามารถปรับระยะห่างระหว่างส่วนแสดงผลและส่วนฐานอุปกรณ์ตรวจวัดได้ตามความเหมาะสม ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานและสะดวกต่อการจัดเก็บ อีกทั้งยังสามารถใช้ร่วมกับราวคูชุนานฝึกเดินสำหรับจับเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานที่พบได้ในสถานพยาบาลหรือคลินิกกายภาพบำบัดโดยทั่วไป และระบบที่สร้างจริงแสดงดังภาพที่ 2 (ข)

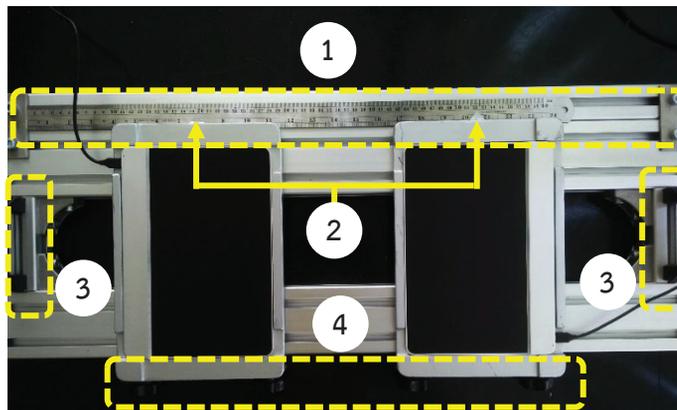
ส่วนโครงสร้างใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 40x40 มิลลิเมตร เป็นวัสดุหลัก เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ทั่วไปและง่ายต่อการประกอบ โดยในการออกแบบเริ่มจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเมื่อมีแรงกดจากน้ำหนักมากระทำ เพื่อความปลอดภัยของผู้รับการประเมินและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ตรวจวัดก่อนการสร้างชิ้นงานจริง



ภาพที่ 2 ส่วนโครงสร้างของระบบ (ก) ต้นแบบจาก SolidWorks และ (ข) ระบบที่สร้างขึ้นจริง

ในการออกแบบส่วนฐานอุปกรณ์ตรวจวัด จะต้องสามารถรองรับผู้รับการประเมินที่มีน้ำหนักไม่เกิน 120 กิโลกรัมได้ และปรับการใช้งานให้เหมาะสมได้ตามสรีระของแต่ละคน ดังนั้น จึงได้มีการออกแบบแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor support plate) ซึ่งเป็นส่วนสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกด ให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดได้ตามระยะห่างระหว่างเท้าทั้งสอง

ข้างได้ แสดงดังภาพที่ 3 โดยใช้ไม้บรรทัดติดตั้งอยู่ปลายด้านบนของฐานอุปกรณ์ตรวจวัดและมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่งขึ้นบนสเกลของไม้บรรทัดสำหรับใช้อ้างอิงตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละตัว มีกลไกการล็อกด้วยการหมุนเกลียว เพื่อป้องกันการเลื่อนของแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละข้าง และมีที่จับทางด้านซ้ายและขวาสำหรับยกฐานอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อให้สะดวกต่อการขนย้าย



ภาพที่ 3 ฐานอุปกรณ์ตรวจวัดประกอบด้วย การปรับระยะห่างระหว่างเท้าโดยใช้ (1) ไม้บรรทัด และ (2) ตัวชี้ค่าสเกล ของไม้บรรทัด (3) ที่จับสำหรับการยก และ (4) กลไกการล็อกแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัด

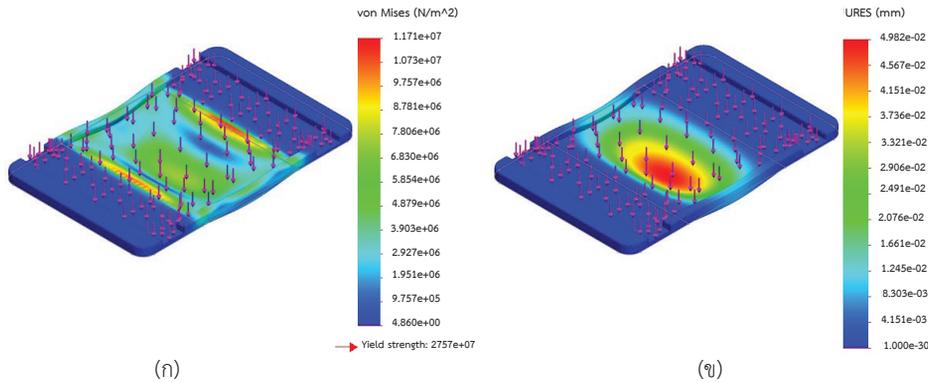
หลังจากนั้น โครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความเค้น (Stress) และระยะการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากแรงกดต่อแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัด โดยใช้วิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method, FEM)

เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของอุปกรณ์ โดยกำหนดให้มีแรงกดรวม 80 กิโลกรัม ต่อ 1 อุปกรณ์ตรวจวัด หรือคิดเป็นแรงเท่ากับ 784.8 N และกำหนดตาข่าย (Mesh) โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation ผลการจำลองการ



ทดสอบหาความเค้นเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวัสดุ แสดงดังภาพที่ 4 (ก) แสดงความเค้นสูงสุดมีค่าอยู่ที่ $1.171 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ซึ่งน้อยกว่าค่า Yield stress ของอลูมิเนียม 1060 ที่มีค่า Yield stress อยู่ที่ $2.757 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดที่ออกแบบไว้สามารถรองรับแรงกดได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายและมีระยะ

การเสียรูปสูงสุดที่ $4.982 \times 10^{-2} \text{ mm}$ ดังภาพที่ 4 (ข) ซึ่งสรุปได้ว่าแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดที่ออกแบบไว้แต่ละอันสามารถรับน้ำหนัก 80 กิโลกรัมได้ และเมื่อใช้งาน 2 ช่างพร้อมกัน จะสามารถรับน้ำหนักได้ 160 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดในการออกแบบที่ 120 กิโลกรัม



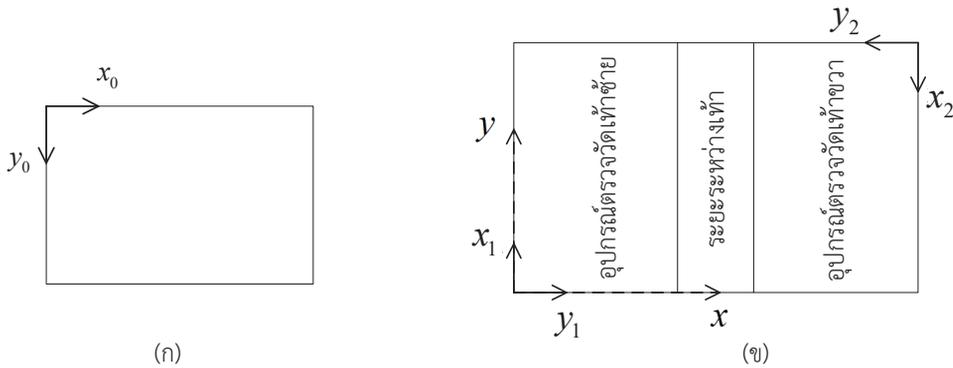
ภาพที่ 4 ผลการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัด (ก) ค่าความเค้น และ (ข) ระยะการเสียรูป

3.ระบบการวัดและการคำนวณค่าจุดศูนย์กลางความดัน (COP)

อุปกรณ์ตรวจวัดความดันที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า Sensel Morph เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความดันที่มีตัวตรวจวัดย่อยอยู่ภายใน มีจำนวน 185 ตัวในแนวนอน (x_0) และจำนวน 105 ตัวในแนวตั้ง (y_0) หรือรวมกัน 19,425 ตัว มีระยะห่างของระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดย่อยแต่ละตัวเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร โดยแต่ละตัวสามารถวัดค่าแรงกดได้ระหว่าง 5 กรัม ถึง 5 กิโลกรัม และค่าความเข้มของข้อมูลแบ่งออกเป็น 30,000 ระดับการวัด โดยมีค่าการตอบสนองที่ความละเอียดการวัดสูงสุดเท่ากับ 8 มิลลิวินาที และสามารถส่งข้อมูลแบบดิจิทัลไปยังคอมพิวเตอร์ได้

ที่แผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor support plate) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสองชุด ที่มีพิกัดอ้างอิงของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังภาพที่ 5 (ก) ที่อยู่ในพิกัดพิกเซลของข้อมูล (x_0, y_0) ถูกเปลี่ยนเป็นพิกัดระยะทาง (เซนติเมตร) โดยตำแหน่งของแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดอ้างอิงกับพิกัดของระบบการวัด (x, y) ดังภาพที่ 5 (ข) และกำหนดให้ข้อมูลความดันอยู่ในรูปของ $P(x_i, y_j)$ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับเท้าซ้าย (x_1, y_1) ต้องหมุนทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา ส่วนข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับเท้าขวา (x_2, y_2) หมุนทิศทางตามเข็มนาฬิกา 90 องศา และรวมกับค่าระยะห่างระหว่างเท้า โดยระยะห่างระหว่างเท้านำมาจากการป้อนข้อมูลของผู้รับการประเมิน

- โดยที่ x_i คือ ค่าตำแหน่งในแนวนอน x ของหน่วยย่อยของอุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ i (เซนติเมตร)
- y_j คือ ค่าตำแหน่งในแนวนอน y ของหน่วยย่อยของอุปกรณ์ตรวจวัดตัวที่ j (เซนติเมตร)
- n, m คือ จำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดย่อยในแกนแนวนอนและแกนตั้ง



ภาพที่ 5 พิกัดอ้างอิง (ก) อุปกรณ์ตรวจวัด และ (ข) ระบบการวัดของแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดรวมทั้งสองเท้า

จากข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดที่รับค่าความดันของเท้าซ้าย $(P(x_{i,L}, y_{j,L}))$ และเท้าขวา $(P(x_{i,R}, y_{j,R}))$ จะได้ค่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแรงกดของเท้าแต่ละข้าง

และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลเป็นค่าร้อยละอัตราส่วนของความดันเท้าซ้ายและเท้าขวา (DP_{LR}) โดยคำนวณจาก

$$DP_{LR} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,L}, y_{j,L}))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,R}, y_{j,R}))} - 1 \right] \times 100\% \quad (1)$$

ค่าจุดศูนย์กลางความดันเท้าซ้าย $COP_L(x, y)$ และเท้าขวา $COP_R(x, y)$ คำนวณจาก

$$COP_L(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,L} P(x_{i,L}, y_{j,L}))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,L}, y_{j,L}))}, \quad COP_L(y) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{j,L} P(x_{i,L}, y_{j,L}))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,L}, y_{j,L}))} \quad (2)$$

$$COP_R(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,R} P(x_{i,R}, y_{j,R}))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,R}, y_{j,R}))}, \quad COP_R(y) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{j,R} P(x_{i,R}, y_{j,R}))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_{i,R}, y_{j,R}))} \quad (3)$$

เส้นกึ่งกลางความดันเท้าซ้ายและเท้าขวา (C_{LR}) ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงระยะกลางของยืนของผู้รับการประเมิน เป็นค่าเฉลี่ยของค่าจุดศูนย์กลางความดันเท้าซ้ายและเท้าขวา คำนวณได้จาก

$$C_{LR} = \frac{COP_L(x) + COP_L(y)}{2} \quad (4)$$

ค่าจุดศูนย์กลางความดัน $COP(x, y)$ คำนวณได้จากชุดข้อมูลรวมของระบบพิกัด

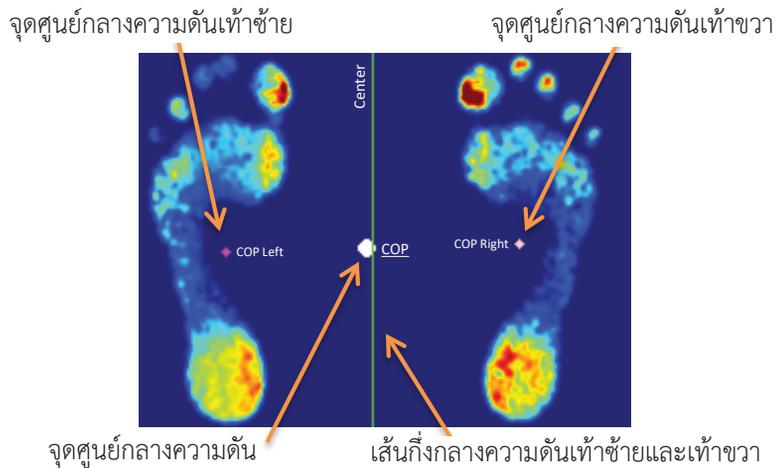


$$COP(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_i P(x_i, y_j))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_i, y_j))}, \quad COP(y) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_j P(x_i, y_j))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P(x_i, y_j))} \quad (5)$$

ระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดัน (D_{COP}) เป็นค่าความแตกต่างของค่าจุดศูนย์กลางความดันและเส้นกึ่งกลางความดันเท้าซ้ายและเท้าขวา (เช่นติเมตร) ใช้ในการระบุว่าผู้รับการประเมินยืนลงน้ำหนักเอียงไปทางซ้าย ทางขวา หรือยืนปกติ ซึ่งเป็นการนำค่าที่ได้จากการลงน้ำหนักมาประมวลผล ด้วยการเปรียบเทียบกับเส้นกึ่งกลางความดันเท้าซ้ายและ

ขวาซึ่งแทนตำแหน่งกึ่งกลางของการลงน้ำหนัก แสดงดังภาพที่ 6 กรณีที่ผู้รับการประเมินมีค่าจุดศูนย์กลางความดันเอียงไปทางซ้ายจะมีค่าระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันเป็นค่าลบ เมื่อเอียงไปทางขวาจะมีค่าดังกล่าวเป็นค่าบวก และเมื่อยืนปกติจะได้ค่าใกล้เคียงศูนย์

$$D_{COP} = COP(x) - C_{LR} \quad (6)$$



ภาพที่ 6 ค่าจุดศูนย์กลางความดัน $COP(x, y)$ จุดศูนย์กลางความดันเท้าซ้าย $COP_L(x, y)$ จุดศูนย์กลางความดันเท้าขวา $COP_R(x, y)$ และเส้นกึ่งกลางความดันเท้าซ้ายและเท้าขวา (C_{LR})

4.การออกแบบส่วนโปรแกรม

4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ผู้ใช้งานระบบได้แก่ นักกายภาพบำบัดหรือบุคลากรทางการแพทย์ประจำสถานพยาบาล การใช้งานของระบบ เริ่มต้นจากผู้ใช้งานระบบวัดระยะห่างระหว่างเท้าของผู้รับการประเมินและปรับระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับอุปกรณ์ตรวจวัดตามค่าดังกล่าว รวมทั้งกรอกรายละเอียดของผู้รับการประเมินลงในโปรแกรม จากนั้นให้ผู้รับการประเมินขึ้นไปยืนบนเครื่องและกดบันทึกค่าจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย

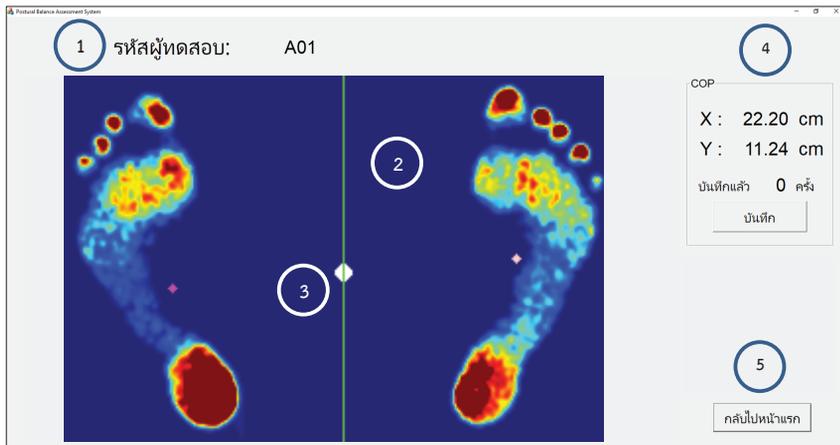
4.2 การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้แบบกราฟิก

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาซีพลัสพลัส โดยใช้ Microsoft Visual Studio 2017 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 10 โดยหน้าทดสอบของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 7

4.3 การบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ

เมื่อกดปุ่มบันทึก โปรแกรมจะทำการจัดเก็บข้อมูลของผู้รับการประเมินและค่าจุดศูนย์กลางความดันในรูปแบบของไฟล์ CSV (Comma-separated values) นอกจากนี้โปรแกรมยังได้บันทึกไฟล์รูปภาพกราฟิกแสดง

แรงกดจากเท้าของผู้รับการประเมิน และข้อมูลดิบที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสามารถนำไปเปิดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel แล้วนำมาพล็อตกราฟหรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ได้ต่อไป

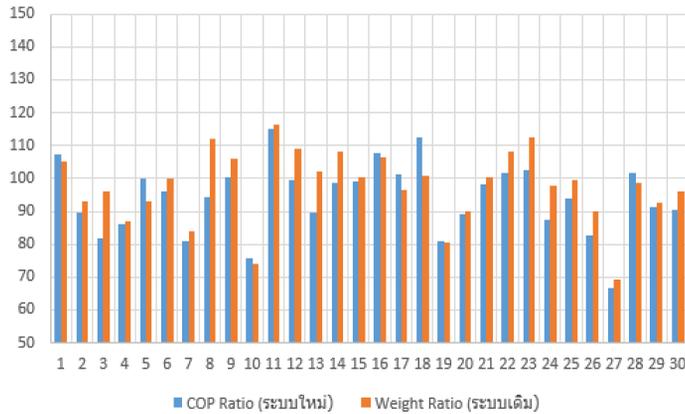


ภาพที่ 7 หน้าทดสอบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นซึ่งแสดงผลการประเมินความสามารถในการทรงตัวแบบกราฟิกประกอบด้วย (1) รหัสผู้รับการประเมิน, (2) หน้าจอกราฟิกแสดงแรงกดที่เท้า โดยมีเส้นสีเขียวเป็นเส้นกึ่งกลางระหว่างเท้าทั้งสองข้าง, (3) วงกลมแสดงตำแหน่ง COP รวม COP เท้าซ้าย และ COP เท้าขวา (4) ค่าตำแหน่ง COP รวม และปุ่มบันทึก และ (5) ปุ่มกลับไปหน้าแรก

ผลการวิจัย

ในการทดสอบระบบวัดค่าจุดศูนย์กลางความดัน (COP) แบบเวลาจริงเพื่อประเมินความสามารถในการทรงตัวขณะยืนนิ่งในผู้สูงอายุ (ระบบใหม่) มีการเปรียบเทียบข้อมูลกับระบบเดิมที่ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก โดยเก็บข้อมูลจากการทดสอบกับกลุ่มผู้รับการประเมิน ซึ่งเป็นผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 60 ถึง 89 ปี จำนวน 30 คน ที่มาเข้ารับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเมืองใหม่บางพลี ซึ่งเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เฉพาะเจาะจงในเชิงพื้นที่ในขั้นตอนการทดลองได้กำหนดให้ผู้รับการประเมินทุกคนยืนนิ่งและทรงตัวจำนวน 3 ครั้ง โดยใช้ระบบเดิมและระบบใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลและหาค่าเฉลี่ยและนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน

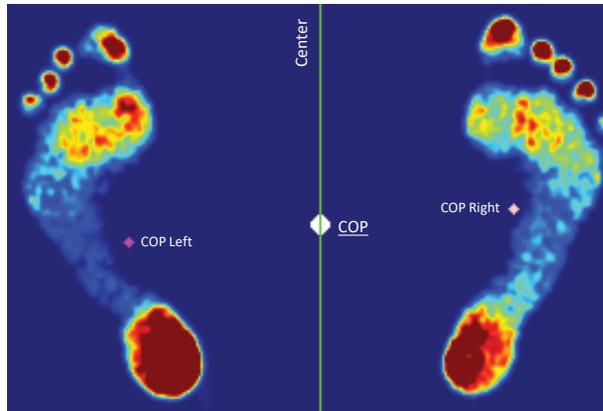
ระบบเดิมใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแสดงค่าน้ำหนักของเท้าซ้ายและขวาโดยใช้คนจดบันทึกค่าเพื่อนำมาคำนวณค่าร้อยละอัตราส่วนน้ำหนักเท้าซ้ายและเท้าขวา ส่วนระบบใหม่ใช้การตรวจวัดความดันส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลค่าต่าง ๆ โดยข้อมูลการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแรงกดของเท้าแต่ละข้างจะถูกนำมาคำนวณหาค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวา (DP_{LR}) ผลการเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 8 โดยค่าในแนวแกน Y เท่ากับ 100 หมายถึงการลงน้ำหนักเท่ากันระหว่างเท้าซ้ายและเท้าขวา ซึ่งกราฟที่ได้แสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างผลการประเมินที่ได้จากระบบเดิมและระบบใหม่ โดยมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.54 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.00



ภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบผลการประเมินการทรงตัวระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

ภาพที่ 9 แสดงผลของผู้สูงอายุเพศชาย อายุ 76 ความสูง 157 มีระยะห่างระหว่างเท้า 25 เซนติเมตร น้ำหนัก 46 กิโลกรัม พบว่ามีค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาเท่ากับ -1.80 และมีระยะเอียงค่าศูนย์กลางความ

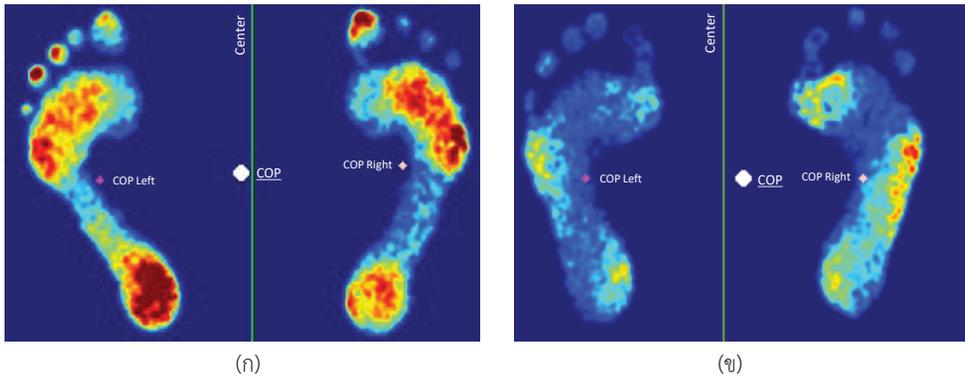
ดันเท่ากับ -0.10 เซนติเมตร โดยข้อมูลดังกล่าวสรุปว่าผู้รับการประเมินมีความสามารถในการทรงตัวขณะยืนนิ่งได้ดี โดยมีค่าจุดศูนย์กลางความดันอยู่ใกล้เคียงจุดกึ่งกลางระหว่างเท้า



ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลการประเมินที่มีระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดันใกล้เคียงศูนย์

ภาพที่ 10 (ก) แสดงผลของผู้สูงอายุเพศหญิง อายุ 73 ความสูง 162 มีระยะห่างระหว่างเท้า 23 เซนติเมตร น้ำหนัก 64 กิโลกรัม พบว่ามีค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาเท่ากับ -14.93 และมีระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดันเท่ากับ -0.77 เซนติเมตร โดยข้อมูลดังกล่าวสรุปว่าผู้รับการประเมินมีแนวโน้มการยืนเอียงไปทางด้านซ้าย

ภาพที่ 10 (ข) แสดงผลของผู้สูงอายุเพศหญิง อายุ 60 ความสูง 150 มีระยะห่างระหว่างเท้า 22 เซนติเมตร น้ำหนัก 48 กิโลกรัม พบว่ามีค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาเท่ากับ 24.19 และมีระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดันเท่ากับ 1.39 เซนติเมตร โดยข้อมูลดังกล่าวสรุปว่าผู้รับการประเมินมีแนวโน้มการยืนเอียงไปทางด้านขวาชัดเจน

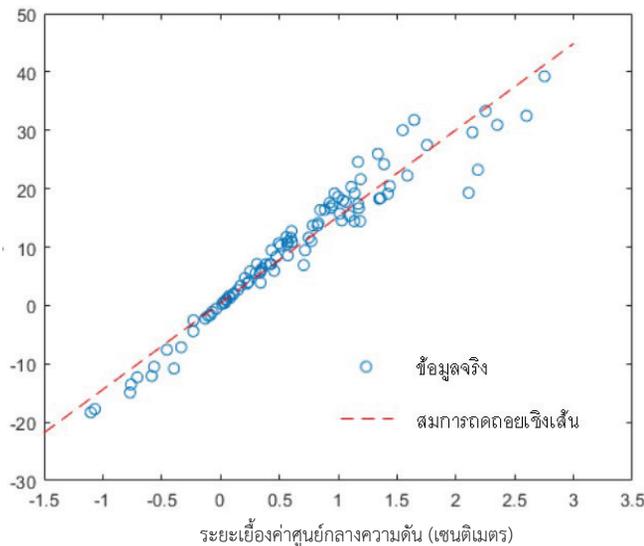


ภาพที่ 10 ตัวอย่างผลการประเมินที่มีค่าระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดัน (ก) เอียงซ้าย และ (ข) เอียงขวา

เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันเทียบกับค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาพบว่า เป็นสมการ

เชิงเส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 14.823 ค่าคงที่ของสมการถดถอยเท่ากับ 0.4081 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.94 ดังภาพที่ 11

ความแตกต่างความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวา (ร้อยละ)



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันกับค่าร้อยละความแตกต่างความดัน ของเท้าซ้ายและเท้าขวา

จากกลุ่มผู้รับการประเมินจะมีการยื่นปกติร้อยละ 36.6 ยื่นเอียงซ้ายเล็กน้อยและเอียงขวาน้อยเท่ากัน ร้อยละ 6.7 ยื่นเอียงซ้ายร้อยละ 10 ยื่นเอียงขวาร้อยละ 20 และยื่นเอียงขวามากร้อยละ 20 เมื่อจัดกลุ่มพฤติกรรมกร ยื่นเอียงด้วยค่าเฉลี่ยระยะเยื้องค่าศูนย์กลางความดันรายบุคคล (\bar{D}_{COP}) ดังต่อไปนี้

- โดยกรยื่นปกติเมื่อ $-0.25 < \bar{D}_{COP} < 0.25$
- กรยื่นเอียงซ้ายเล็กน้อยเมื่อ $-0.50 < \bar{D}_{COP} \leq 0.25$
- กรยื่นเอียงขวาน้อยเมื่อ $-1.00 < \bar{D}_{COP} \leq -0.50$
- กรยื่นเอียงซ้ายเมื่อ $\bar{D}_{COP} \leq -1.00$
- กรยื่นเอียงขวาเมื่อ $0.25 \leq \bar{D}_{COP} < 0.50$
- กรยื่นเอียงซ้ายมากเมื่อ $0.50 \leq \bar{D}_{COP} < 1.00$
- กรยื่นเอียงขวามากเมื่อ $\bar{D}_{COP} \geq 1.00$



จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบใหม่เปรียบเทียบกับระบบเดิม ได้แก่ การใช้งานง่าย ความสามารถในการอ่านค่าหรือบันทึกข้อมูลทำได้ง่าย การมีจอแสดงผลชัดเจน ความสามารถปรับระยะระหว่างเท้าได้ การแสดงผลได้ถูกต้อง และความเร็วในการแสดงผลจากระดับ 1 “มีความพึงพอใจน้อยมาก (Very Poor)” ถึงระดับ 5 “มีความพึงพอใจดีมาก (Excellent)” พบว่าผลการประเมินเฉลี่ยของระบบเดิมอยู่ระหว่าง 3.52 ถึง 3.94 คะแนน และระบบใหม่อยู่ระหว่าง 4.67 ถึง 4.81 คะแนน โดยรวมระบบใหม่มีคะแนนเฉลี่ยในทุกหัวข้อเพิ่มขึ้น 0.965 คะแนน เมื่อเทียบกับระบบเดิม

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็น การพัฒนาระบบประเมินความสามารถในการทรงตัวขณะยืนนิ่งในผู้สูงอายุ โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความดันและแสดงผลลัพธ์ของการประเมินได้แบบเวลาจริง ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ คือ อ่านค่าและบันทึกผลได้ง่าย และการแสดงผลที่รวดเร็วแบบเวลาจริง สามารถบอกพฤติกรรมการยืนเอียงซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจากระบบเดิมซึ่งใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 อัน จากการทดสอบกับกลุ่มผู้รับการประเมินที่เป็นผู้สูงอายุจำนวน 30 คน พบว่า ค่าร้อยละอัตราส่วนความดันของเท้าซ้ายและเท้าขวาที่ได้จากระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับค่าร้อยละอัตราส่วนน้ำหนักเท้าซ้ายและเท้าขวาที่ได้จากระบบเดิม โดยพบว่ามี ความแปรปรวนเนื่องจากพฤติกรรมกรดยืนในแต่ละครั้งของผู้สูงอายุมีความไม่แน่นอน และจากการนำค่าจุดศูนย์กลางความดันที่ได้มาประมวลผลเพื่อหาค่าระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดัน โดยอาศัยการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดันกับค่าอัตราส่วนความแตกต่างการลงน้ำหนักเท้าของระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งแสดงว่าค่าจุดศูนย์กลางความดันที่ได้สามารถใช้ประเมินความสามารถในการทรงตัวได้ เมื่อสรุปผลกลุ่มผู้รับการประเมินนี้พบว่ามีพฤติกรรมยืนปกติหรือเอียงเล็กน้อยเท่ากับ

ร้อยละ 50 มีการยืนเอียงซ้ายร้อยละ 10 และยืนเอียงขวา ร้อยละ 40 และผู้รับการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยระยะเอียงค่าศูนย์กลางความดันรายบุคคลสูงสุด 2.25 เซนติเมตร โดยในอนาคต ระบบที่นำเสนอนี้สามารถต่อยอดด้วยการนำข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลผลเพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางความดันในการทำนายหรือระบุความสามารถในการทรงตัว ในขณะที่เคลื่อนที่ รวมทั้งเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับท่าทางที่ได้จากกล้องเพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมร่วมกับการใช้ค่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแรงกดและค่าจุดศูนย์กลางความดันโดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้ในการวินิจฉัยและติดตามผลการประเมินเสถียรภาพในการทรงตัวของผู้รับการประเมินเป็นรายบุคคลได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากทุนวิจัยโครงการวิจัยแบบบูรณาการ ประจำปีงบประมาณ 2562 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกระทรวงการพัฒนาศักยภาพ และความมั่นคงของมนุษย์. ประชากรสูงอายุไทย: ปัจจุบันและอนาคต. กรุงเทพฯ: กระทรวงการพัฒนาศักยภาพและความมั่นคงของมนุษย์; 2557.
2. ชมพูนุช พรหมภักดี. การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา; 2556.
3. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564. กรุงเทพฯ: สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม; 2564.
4. ปริศนา รณสีดา. การป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุในชุมชน: บทบาทพยาบาลกับการดูแลสุขภาพที่บ้าน. วารสารพยาบาลสภาวิชาชีพไทย 2561;11(2):15-25.



5. Thierry P, Frédéric N. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Res Int* 2015;2015:1–15.
6. Samir B, Mokhtar A, Youcef R. Force platform for postural balance analysis. In: 2012 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA) 2-5 July 2012; Montreal, Canada; 2012. p. 854-8.
7. Octavian AP, Pedro SG, Alberto L, Francisco JF, José MDP, Gabriela P. Postural balance analysis using force platform for K-theragame users. In: 2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) 15-18 May 2016; Benevento, Italy; 2016. p. 1-6.
8. Baoliang C, Peng L, Feiyun X, Zhengshi L, Yong W. Review of the Upright Balance Assessment Based on the Force Plate. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(2696):1-14.
9. Lorcan W, Barry RG, Denise M, Adrian B, Brian C. Development and Validation of a Clinic Based Balance Assessment Technology. In: 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS 30 August - 3 September 2011; Boston, USA; 2011. p. 1327-30.
10. Hussein AG, Serge M, Jean-Marc G. A real time study of the human equilibrium using an instrumented insole with 3 pressure sensors. In: 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 26-30 August 2014; Chicago, USA; 2014. p. 4968-71.
11. Amit KV, Srinivas P, Anoop KG, Sneha A, Sunil L, Deepak J. An instrumented flexible insole for wireless COP monitoring. In: 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) 3-5 July 2017; Delhi, India; 2017. p. 1-5.
12. Martin GJ. Assessment of postural balance in community dwelling older adults. *Dan Med J* 2014;61(1):1-20.



การเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมว
ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
The Comparison of rosmarinic acid in *Orthosiphon aristatus* extract
by high performance liquid chromatography

ชลชิต คำพันธ์^{1,2} รณชัย ภูวันนา¹ ปานิชา พงศ์นราทร¹ เพ็ญศิริ จันท์แอ¹ วรินทร์ โอนอ่อน¹
และ นฤวัตร์ ภัคดี^{1*}

¹สาขาวิชาแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตสกลนคร สกลนคร 47160

²วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร พิษณุโลก 65130

Chonlachid kamphan^{1,2}, Ronnachai Poowanna¹, Panicha Pongnaratorn¹,
Pensiri Chan-ae¹, Warin Ohnon¹ and Naruwat Pakdee^{1*}

¹Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Natural Resources Rajamangala University of
Technology Isan, Sakon Nakhon Campus 47160

²Sirindhorn College of Public health, Phitsanulok 65130

Received: 18 August 2022/ Revised: 20 October 2022/ Accepted: 25 October 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมว (*Orthosiphon aristatus*) ที่สกัดด้วย 70% เอทานอล จากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน 10 แหล่ง ทดสอบด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง และโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่าแหล่งที่ได้ปริมาณผลผลิตของสารสกัดหายาบสูงที่สุด คือ จังหวัดปราจีนบุรี เท่ากับ 13.12 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตต่ำที่สุด คือ จังหวัดเชียงราย เท่ากับ 6.66 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง พบลักษณะรอยพิมพ์ลายนิ้วมือตรงกันทั้งหมด และตำแหน่งแถบสารที่ค่า (Retardation factor, R_f) เท่ากับ 0.35 ตรงกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก ผลการทดสอบด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงพบรีเทนชันไทม์ของกรดโรสมารินิกเท่ากับ 12.50 นาที และมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น (λ_{max}) เท่ากับ 329 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิก พบว่าจังหวัดนครนายกมีปริมาณกรดโรสมารินิกมากที่สุดเท่ากับ 350.86 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ร้อยละ 1.75) ส่วนหญ้าหนวดแมวที่มาจากจังหวัดยะลาปริมาณกรดโรสมารินิกน้อยที่สุดเท่ากับ 81.16 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ร้อยละ 0.41) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วย HPLC ได้มีการทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ พบค่า



R^2 เท่ากับ 0.9997 %recovery ร้อยละ 99.74–108.02 ค่าความแม่นยำภายในวันและระหว่างวัน มีค่า %RSD เท่ากับ 0.1 – 1.9 และ 0.3 – 0.6 ตามลำดับ นอกจากนั้นค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.06 และ 0.17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์กรดโรสมารินิกในหญ้าหนวดแมว

คำสำคัญ: หญ้าหนวดแมว, กรดโรสมารินิก, โครมาโทกราฟีแบบผิวบาง, โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Abstract

The objective of this study is to compare the amount of rosmarinic acid in *Orthosiphon aristatus* extract from 10 different origins. The methods were used thin layer chromatography and high-performance liquid chromatography. The leaves of *Orthosiphon aristatus* were extracted with 70% ethanol. The results showed that crude extracts from Prachinburi province were found the highest yield at 13.12 % while Chiang Rai province had the lowest yield (6.66 %). TLC fingerprints showed a similar pattern and a spot at retardation factor (R_f) value of 0.35 was identified as standard rosmarinic acid. According to the high-performance liquid chromatography, λ_{max} was 329 nm and the retention time was 12.50 minutes. Nakhon Nayok province has the greatest amount of 350.86 microgram/ml (1.75%) of rosmarinic acid among the planting sites while Yala province has the lowest at 81.16 microgram/ml (0.41 %). The method validation of the HPLC technique demonstrated good linearity and represented a high correlation coefficient value (R^2) were 0.9997, %recovery was 99.74 – 108.02. Intra-day and inter-day precisions were showed %RSD value 0.1 – 1.9 and 0.3 – 0.6, respectively. In addition, LOD and LOQ were 0.06 and 0.17 micrograms/milliliter, respectively. It has been demonstrated that this method can accurately and consistently analyze the rosmarinic acid in *Orthosiphon aristatus*.

Keyword: *Orthosiphon aristatus*, Rosmarinic acid, Thin layer chromatography, High performance liquid chromatography

บทนำ

หญ้าหนวดแมว (*Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. หรือ *Orthosiphon stamineus* Benth.) อยู่ในวงศ์ Lamiaceae พบทั่วไปในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย รสชาติค่อนข้างขม และรสเค็ม [1] มีสรรพคุณลดไข้ ขับปัสสาวะ ขับนิ่ว และยังสามารถใช้รักษาโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ โรคเบาหวาน โรคไขข้ออักเสบ โรคเก๊าท์ และโรคไต เป็นต้น [2] มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม phenolic compound ได้แก่ กรดโรสมารินิก (rosmarinic acid) 3'

- hydroxy-5, 6, 7, 4' tetramethoxyflavone (TMF) ไชเนนเซติน (sinensetin) และยูพาโทริน (eupatorin) เป็นต้น [3] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารสกัดจากหญ้าหนวดแมวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [4-6] ต้านการอักเสบ [5-7] ต้านมะเร็งต่อมลูกหมาก [8, 9] ต้านการสร้างหลอดเลือดใหม่ [10] ต้านเบาหวาน [4, 7, 10, 11] ต้านเชื้อเอชไอวี [12] และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [4, 5, 10] โดยสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาข้างต้นคือ กรดโรสมารินิก นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหนวดแมวที่มาจากแหล่งต่างกันด้วยวิธีทางโครมาโทกราฟี



แบบผิวบาง [13, 14] และวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง [15] พบว่ามืองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้กรดโรสมารินิกในการรักษาในผู้ป่วยโรคผื่นภูมิแพ้ผิวหนัง (atopic dermatitis) [16] และมีการนำไปใช้ในการต้านการอักเสบด้านภูมิแพ้ในผู้ป่วยภูมิแพ้ตามฤดูกาล (seasonal allergic rhinoconjunctivitis) [17] อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่ได้มีการศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหนวดแมวจากพื้นที่ต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมว จากแหล่งปลูกหญ้าหนวดแมว 10 แหล่ง ใน 5 ภูมิภาคของประเทศไทย คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออก ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง และวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกแหล่งปลูกหญ้าหนวดแมวที่มีคุณภาพและมีปริมาณสารสำคัญที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทางการแพทย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างสมุนไพร

ตัวอย่างหญ้าหนวดแมวที่เก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน จาก 10 แหล่งเพาะปลูก นำมาตากแห้ง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง นำไปบด แล้วร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 80 จากนั้นนำผงหญ้าหนวดแมวแห้ง ตัวอย่างละ 50 กรัม เติมน้ำ 70% เอทานอล ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator นำสารสกัดเก็บที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้งาน

การทดสอบด้วย Thin Layer Chromatography (TLC)

เตรียมสารสกัดหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกต่าง ๆ และสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก ละลายด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้นตัวอย่างละ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นหยดตัวอย่างปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง (TLC) ที่เคลือบด้วย silica gel

60 GF254 (Merck) ขนาด 10 x 12 เซนติเมตร ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็น โทลูอีน เอทิลอะซิเตท และกรดฟอร์มิก (toluene: ethyl acetate: formic acid) ในอัตราส่วน 9:9:1 วางแผ่น TLC ให้วัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนไปจากจุดเริ่มต้น จนถึง solvent front นำแผ่นโครมาโทกราฟีออกมาวางให้แห้ง ตรวจสอบผลการแยกสารภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ที่ความยาวคลื่น 254 และ 366 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณค่า R_f ของแถบสารสกัดที่พบ

การทดสอบด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

เตรียมตัวอย่างสารสกัดหญ้าหนวดแมว ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเอทานอล กรองผ่าน membrane syringe filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ปริมาตรที่ฉีด 20 ไมโครลิตร วัฏภาคเคลื่อนที่คือ 0.1% กรดฟอร์มิก ในน้ำ (0.1% formic acid in water: A) และอะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile: B) เซคอลัมน์แบบ gradient program แสดงดังตารางที่ 1 วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC – DAD system (Shi-madzu, Kyoto, Japan) ใช้คอลัมน์ C18 (5 ไมโครเมตร, 4.6 x 250 มิลลิเมตร) อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร/นาที [6] คำนวณหาปริมาณกรดโรสมารินิก เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิกในช่วงความเข้มข้น 50-800 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิกในตัวอย่างหญ้าหนวดแมว ในหน่วยกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (g/100g DW)

การทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของวิธีการวิเคราะห์ (Method validation)

การทดสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity) นำสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิก ความเข้มข้น 50, 100, 200, 400 และ 800 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์ด้วย HPLC จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับพื้นที่ใต้กราฟ และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2)

**ตารางที่ 1** ภูมิภาคเคลื่อนที่แบบ gradient program

เวลา (นาที)	B (%)
0.0 - 3.0	80
3.1 - 6.0	70
6.1 - 11.0	60
11.1 - 14.0	55
14.1 - 19.0	5
19.1 - 24.0	5
24.1 - 28.0	2
28.1 - 30.0	0

การหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) โดยฉีดสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิก ความเข้มข้น 50, 100 และ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยทำการฉีดซ้ำ 3 ครั้งคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืนของสารละลายมาตรฐาน (%recovery)

การหาความเที่ยงของเครื่องมือ (Precision) ทดสอบโดยนำสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิก ความเข้มข้น 100, 200 และ 800 µg/ml ปริมาตร 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์โดย HPLC โดยทำการฉีดซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณหาค่าความเที่ยงของเครื่องมือในรูปของร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) หาค่าความเที่ยงภายในวัน (intra-day precision) และหาค่าความเที่ยงระหว่างวัน (inter-day precision)

การศึกษาหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of detection, LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง (Limit of quantitation, LOQ) โดยพิจารณาจากความเข้มข้นที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณของสารละลายมาตรฐานและสัญญาณรบกวน (S/N) เท่ากับ 3 และ 10 สำหรับ LOD และ LOQ ตามลำดับ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน วิเคราะห์ด้วยการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ One-way analysis of variance (ANOVA) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัย

สารสกัดหยาบของหญ้าหนวดแมวที่สกัดด้วย 70% เอทานอล จากแหล่งเพาะปลูกทั้ง 10 แหล่งในประเทศไทย พบว่าทั้ง 10 ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล มีระดับสีเข้ม-อ่อนต่างกันเล็กน้อย โดยแหล่งที่มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด (%Yield) คือ จังหวัดปราจีนบุรี รองลงมาคือ จังหวัดนครนายก และจังหวัดปัตตานี โดยมีปริมาณร้อยละผลผลิตเท่ากับ ร้อยละ 13.12, 12.78 และ 12.48 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกจังหวัดเชียงราย มีปริมาณน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 6.66 แสดงดังตารางที่ 2

ผลการทดสอบด้วย Thin Layer Chromatography

การวิเคราะห์สารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมว ทั้ง 10 ตัวอย่าง เทียบกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก เมื่อตรวจสอบภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร พบแถบที่บ่งชี้ตำแหน่งของสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก (R_f เท่ากับ 0.35) ในขณะที่ตำแหน่งอื่น ๆ ของสารสกัดไม่พบแถบที่บ่งชี้ตรงกับตำแหน่งของกรดโรสมารินิก การสังเกตที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร พบว่าสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก ปรากฏเห็นแถบสีน้ำเงิน (R_f เท่ากับ 0.35) และสารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมวมีแถบที่ปรากฏ



ตารางที่ 2 ลักษณะสี น้ำหนัก และร้อยละผลผลิตของสารสกัดหย้าหนดแมวจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

แหล่งที่มา	ลักษณะสีสารสกัด	น้ำหนักสารสกัดหย้าหนดแมว (g)	ร้อยละผลผลิต (%)
จังหวัดนครนายก (a)	สีน้ำตาลอ่อน	6.39	12.78
จังหวัดนครปฐม (b)	สีน้ำตาลเข้ม	4.73	9.46
จังหวัดนครสวรรค์ (c)	สีน้ำตาลเข้ม	3.40	6.80
จังหวัดเชียงราย (d)	สีน้ำตาลเข้ม	3.33	6.66
จังหวัดปราจีนบุรี (e)	สีน้ำตาลเข้ม	6.56	13.12
จังหวัดชลบุรี (f)	สีน้ำตาลเข้ม	5.04	10.08
จังหวัดนครราชสีมา (g)	สีน้ำตาลอ่อน	3.60	7.20
จังหวัดยโสธร (h)	สีน้ำตาลอ่อน	5.78	11.56
จังหวัดปัตตานี (i)	สีน้ำตาลอ่อน	6.24	12.48
จังหวัดยะลา (j)	สีน้ำตาลอ่อน	4.39	8.78

ชัดเจนไม่น้อยกว่า 7 แถบ (ภาพที่ 1) ค่า R_f ของแถบที่แยกได้จากสารสกัดหย้าหนดแมว แสดงดังตารางที่ 3

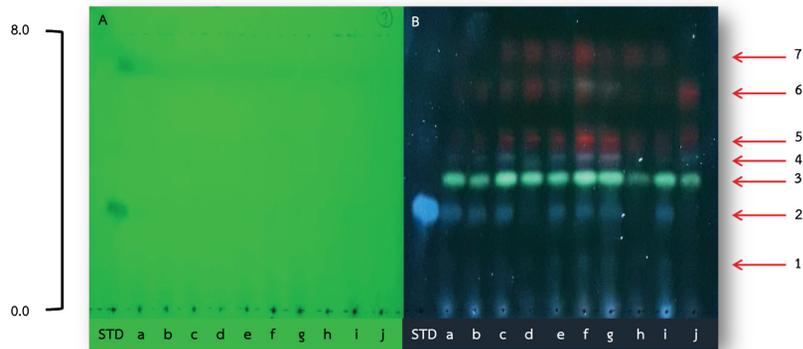
พบว่ามีลักษณะของโครมาโทแกรมที่คล้ายกัน โดยพีคที่ Retention time 12.50 นาที มีลักษณะสเปกตรัม และค่าดูดกลืนแสงมีความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) เท่ากับ 329 นาโนเมตร (ภาพที่ 2) ซึ่งตรงกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก แสดงดังภาพที่ 3

ผลการทดสอบด้วย High Performance Liquid Chromatography

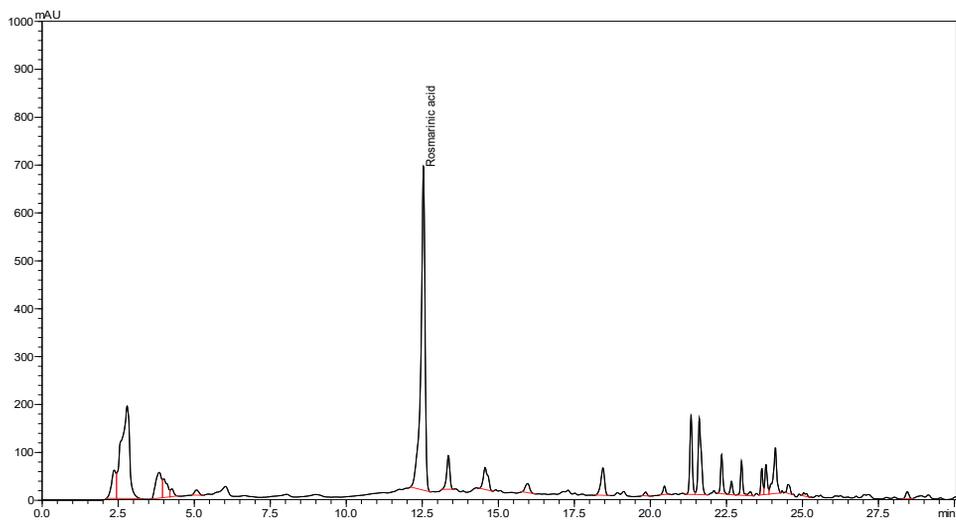
จากผลการทดลองโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงจากตัวอย่างหย้าหนดแมวทั้ง 10 แหล่ง

ตารางที่ 3 ลักษณะสี และค่า R_f ของแถบสารที่แยกได้จากสารสกัดหย้าหนดแมวโดยวิธี TLC

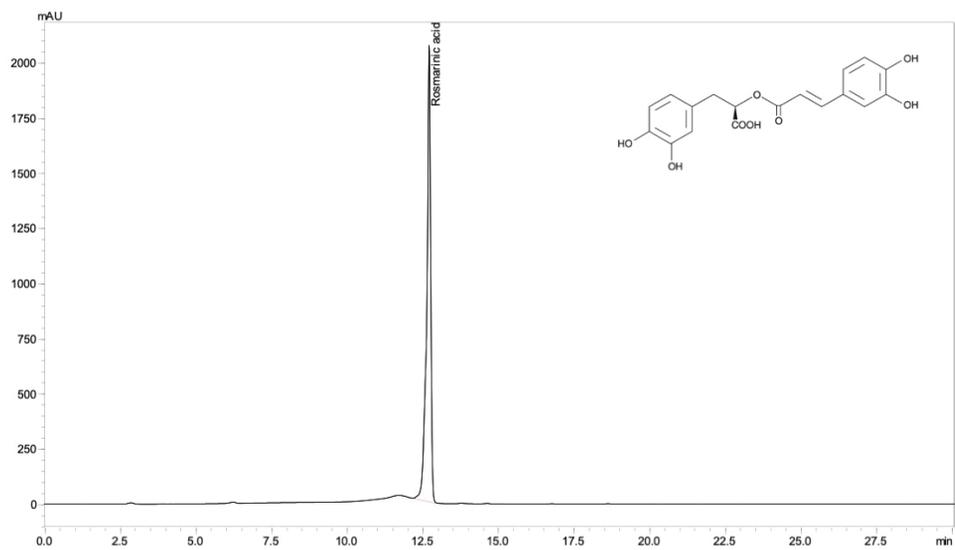
แถบสาร	ลักษณะสีของแถบสาร	R_f
1	สีน้ำเงิน (blue)	0.20
2	สีน้ำเงิน (blue)	0.35
3	สีเขียว (green)	0.38
4	สีฟ้า (light blue)	0.40
5	สีแดง (red)	0.50
6	สีแดงส้ม (red-orange)	0.60
7	สีแดงส้ม (red-orange)	0.70



ภาพที่ 1 TLC chromatogram ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 (A) และ 366 (B) นาโนเมตร



ภาพที่ 2 HPLC chromatogram ของสารสกัดหยาดหญ้าหนวดแมว



ภาพที่ 3 HPLC chromatogram ของสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก



การวิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัด
 หยาดหญ้าหนวดแมวทั้ง 10 แหล่งเพาะปลูก ส่วนใหญ่
 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 โดยสารสกัดหยาดหญ้าหนวดแมวจากจังหวัดนครนายกมี
 ปริมาณกรดโรสมารินิกสูงที่สุดเท่ากับ 350.86 (ร้อยละ 1.75)
 รองลงมาคือจังหวัดชลบุรีมีค่า เท่ากับ 319.93 ไมโครกรัม/
 มิลลิลิตร (ร้อยละ 1.60) และแหล่งที่พบปริมาณกรด

โรสมารินิก น้อยที่สุดคือจังหวัดยะลา เท่ากับ 81.16
 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ร้อยละ 0.41) อย่างไรก็ตาม เมื่อ
 เปรียบเทียบเป็นรายคู่ ยังพบว่าสารสกัดหยาดหญ้า
 หนวดแมว จากจังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดเชียงราย จังหวัด
 ปราจีนบุรี และจังหวัดนครราชสีมา ไม่มีความแตกต่างกัน
 ทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณและร้อยละกรดโรสมารินิกของหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

แหล่งตัวอย่าง	ปริมาณกรดโรสมารินิก* ($\mu\text{g/ml}$ extracts)	ร้อยละของปริมาณกรดโรสมารินิก (g/100g DW)
จังหวัดนครนายก (a)	350.86 \pm 0.06000 ^a	1.75
จังหวัดนครปฐม (b)	157.69 \pm 0.00882 ^b	0.79
จังหวัดนครสวรรค์ (c)	238.60 \pm 0.00333 ^c	1.19
จังหวัดเชียงราย (d)	199.96 \pm 0.17000 ^d	1.00
จังหวัดปราจีนบุรี (e)	225.42 \pm 0.01856 ^{c, e}	1.13
จังหวัดชลบุรี (f)	319.93 \pm 0.00577 ^f	1.60
จังหวัดนครราชสีมา (g)	207.58 \pm 0.00577 ^{d, e}	1.04
จังหวัดยโสธร (h)	103.41 \pm 0.00333 ^g	0.52
จังหวัดปัตตานี (i)	261.41 \pm 0.00577 ^h	1.31
จังหวัดยะลา (j)	81.16 \pm 0.00000 ⁱ	0.41

*ตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของวิธีการวิเคราะห์ (Method validation)

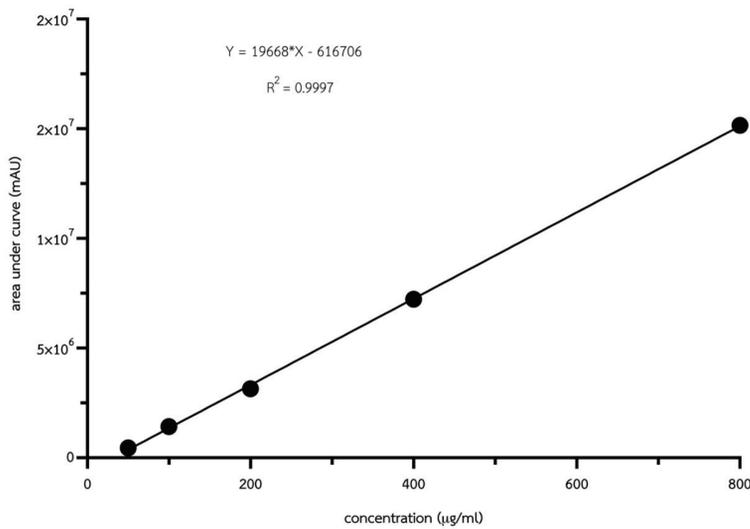
ผลการทดสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity) แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะที่ดี โดยได้สมการเส้นตรง คือ $y = 19668x - 616706$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9997 แสดงดังภาพที่ 4

การทดสอบหาค่าความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy) โดยเติมสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิกที่ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่งหญ้าหนวดแมว แล้วคำนวณหาค่า %recovery มีค่าเท่ากับ 99.74 – 108.02 %

จากผลการทดลองแสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าว มีความถูกต้องสูงตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ร้อยละ 90-110)

ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ (Precision) พบว่า intra-day precision มีค่า %RSD เท่ากับ 0.1 – 1.9 ส่วน inter-day precision มีค่า %RSD เท่ากับ 0.3 – 0.6 จากผลการทดลองแสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าว มีความแม่นยำตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (%RSD น้อยกว่า 2)

ผลการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง (LOQ) พบว่าค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.06 และ 0.17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานกรดโรสมารินิก

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ (method validation) กรดโรสมารินิกในสารสกัดหญ้าหนวดแมว

Validation parameter	Rosmarinic acid
Linearity	
linear regression equation	$y = 19668x - 616706$
R ²	0.9997
Accuracy (%recovery)	
50 µg/ml	108.02
100 µg/ml	103.80
400 µg/ml	99.74
Precision (%RSD)	
intra-day	0.1-1.9
inter-day	0.3-0.6
Specificity	
λ_{\max} (nm)	329
retention time (min)	12.50
Sensitivity	
LOD (µg/ml)	0.06
LOQ (µg/ml)	0.17



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิก จากสารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันในประเทศไทย และสกัดสารด้วยตัวทำละลาย 70% เอทานอล พบว่าสารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมวมีร้อยละของผลผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 6.66-13.12 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suhaimi และคณะ [8] ที่มีการศึกษาการสกัดหญ้าหนวดแมวด้วย 70% เอทานอลร่วมกับการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง พบปริมาณสารสกัดหยาบหญ้าหนวดแมวยู่ในช่วง 5-10%

ผลการวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง พบว่าสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก มีค่า R_f เท่ากับ 0.35 และเมื่อทดสอบสารสกัดหญ้าหนวดแมวภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร พบว่ามีแถบสารทั้งหมด 7 แถบ โดยผลการทดสอบของสารสกัดหญ้าหนวดแมวทั้ง 10 แหล่ง น่าจะมีกรดโรสมารินิกเป็นองค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากแถบสาร มีค่า R_f และมีสีตรงกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก สอดคล้องกับการศึกษาของ Kartini และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาทดสอบสารสกัดใบของหญ้าหนวดแมว (*Orthosiphon aristatus*) จาก 11 แหล่ง ในอินโดนีเซีย ด้วยวิธี Thin Layer Chromatography (TLC) พบว่า มีค่า R_f เท่ากับ 0.20-0.30 ซึ่งมีค่าเท่ากันทั้งหมด และปรากฏลักษณะรอยพิมพ์ลายนิ้วมือโครมาโทกราฟีแบบผิวบางคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับข้อมูลใน Thai Herbal Pharmacopoeia ปี 2021 ที่พบแถบสารสีน้ำเงินชัดเจน เมื่อเทียบกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก มีค่า R_f เท่ากับ 0.30-0.37 โดยใช้ Mobile Phase ระบบเดียวกัน [1] และเมื่อเปรียบเทียบสารสกัดหญ้าหนวดแมว 7 แหล่งเพาะปลูก ได้แก่ จังหวัดนครนายก จังหวัดนครปฐม จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดชลบุรี จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดปัตตานี ปรากฏเห็นแถบสารสีน้ำเงินชัดเจน แสดงว่าแนวโน้มที่มีปริมาณกรดโรสมารินิกมากกว่าอีก 3 แหล่งเพาะปลูกคือ จังหวัดเชียงราย จังหวัดโยธธอร์ และจังหวัดยะลา ที่ปรากฏแถบสารไม่ชัดเจน ซึ่งน่าจะเกิดจากตัวอย่างจากแหล่งดังกล่าว มีปริมาณกรดโรสมารินิกน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย HPLC

จากการทดสอบด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) แต่ละแหล่งมีลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกัน แต่มีพื้นที่ใต้กราฟแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าหญ้าหนวดแมวแต่ละแหล่งมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิก พบหญ้าหนวดแมวจากทั้ง 10 แหล่งมีปริมาณกรดโรสมารินิกอยู่ระหว่าง 0.41-1.75 g/100 g DW ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศอินโดนีเซียที่สกัดหญ้าหนวดแมวด้วยเมทานอลจาก 9 แหล่ง พบปริมาณกรดโรสมารินิก อยู่ระหว่าง 0.19-2.60 g/100 g DW [15] ในการศึกษาพบหญ้าหนวดแมวแหล่งที่มีปริมาณกรดโรสมารินิกมากที่สุด คือ จังหวัดนครนายก และแหล่งที่มีปริมาณน้อยที่สุด คือ จังหวัดยะลา ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของพืชสมุนไพรในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากชนิดของดิน สภาพภูมิอากาศ ปริมาณฝนที่ได้รับ รวมทั้งสถานะแสงแดด [13] นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากสายพันธุ์อายุของพืช ช่วงเวลาในการเก็บ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้ [15] และจากการศึกษา Shekarchi [18] ได้วิเคราะห์ปริมาณกรดโรสมารินิกในพืชสมุนไพรอื่น ๆ 29 สายพันธุ์ในวงศ์ Labiatae พบว่ามีปริมาณตั้งแต่ 0.00 - 5.85 g/100 g DW ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการศึกษานี้ยังมีการทดสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเทคนิค HPLC พบว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ICH [19] พบว่าค่าความเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 50 - 800 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9997 ค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.06 และ 0.17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ intra-day precision และ inter-day precision (%RSD เท่ากับ 0.1 - 1.9 และ 0.3 - 0.6 ตามลำดับ) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน %RSD น้อยกว่า 2 ส่วน %recovery มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 99.74 - 108.02 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (90-110%) จากการวิเคราะห์ Retention time ลักษณะของสเปกตรัม และค่า λ_{max} ของพีค พบว่าตรงกับสารมาตรฐานกรดโรสมารินิก โดยมี Retention time



เท่ากับ 12.50 นาที และมีค่า λ_{max} เท่ากับ 329 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hernadi และคณะ [15] และ Lau และ Chua [20] ที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณของกรดโรสมารินิกในสารสกัดหญ้าหนวดแมว โดยใช้ RP-HPLC ชนิด Gradient elution พบว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือ และในปี 2019 การศึกษาของ Guo และคณะ [21] ได้ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในหญ้าหนวดแมว โดยใช้วิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแบบพิเศษและแมสสเปกโตรเมตรี พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ กรดพิโนลิก 26 ชนิด ฟลาโวนอยด์ 11 ชนิด ไตเทอร์พีนอยด์ 6 ชนิด กรดไขมัน 4 ชนิด และแทนนิน 5 ชนิด นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบทางเคมีมากที่สุดคือ กรดโรสมารินิก

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณกรดโรสมารินิกของสารสกัดหญ้าหนวดแมวจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ซึ่งผลจากการศึกษามีความสำคัญเป็นอย่างมากในด้านการสาธารณสุข สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลและแนวทางในการเลือกซื้อหญ้าหนวดแมวจากแหล่งเพาะปลูกที่พบปริมาณกรดโรสมารินิกตามเกณฑ์ของ Thai herbal pharmacopoeia ได้อย่างเหมาะสม เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมจากหญ้าหนวดแมว เพื่อนำมาใช้ในทางการแพทย์และสาธารณสุขต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนวิจัยจาก สาขาวิชา แพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร จังหวัด สกลนคร และกลุ่มงานหลักสูตรการแพทย์แผนไทย วิทยาลัย การสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดพิษณุโลก คณะสาธารณสุข และสหเวชศาสตร์ สถาบันพระบรมราชชนก

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. Thai Herbal Pharmacopoeia 2021.

Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd; 2021.

2. Tabana YM, Al-Suede FS, Ahamed MB, Dahham SS, Hassan LE, Khalilpour S, et al. Cat's whiskers (*Orthosiphon stamineus*) tea modulates arthritis pathogenesis via the angiogenesis and inflammatory cascade. BMC Complement Altern Med 2016;16(1):480.
3. Chua LS, Lau CH, Chew CY, Ismail NIM, Soontornngun N. Phytochemical profile of *Orthosiphon aristatus* extracts after storage: Rosmarinic acid and other caffeic acid derivatives. Phytomedicine 2018;39:49-55.
4. Ashraf K, Halim H, Lim SM, Ramasamy K, Sultan S. In vitro antioxidant, antimicrobial and antiproliferative studies of four different extracts of *Orthosiphon stamineus*, *Gynura procumbens* and *Ficus deltoidea*. Saudi J Biol Sci 2020;27(1): 417-32.
5. Alshawsh MA, Abdulla MA, Ismail S, Amin ZA, Qader SW, Hadi HA, et al. Free radical scavenging, antimicrobial and immunomodulatory activities of *Orthosiphon stamineus*. Molecules 2012;17(5):5385-95.
6. Hsu CL, Hong BH, Yu YS, Yen GC. Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Orthosiphon aristatus* and its bioactive compounds. J Agric Food Chem 2010;58(4):2150-6.
7. Wang Q, Wang J, Li N, Liu J, Zhou J, Zhuang P, et al. A Systematic Review of *Orthosiphon stamineus* Benth. in the Treatment of Diabetes and Its Complications. Molecules 2022;27(2):444.
8. Suhaimi SH, Hasham R, Hafiz Idris MK, Ismail HF, Mohd Ariffin NH, Abdul Majid FA. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction Conditions



- Followed by Solid Phase Extraction Fractionation from *Orthosiphon stamineus* Benth (Lamiace) Leaves for Antiproliferative Effect on Prostate Cancer Cells. *Molecules* 2019;24(22):4183.
9. Batubara I, Komariah K, Sandrawati A, Nurcholis W. Genotype selection for phytochemical content and pharmacological activities in ethanol extracts of fifteen types of *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. leaves using chemometric analysis. *Sci Rep* 2020;10(1):1-11.
 10. Ameer OZ, Salman IM, Asmawi MZ, Ibraheem ZO, Yam MF. *Orthosiphon stamineus*: traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *J Med Food* 2012;15(8):678-90.
 11. Lokman EF, Saparuddin F, Muhammad H, Omar MH, Zulkapli A. *Orthosiphon stamineus* as a potential antidiabetic drug in maternal hyperglycemia in streptozotocin-induced diabetic rats. *Integr Med Res* 2019;8(3):173-9.
 12. Dubois M, Bailly F, Mbemba G, Mouscadet J-F, Debyser Z, Witvrouw M, et al. Reaction of rosmarinic acid with nitrite ions in acidic conditions: discovery of nitro- and dinitrorosmarinic acids as new anti-HIV-1 agents. *J Med Chem* 2008;51(8):2575-9.
 13. Kartini K, Jayani NIE, Hadiyat MA, Avanti C. Thin Layer Chromatography Fingerprinting and Clustering of *Orthosiphon stamineus* Benth. from Different Origins. *Pharmacogn J* 2020;12(1):1683-91.
 14. Hashim S, Beh HK, Hamil MS, Ismail Z, Majid AM. High-performance Thin-layer Chromatography Method Development, Validation, and Simultaneous Quantification of Four Compounds Identified in Standardized Extracts of *Orthosiphon stamineus*. *Pharmacognosy Res* 2016;8(4):238-43.
 15. Hernadi E, Rohaeti E, Rafi M, Wahyuni WT, Putri SP, Fukusaki E. HPLC fingerprinting coupled with linear discriminant analysis for the detection of adulteration in *Orthosiphon aristatus*. *J Liq Chromatogr Rel Technol* 2019;42(15-16):513-20.
 16. Lee J, Jung E, Koh J, Kim YS, Park D. Effect of rosmarinic acid on atopic dermatitis. *J Dermatol* 2008;35(12):768-71.
 17. Osakabe N, Takano H, Sanbongi C, Yasuda A, Yanagisawa R, Inoue K, et al. Anti-inflammatory and anti-allergic effect of rosmarinic acid (RA); inhibition of seasonal allergic rhinoconjunctivitis (SAR) and its mechanism. *Biofactors* 2004;21(1-4):127-31.
 18. Shekarchi M, Hajimehdipoor H, Saeidnia S, Gohari AR, Hamedani MP. Comparative study of rosmarinic acid content in some plants of Labiatae family. *Pharmacogn Mag* 2012;8(29):37-41.
 19. Guideline IHT. Validation of analytical procedures: text and methodology. Q2 (R1) 2005;1(20):05.
 20. Lau CH, Chua LS. Solvation Free Energy Simulation for Rosmarinic Acid Extraction from *Orthosiphon stamineus*. *Methods Protoc* 2019;2(3):64.
 21. Guo Z, Liang X, Xie Y. Qualitative and quantitative analysis on the chemical constituents in *Orthosiphon stamineus* Benth. using ultra high-performance liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *J Pharm Biomed Anal* 2019;164:135-47.



Quality control, cytotoxicity and inhibitory effect on nitric oxide production of Pathavi Apo Vayo formulary extract

Bung-on Prajanban^{1*} Orapun Jaisamut² and Niramai Fangkrathok³

¹Faculty of Agricultural Technology, Burapha University Sakaeo Campus, Sa Kaeo 27160

²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawa-Ok, Bangphra, Sriracha, Chonburi 20110

³Center for Research and Development of Herbal Health Products, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Received: 29 August 2022/ Revised: 4 November 2022/ Accepted: 8 November 2022

Abstract

Pathavi Apo Vayo formulary (PAV) is one of Thai traditional medicine that consisted of 21 herbal plant powders and has been used in the treatment of diabetic patients. An uncertainty on efficacy, safety and variation in quality of the products are important factors for herbal medicine usage. Therefore, the aim of this study was to establish quality control of PAV. The effects of PAV on cell viability and nitric oxide production in the different glucose containing media were also investigated. The 21 herbal plants and PAV were extracted using 50% ethanol. The possible chemical fingerprint and chemical markers of these plants were identified by using TLC and HPLC comparing with PAV. Normal glucose medium (NGM) and high glucose medium (HGM) were used to culture RAW264.7 cells in this study. The cytotoxicity and nitric oxide (NO) production were studied by using MTT assay and Griess reaction, respectively. The R_f values of 21 plant extracts on TLC fingerprint were similar with the R_f values of PAV extract. Gallic acid was the major content in PAV and plant extracts using qualitative HPLC. PAV extract showed low cytotoxicity (IC_{50} of $1,139.48 \pm 36.22$ and $1,134.69 \pm 13.55$ $\mu\text{g/mL}$, respectively) and could inhibit NO production (IC_{50} of 128.49 ± 4.68 and 127.57 ± 14.02 $\mu\text{g/mL}$, respectively) in NGM and HGM without a statistical difference. In conclusion, the chemical composition of plant extracts was remaining content in PAV extract and gallic acid can be used as a chemical marker. This PAV extract had low cytotoxicity and inhibited NO production.

Keywords: Pathavi Apo Vayo formulary, Quality control, Medicinal plants, High glucose, Cytotoxicity



Introduction

Diabetes mellitus (DM) is a metabolic disorder characterized by chronic hyperglycemia which is an increasing of blood glucose levels due to absolute or relative insulin production deficiency. Nitric oxide (NO), a critical inflammatory mediator, plays an important role in the inflammation of type II diabetes mellitus (T2DM) [1]. The synthesis of NO is catalyzed by inducible nitric oxides synthase (iNOS), endothelial cells nitric oxide synthase (eNOS) and neuronal nitric oxides synthase (nNOS). iNOS is induced by inflammatory cytokines such as interleukin-1 (IL-1) or tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) in macrophages and many other cell types. The increased levels of CD163, CD154 and TNF- α indicate that an inflammatory process occurs in skeletal muscle of T2DM patients. This may contribute to iNOS induction, muscle damage and insulin resistance [2]. The excessive NO increased the inflammatory marker levels in T2DM, which is activated by the PPAR γ /eNOS pathway [3]. In addition, condition of insulin resistance increased NO levels in both diabetic and prediabetic patients [4].

In Thailand, diabetes is rising trend in the hospitalization over the last decade. Due to high cost of medical care with long-term treatment, diabetes is considered to be an economic burden and national public health problem [5]. According to the failure of conventional hypoglycemic drugs to satisfactorily maintain normal glucose levels and some serious side effects [6], significant interest in an alternative and complementary medicine especially herbal preparations has been maintained [7]. More than 400 plants are available for the

treatment of diabetes. Despite the fact that there are many herbal drugs available for treating diabetes, only a small number of these plants have undergone scientific and medical evaluation to assess their efficacy [8].

Quality control is therefore one of the major problems in the rational use of herbal medicines. With many herbal medicines, the active ingredient is unknown. Genetic and environmental factors may influence the synthesis of plant secondary metabolites. Frequently a marker compound is selected and this is used to determine the quality of the herbal medicine [9]. Thin-layer chromatography (TLC) is the method of choice for identifying a wide variety of substance classes because it is simple, rapid and inexpensive method. High-performance liquid chromatography (HPLC) is a popular method for analysis of herbal medicines because it is easy to use and is not limited by the volatility or stability of the sample compounds. In general, HPLC can be used to analyze almost all the compounds in the herbal medicines. For example, preliminary phytochemical studies on fruit of *Embllica officinalis*, the TLC and high performance thin-layer chromatography was performed and the developed plates were visualized in UV 254 nm, 366 nm [10]. *Embllica officinalis* and *Terminalia chebula* extracts containing phenolic compounds were determined by HPLC technique [11, 12]. Thai traditional herbal formula, Sattagavata, Mathurameha, and Tubpikarn were prescribed to diabetic patients for a long time [13]. TLC was also developed for the quality control of three anti-diabetic Thai herbal formulae extracts, showed the presence of rutin and chlorogenic acid which are



powerful antioxidants and are beneficial to diabetic conditions [13].

Pathavi Apo Vayo formulary (PAV) is one of Thai traditional medicine that is from Wat Phra Chetuphon's inscriptions. This formulary consists of 21 herbs and has been used for the treatment of diabetes. The screening basic methods could identify the presence of composite plant in PAV. A chromatogram fingerprint of PAV would facilitate the quality control assessments of composite plants in PAV to ensure the reproducibility of ingredients and the consistent efficacy of the product. Accordingly, the aim of this study was to identify possible chemical fingerprint and chemical markers for evaluating the quality of medicinal plants in PAV by using TLC and HPLC. Moreover, the effects of PAV ethanolic extract on the cell viability and nitric oxide production of macrophage were investigated in high glucose medium (HGM) compared with normal glucose medium (NGM) that related to inflammation and hyperglycemic condition in diabetes.

Material and Methods

1. Chemicals

Ethanol (RCI Labscan, Thailand); methanol (RCI Labscan, Thailand); acetone (RCI Labscan, Thailand); CH_2Cl_2 (RCI Labscan, Thailand); D-glucose (Kemaus, Australia); L-glutamine (Himedia, India); *Escherichia coli* LPS (Sigma, USA); DMEM (Gibco, USA); DMSO (Fisher Scientific, UK); FBS (Gibco, Germany) and MTT (Molecular probes, USA) were obtained from local distributors. All other chemicals used were of analytical grade and were obtained commercially.

2. Preparation of Pathavi Apo Vayo formulary and the plant extracts

PAV was the formulary that contained 1 part each of 21 herbal plants. The PAV and each plant ingredients (Table 1) were purchased from Bansamunpaisot, Bangkok, Thailand. PAV and each plant ingredients of PAV was macerated in 50% ethanol for 7 days. After filtration, the remain debris from extraction was repeated by maceration in 50% ethanol for 7 days. The filtrates from both extractions were combined. The solvent was evaporated and concentrated by using a vacuum evaporator (Buchi, Thailand). The temperature of water bath and coolant were set at 50 °C and 10 °C, respectively. The percentage yield for each sample is shown in Table 2.

3. Quality control of raw material and formulary extracts

3.1 Thin layer chromatography fingerprint

For efficacy in clinical practice, the quality control of PAV is continually improving. The ethanolic extracts of 21 plants and PAV were prepared. The experiment was performed on TLC plate, silica gel 60 F254 (Merck, Germany) size 5 x 7 cm. One gram of each plant extracts and PAV were dissolved in 3 mL methanol, then were spotted to the 3 plates. *Cyperus alternifolius* L. (1), *Acorus calamus* L. (2), *Plumbago indica* L. (3), *Ocimum tenuiflorum* L. (4), *Terminalia chebula* Retz. (5), *Zingiber officinale* Roscoe (6), *Coriandrum sativum* L. (7) and PAV (P) were spotted onto the baseline of the plate no. 1 using a capillary tube. *Vitex trifolia* L. (8), *Fagraea fragrans* Roxb. (9), *Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kosterm (10),



Table 1 Plant component of Pathavi Apo Vayo and Pathavi Apo Vayo formulary

Samples	Botanical name and Formulary	Family	Parts used
	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	Cyperaceae	Stem
	<i>Acorus calamus</i> L.	Acoraceae	Rhizome
	<i>Plumbago indica</i> L.	Plumbaginaceae	Root, stem
	<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.	Lamiaceae	Leaf, stem
	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	Combretaceae	Fruit
	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Zingiberaceae	Rhizome
	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Apiaceae	Fruit
	<i>Vitex trifolia</i> L.	Lamiaceae	Leaf
	<i>Fagraea fragrans</i> Roxb.	Gentianaceae	Leaf
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	Rhizome
	<i>Holarrhena pubescens</i> Wall. Ex G. Don	Apocynaceae	Stem bark, wood

Table 1 Plant component of Pathavi Apo Vayo and Pathavi Apo Vayo formulary (continued)

Samples	Botanical name and Formulary	Family	Parts used
	<i>Aniseia martinicensis</i> (Jacq.) Choisy. Share.	Convolvulaceae	Climber
	<i>Kaempferia galanga</i> L.	Zingiberaceae	Rhizome
	<i>Allium sativum</i> L.	Amaryllidaceae	Rhizome
	<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.	Cucurbitaceae	Climber, Leaf
	<i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb.	Combretaceae	Fruit
	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Phyllanthaceae	Fruit
	<i>Piper retrofractum</i> Vahl	Piperaceae	Fruit
	<i>Piper nigrum</i> L.	Piperaceae	Seed
	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Meliaceae	Leaf
	Pathavi Apo Vayo	-	-

**Table 2** Percentage of yield and chemical marker content of PAV and plant extracts

Botanical name and Formulary	% Yield of extract	Gallic acid ($\mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract)	Vanillic acid ($\mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract)	Caffeic acid ($\mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract)
<i>Cyperus alternifolius</i> L.	5.43	NF	3.84 \pm 0.13	3.63 \pm 0.04
<i>Acorus calamus</i> L.	8.88	2.33 \pm 0.06	1.83 \pm 0.40	NF
<i>Plumbago indica</i> L.	14.94	8.38 \pm 0.04	3.30 \pm 0.01	NF
<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.	7.45	4.55 \pm 0.45	4.60 \pm 1.83	3.89 \pm 0.10
<i>Terminalia chebula</i> Retz.	10.30	98.79 \pm 1.90	7.22 \pm 0.92	NF
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	11.12	4.45 \pm 0.40	0.29 \pm 0.00	NF
<i>Coriandrum sativum</i> L.	5.40	0.43 \pm 0.02	2.98 \pm 0.01	4.71 \pm 0.11
<i>Vitex trifolia</i> L.	15.60	NF	NF	NF
<i>Fagraea fragrans</i> Roxb.	19.69	4.47 \pm 0.45	NF	NF
<i>Cinnamomum porrectum</i> (Roxb.) Kosterm	3.34	NF	6.53 \pm 0.47	NF
<i>Cyperus rotundus</i> L.	21.70	4.78 \pm 0.15	NF	NF
<i>Holarrhena pubescens</i> Wall. Ex G. Don	10.13	5.99 \pm 0.10	2.91 \pm 0.04	NF
<i>Aniseia martinicensis</i> (Jacq.) Choisy. Share.	4.50	20.39 \pm 5.25	14.37 \pm 1.25	NF
<i>Kaempferia galanga</i> L.	9.93	14.15 \pm 1.93	2.35 \pm 0.21	NF
<i>Allium sativum</i> L.	61.38	NF	2.18 \pm 0.01	NF
<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.	11.75	2.60 \pm 0.23	NF	NF
<i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb.	8.94	84.78 \pm 0.16	NF	NF
<i>Phyllanthus emblica</i> L.	12.94	468.28 \pm 0.36	NF	NF
<i>Piper retrofractum</i> Vahl	6.94	4.34 \pm 0.37	NF	4.34 \pm 0.37
<i>Piper nigrum</i> L.	5.66	NF	NF	NF
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	7.06	4.02 \pm 0.00	NF	NF
Pathavi Apo Vayo	13.87	28.94 \pm 0.07	NF	3.73 \pm 0.05

Note: NF is not found.



Cyperus rotundus L. (11), *Holarrhena pubescens* Wall. Ex G. Don (12), *Aniseia martinicensis* (Jacq.) Choisy. Share. (13), *Kaempferia galanga* L. (14) and PAV (P) were spotted onto the plate no. 2. *Allium sativum* L. (15), *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. (16), *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. (17), *Phyllanthus emblica* L. (18), *Piper retrofractum* Vahl (19), *Piper nigrum* L. (20), *Azadirachta indica* A. Juss. (21) and PAV (P) were spotted onto the plate no. 3. The plates were developed by TLC tank and a mobile phase was acetone : CH₂Cl₂ (1:9). The chromatography was detected under the ultra violet (UV) light chamber at 254 and 365 nm. A vanillin-sulfuric acid reagent was sprayed on a chromatographic plate and then photographed. The retention factor (R_f) values were calculated as described below:

$$R_f = \text{Distance traveled by solute} / \text{Distance traveled by solvent front}$$

3.2 High performance liquid chromatography (HPLC)

Reversed-phase C18 column (4.6 × 150 mm, 5 μm) (SORBAX, Agilent, USA) was used in HPLC system (Alltech, USA). Mobile phase system was 1% acetic acid: ACN in ratio of 97:7 with flow rate 1.0 mL/min and detected at UV 277 nm. The PAV (10 mg) was dissolved in acetonitrile (1 mL) and then filtrated using 0.45 μm syringe filter. Standard gallic acid, vanillic acid and caffeic acid were diluted to various concentration for calibration curve. Extracts or gallic acid, vanillic acid and caffeic acid (20 μL) was injected. The running time was 35 min. The areas under the curve of each extract were compared with calibration curve of gallic acid, vanillic acid and caffeic acid.

4. Determination of cytotoxicity

Macrophages (RAW264.7 cells) were cultured in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) supplemented with glucose medium (2 mM L-glutamine, 5.5 mM D-glucose for NGM and 2 mM L-glutamine, 15 mM D-glucose for HGM), 1% antibiotic-antimycotic solution and 10% fetal bovine serum that modified method of Torres- Castro et al. [14] and incubated at 37 °C, 5% CO₂ for 1 week. Cells (2 × 10⁵ cells/well) were seeded into 96-well plate and incubated at 37 °C, 5% CO₂ for 24 h. The PAV was dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) for 100 mg/mL and sterile by using 0.45 μm syringe filter as a stock solution. PAV was diluted with culture media to various concentration and then added (100 μL) into the cells. After incubation for 24 h, the cell viability was analyzed by using MTT assay [15]. Fifty microliter of 1 mM MTT was added to each well and then incubated at 37 °C for 3 h. The formazan was dissolved in DMSO and then was measured at 570 nm using a microplate reader (Infinite M200 Pro, TECAN, Austria). The cell viability was calculated as described below and then expressed a cytotoxicity as 50% inhibitory concentration (IC₅₀).

$$\text{Cell viability (\%)} = 100 \times (\text{absorbance of treatment} / \text{absorbance of control})$$

5. Determination of nitric oxide production

RAW264.7 (2 × 10⁵ cells/well) were cultured into 96-well plate by using NGM and HGM, and then incubated at 37°C, 5% CO₂ for 24 h. Extracts were diluted with glucose culture media in the absence or presence of 10 μg/mL lipopolysaccharides (LPS) and then added (100 μL)



into the cells. After incubation for 24 h, 50 μ L of culture media was pipetted to mix with 50 μ L of Griess reagent (1% Sulfanilamide dissolved in 5% phosphoric acid:0.01% N-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride in a ratio of 1:1). The absorbance was measured at 540 nm. The results were compared between with or without LPS induction and then calculated for nitric oxide inhibition. The results were expressed as IC_{50} .

6. Statistical analysis

The experimental results were performed in triplicate and represented in mean \pm S.D. Data was analysed by using SPSS version 16.0. Independent t-test was used in the between group comparison of normal glucose medium (NGM) and high glucose medium (HGM). Comparison of differences within groups (Pathavi Apo Vayo formulary concentration) was performed by using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by least significant difference (LSD) post hoc test. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results and Discussion

1. Quality control of raw material and formulary extracts

PAV formulary was consisted of 21 plants as shown in Table 1. The combination of different parts of plants might affect to the quantity of phytochemical content and the biological activities due to the distinctive chemical profiles [16]. The changing of various physical, chemical, and geographical aspects may contribute to the quality of herbal materials [17]. Therefore, the major chemical composition of raw materials of PAV was determined for quality control.

TLC and HPLC were used to identify possible chemical markers for evaluating the quality of the crude drug such as *Pogostemoni herba* which is a component of Kampo medicines [18]. Therefore, TLC chromatogram was used to separate and identify marker compounds of each plant remaining content in the PAV extract in this study. All plant extracts under UV light at 254 nm were shown as a dark spot as well as PAV extract (Figure 1A). The detection TLC spot with UV light at 365 nm showed the same position in 12 plant extracts (Figure 1B). Chromatographic fingerprints of PAV and 21 plant extracts obtained in visualization with vanillin-sulfuric reagent were investigated in Figure 1C. Each band of all plant extracts (except *A. sativum* extract) was found in the similar position of the bands from PAV extract. PAV had different compounds because of equal ratio combination of 21 plant powders depending on types of phytochemical content in each composite plant. These shown bands on the TLC plate were probably the main compounds of the plant extracts. High intensity and clearly bands might be the same compounds that found in many composite plants in PAV formulary and might serve as a potential herbal activity. The R_f values of 21 plant extracts were similar with some R_f values of PAV extract after determination by using TLC chromatogram (Table 3). Under UV light at 254 nm, 10 spots of PAV were obtained (R_f of 0.17, 0.22, 0.28, 0.44, 0.52, 0.58, 0.65, 0.72, 0.78 and 0.79) while 3 spots of PAV were obtained under UV light at 365 nm (R_f of 0.62, 0.67 and 0.80). Under visualization with vanillin-sulfuric reagent, 6 spots of PAV were obtained (R_f of 0.27, 0.35, 0.59, 0.70, 0.77 and 0.86). Therefore, these results confirmed that 21 plant extracts were remaining content in PAV extract.

Moreover, to determine standard compounds contained in 21 plant extracts and PAV extract, HPLC was used. The method validation of quantitative HPLC analysis was performed. The r-square data of linearity of gallic acid, vanillic acid and caffeic acid was 0.9995, 0.9998 and 1.0000 with the concentration range of 6.66-80.00, 7.73-80.80 and 6.73-80.80 ppm, respectively. The accuracy in the % recovery of these standard compounds was 98.45%, 97.73% and 99.63%, respectively. The precision in % relative standard deviation (%RSD) of these standard compounds was 1.70%, 1.27% and 0.50%, respectively. Gallic acid, caffeic acid and vanillic acid are the examples of common phenolic compound found in plants [19, 20]. Gallic acid is rich in many herbal plants and has progressively demonstrated robust antioxidative and anti-inflammatory, this compound can be a potential anti-hypoglycemic agent for DM [21]. Caffeic acid is

a potent agent against diabetes that acts as an effective antioxidant in reducing serum glucose, lipid profile [22] and anti-inflammation [23]. Vanillic acid reduced diabetes and diabetic nephropathy in rats, these effects might be attributed to its powerful free radical scavenging property and down-regulation of inflammatory cytokines [20]. Therefore, gallic acid, caffeic acid and vanillic acid were used as a standard compound for analysis of PAV and plant extracts by using qualitative HPLC.

Interestingly, gallic acid was found higher than vanillic acid and caffeic acid in PAV and plant extracts (Table 2). PAV contained gallic acid and caffeic acid (28.94 ± 0.07 and $3.73 \pm 0.05 \mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract, respectively). The highest gallic acid content was found in *P. emblica* L. ($468.28 \pm 0.36 \mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract) following with *T. chebula* and *T. bellirica* (Gaertn.) Roxb. (98.79 ± 1.90 and $84.78 \pm 0.16 \mu\text{g}/10 \text{ mg}$ extract, respectively) whereas

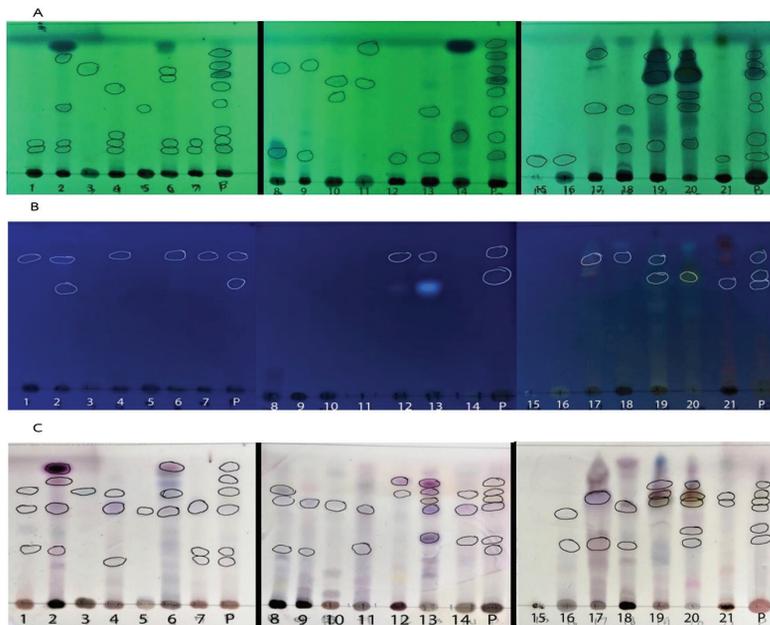


Figure 1 TLC fingerprints of plant and PAV extracts. A) 254 nm, B) 365 nm and C) vanillin-sulfuric acid reagent. Lane 1: *C. alternifolius* L., 2: *A. calamus* L., 3: *P. indica* L., 4: *O. tenuiflorum* L., 5: *T. chebula* Retz., 6: *Z. officinale* Roscoe, 7: *C. sativum* L., 8: *V. trifolia* L., 9: *F. fragrans* Roxb., 10: *C. porrectum* (Roxb.) Kosterm, 11: *C. rotundus* L., 12: *H. pubescens* Wall. Ex G. Don, 13: *A. martinicensis* (Jacq.) Choisy. Share., 14: *K. galanga* L., 15: *A. sativum* L., 16: *L. siceraria* (Molina) Standl., 17: *T. bellirica* (Gaertn.) Roxb., 18: *P. emblica* L., 19: *P. retrofractum* Vahl, 20: *P. nigrum* L., 21: *A. indica* A. Juss. and P: PAV.



Table 3 R_f values of PAV and 21 plant extracts on TLC

		R _f values																								
		P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
UV 254		0.17	0.17	0.16		0.17		0.16	0.16	0.17	0.17			0.17	0.17		0.17	0.17						0.17		
		0.22	0.22	0.22		0.22		0.22	0.22																	
		0.28				0.27										0.28					0.28	0.28	0.28			
		0.44		0.44			0.44								0.44				0.44	0.44			0.44			
		0.52																					0.52	0.52		
		0.58			0.58	0.58																				
		0.65						0.65					0.65	0.65									0.65	0.65		
		0.72						0.71		0.71	0.71													0.71		
		0.78		0.77																						
		0.79												0.80						0.78		0.78				
UV 365		0.62																							0.62	
		0.67		0.67																		0.67	0.67			
		0.80	0.79	0.79		0.80		0.80	0.80					0.79	0.79				0.80	0.80	0.80					
Vanillin-sulfuric acid		0.27				0.27				0.27	0.27	0.27							0.27	0.27	0.27			0.27		
		0.35	0.35	0.35						0.35			0.35		0.35	0.35								0.35		
		0.59	0.59	0.59		0.59	0.59	0.59	0.59						0.59	0.59		0.59								
		0.70	0.70		0.70	0.70		0.70		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70		0.70					0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
		0.77		0.77							0.77				0.77	0.77	0.77			0.77		0.77	0.77	0.77	0.77	
		0.86						0.86							0.86	0.86							0.86	0.86		

Note: P: PAV, 1: *C. alternifolius* L., 2: *A. calamus* L., 3: *P. indica* L., 4: *O. tenuiflorum* L., 5: *T. chebula* Retz., 6: *Z. officinale* Roscoe, 7: *C. sativum* L., 8: *V. trifolia* L., 9: *F. fragrans* Roxb., 10: *C. porrectum* (Roxb.) Kosterm, 11: *C. rotundus* L., 12: *H. pubescens* Wall. Ex G. Don, 13: *A. martinicensis* (Jacq.) Choisy. Share., 14: *K. galanga* L., 15: *A. sativum* L., 16: *L. siceraria* (Molina) Standl., 17: *T. bellirica* (Gaertn.) Roxb., 18: *P. emblica* L., 19: *P. retrofractum* Vahl, 20: *P. nigrum* L. and 21: *A. indica* A. Juss.

C. sativum had the lowest gallic acid content (0.43 ± 0.02 µg/10 mg extract) among the 16 extracts. The *P. emblica* L. was found to be an interesting source of phenolic compounds, especially gallic acid [11, 24]. The previous research reported that gallic acid was one of the major important compounds of *T. chebula* [12, 25] and *T. bellirica* [26] extracts. Therefore, gallic acid was a major compound in the composite plants of PAV formulary that might serve as a potential herbal activity of PAV formulary. Moreover, caffeic acid was found in four plants and PAV extracts. Gallic acid and caffeic acid, therefore, can be used as the chemical markers of PAV formulary.

2. Cytotoxic activity and nitric oxide production of PAV extract

The cell viability of RAW264.7 cells was analyzed to obtain a safe concentration of PAV on NGM and HGM. PAV showed low cytotoxicity at the concentration that was lower than 800 µg/mL and there was no statistical difference in cells viability between NGM and HGM when treated with PAV. However, the cytotoxicity of PAV extract was increased when treated with the higher concentration in both NGM and HGM (IC₅₀ of 1,139.48 ± 36.22 and 1,134.69 ± 13.55 µg/mL, respectively) (Table 4).

Table 4 Cytotoxicity of PAV on RAW264.7 cells in NGM and HGM

PAV concentration (µg/mL)	Cell viability (%)	
	NGM	HGM
0	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
100	98.45 ± 3.16	94.29 ± 3.25*
200	106.78 ± 2.11*	98.78 ± 5.03
400	104.68 ± 3.43	101.04 ± 2.89
800	77.57 ± 3.88***	81.05 ± 2.53***
1,600	14.57 ± 1.87***	13.20 ± 0.64***
IC₅₀ (µg/mL)	1,139.48 ± 36.22	1,134.69 ± 13.55

Data are presented as mean ± S.D., **p* < 0.05, ****p* < 0.001, significant difference from control (0 µg/mL) using one-way ANOVA followed by LSD post hoc test, n=3 for each group.

Moreover, as shown in Figure 2, the PAV extract could inhibit LPS-induced NO production in RAW264.7 cells in dose-dependent manner. Especially, the PAV (> 400 µg/mL) could completely inhibit NO production in both NGM and HGM conditions. The IC₅₀ values for NGM and HGM were

128.49 ± 4.68 and 127.57 ± 14.02 µg/mL, respectively. PAV extract might have anti-inflammatory activity that led to reduce NO production from LPS-induced RAW264.7 cells in both NGM and HGM conditions. In this study, there was no significant difference in inhibitory activity of PAV on NO production between

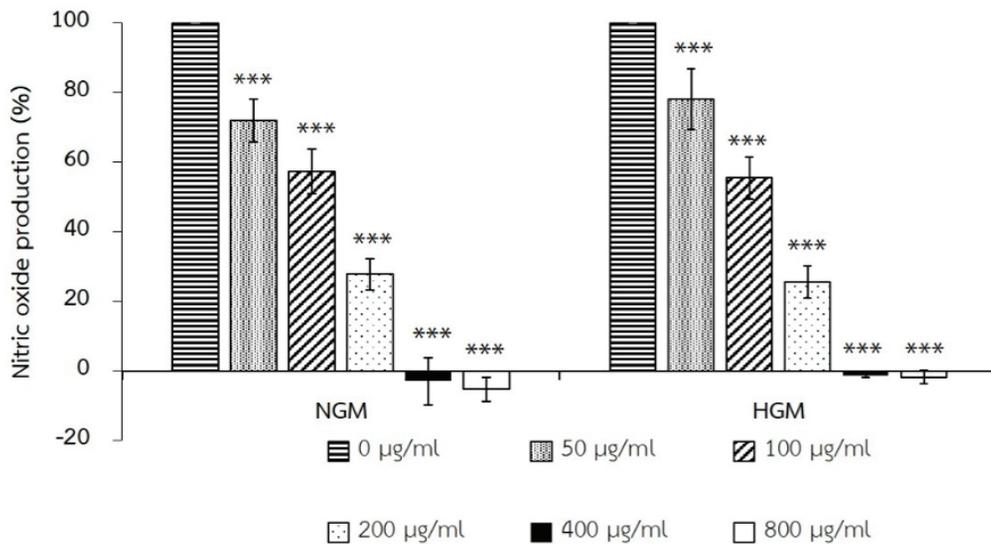


Figure 2 The effect of PAV extract on NO production of LPS-induced RAW264.7 cells in NGM and HGM. Data are presented as mean + S.D., *** *p* < 0.001, significantly different from control (0 µg/mL) using the one-way ANOVA followed by LSD post hoc test, n=3 for each group.



NGM and HGM conditions. This result suggested that the PAV might have non-specific inhibitory effect on NO production and did not depend on the concentration of glucose in the culture media in this study. However, this inhibitory effect of PAV extract on NO production might be the results of anti-oxidative and anti-inflammatory properties from those composite plants. The extract of *P. emblica* L. [11], *T. chebula* fruits [25, 27] and *T. bellirica* [28] have been known to exhibit antioxidant, anti-inflammation and inhibit nitric oxide production. The component plants of PAV, for example, *T. chebula*, *P. emblica*, *Z. officinalis*, *C. rotundus*, *K. galanga*, *A. sativum*, *P. emblica*, *L. siceraria* and *A. indica* have been independently studied in various reports both *in vitro* and *in vivo* models for their potential hypoglycemic action [29-38]. Gallic acid that found in fruit of *T. bellirica* is the active principle responsible for reduction plasma glucose level after inducing to diabetic male Wistar rats [39]. The role of gallic acid in *P. emblica* facilitated their glucose homeostasis and mediated antidiabetic potential [40].

Conclusion

Gallic acid and caffeic acid were found to contain in PAV extract and many plant extracts in this study. The 21 composite plants were remaining content in PAV extract. The PAV extract showed low cytotoxicity and could inhibit NO production on RAW264.7 cells in both NGM and HGM. The results from this study may be further used for quality control of the medicinal plants, safety, and the other activities of PAV formulary for application on diabetic treatment. Anti-inflammatory activity of

PAV should be further studied on gene and protein expressions by using real-time PCR and proteomics, respectively.

Acknowledgements

This work was financially supported by The Thai Traditional Medical Knowledge Fund, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine (Grant no. 27/2563). Thank you for Faculty of Agricultural Technology, Burapha University Sakaeo Campus for instrumental facility.

References

1. Adela R, Nethi SK, Bagul PK, Barui AK, Mattapally S, Kuncha M, et al. Hyperglycaemia enhances nitric oxide production in diabetes: a study from South Indian patients. PLoS one 2015;10(4): e0125270.
2. Torres SH, De Sanctis JB, de Briceno LM, Hernandez N, Finol HJ. Inflammation and nitric oxide production in skeletal muscle of type 2 diabetic patients. J Endocrinol 2004;181(3):419-27.
3. Guo H, Zhang Q, Yuan H, Zhou L, Li FF, Wang SM, et al. Nitric oxide mediates inflammation in type II diabetes mellitus through the PPAR γ /eNOS signaling pathway. PPAR research 2020; 2020:1-7.
4. Ozcelik O, Algul S. Nitric oxide levels in response to the patients with different stage of diabetes. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand) 2017;63(1):49-52.
5. Chatterjee S, Riewpaiboon A, Piyauthakit P, Riewpaiboon W, Boupajit K, Panpuwong N, et al. Cost of diabetes and its complications in Thailand: a complete picture of economic



- burden. *Heal Soc Care Community* 2011;19(3): 289–98.
6. Harrigan RA, Nathan MS, Beattie P. Oral agents for the treatment of type 2 diabetes mellitus: pharmacology, toxicity, and treatment. *Annu Emerg Med* 2001;38(1):68–78.
 7. Moolasarn S, Sripa S, Kuessirikiet V, Sutawee K, Huasary J, Chaisila C. Usage of and cost of complementary/alternative medicine in diabetic patients. *J Med Assoc Thai* 2005;88(11): 1630–7.
 8. Kumar S, Mittal A, Babu D, Mittal A. Herbal medicines for diabetes management and its secondary complications. *Curr Diabetes Rev* 2021;7(4):437–56.
 9. Eloff JN, Ntloedibe DT, van Brummelen R. A simplified but effective method for the quality control of medicinal plants by planar chromatography. *Afr J Tradit Complement Altern Med* 2011;8(5 Suppl):1–12.
 10. Singh S, Verma V, Yadav R, Singh B. Pharmacognostical study of Amalaki (*Emblica officinalis* Gaertn.). *J Pharmacogn Phytochem* 2018;7(3):3476–80.
 11. Muthuraman A, Sood S, Singla SK. The antiinflammatory potential of phenolic compounds from *Emblica officinalis* L. in rat. *Inflammopharmacology* 2011;19(6):327–34.
 12. Theepireddy SKR, Chinthala R, Rao LV, Kurisetty VV, Kura RR, Duvvada MR. The isolation, characterization and quantification of gallic acid from the fruit extract of *Terminalia chebula*. *JMPR* 2015;3(2):983–8.
 13. Peungvicha P, Vallisuta O, Mangmool S, Sirithamwanich T, Sirithamwanich R. Anti-hyperglycemic effect and subchronic toxicity of the combined extract from Sattagavata-Mathurameha-Tubpikarn anti-diabetic herbal formulae. *Thai J Pharm Sci* 2018;42(1):6-13.
 14. Torres- Castro I, Arroyo- Camarena UD, Martínez-Reyes CP, Gómez- Arauz AY, Dueñas- Andrade T, Hernández-Ruiz J, et al. Human monocytes and macrophages undergo M1-type inflammatory polarization in response to high levels of glucose. *Immunol Lett* 2016;176:81–9.
 15. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Methods* 1983;65(1-2):55–63.
 16. Ardalani H, Hejazi Amiri F, Hadipanah A, Kongstad, KT. Potential antidiabetic phytochemicals in plant roots: A review of in vivo studies. *J Diabetes Metab Disord* 2021;20(2):1837–54.
 17. Balekundri A, Mannur V. Quality control of the traditional herbs and herbal products: a review. *Futur J Pharm Sci* 2020;6(1):1-9.
 18. Amakura Y, Yoshimura M, Mouri C, Mikage M, Kawahara N, Goda Y, et al. Convenient TLC-based identification test for the crude drug “*Pogostemoni Herba*”. *Yakugaku Zasshi* 2008; 128(12):1833-7.
 19. Lin D, Xiao M, Zhao J, Li Z, Xing B, Li X, et al. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules* 2016;21(10):1374.
 20. Singh B, Kumar A, Singh H, Kaur S, Arora S, Singh B. Protective effect of vanillic acid against diabetes and diabetic nephropathy by attenuating oxidative stress and upregulation of NF- κ B, TNF- α and COX-2 proteins in



- rats. *Phytother Res* 2022;36(3):1338–52.
21. Xu Y, Tang G, Zhang C, Wang N, Feng Y. Gallic acid and diabetes mellitus: its association with oxidative stress. *Molecules* 2021;26(23):7115.
 22. Salau VF, Erukainure OL, Ijomone OM, Islam MS. Caffeic acid regulates glucose homeostasis and inhibits purinergic and cholinergic activities while abating oxidative stress and dyslipidaemia in fructose-streptozotocin-induced diabetic rats. *J Pharm Pharmacol* 2022;74(7):973–84.
 23. Chao CY, Mong MC, Chan KC, Yin MC. Anti-glycative and anti-inflammatory effects of caffeic acid and ellagic acid in kidney of diabetic mice. *Mol Nutr Food Res* 2010;54(3):388–95.
 24. Chawanorasest K, Pikulthong A, Meeploy M, Munyanont M, Jitprom N, Banjongsinsiri P, et al. Total phenolic and gallic acid contents in fresh and preserved *Emblica officinalis* Gaertn fruits from five different varieties. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)* 2019;11(22):13–22.
 25. Saha S, Verma RJ. Antioxidant activity of polyphenolic extract of *Terminalia chebula* Retzius fruits. *J Taibah University for Science* 2016;10(6):805–12.
 26. Makihara H, Koike Y, Ohta M, Horiguchi-Babamoto E, Tsubata M, Kinoshita K, et al. Gallic acid, the active ingredient of *Terminalia bellirica*, enhances adipocyte differentiation and adiponectin secretion. *Biol Pharm Bull* 2016;39(7):1137–43.
 27. Dhanasehian A, Srivani S, Rameshkumar MR. Nitric oxide production and antioxidant activity of dried fruit extracts of *Terminalia chebula*. *Asian J Pharm Clin Res* 2018;11(5):370–6.
 28. Hazra B, Sarkar R, Biswas S, Mandal N. Comparative study of the antioxidant and reactive oxygen species scavenging properties in the extracts of the fruits of *Terminalia chebula*, *Terminalia belerica* and *Emblica officinalis*. *BMC Complement Altern Med* 2010;10(1):1–15.
 29. Kumar GPS, Arulselvan P, Kumar DS, Subramanian SP. Anti-diabetic activity of fruits of *Terminalia chebula* on streptozotocin induced diabetic rats. *J Health Sci* 2006;52(3):283-91.
 30. Aung EPP, Lwin SH, Aye NN, Phyu KP. Hypoglycemic Effect of *Terminalia chebula* retz. Fruit on alloxan-induced diabetic rats. *Siriraj Medical Journal* 2017;69(2):80–4.
 31. Variya BC, Bakrania AK, Patel SS. Antidiabetic potential of gallic acid from *Emblica officinalis*: Improved glucose transporters and insulin sensitivity through PPAR- γ and Akt signaling. *Phytomedicine* 2020;73:152906.
 32. Abdulrazaq NB, Cho MM, Win NN, Zaman R, Rahman MT. Beneficial effects of ginger (*Zingiber officinale*) on carbohydrate metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Br J Nutr* 2012;108(7):1194–201.
 33. Singh P, Khosa RL, Mishra G, Jha KK. Antidiabetic activity of ethanolic extract of *Cyperus rotundus* rhizomes in streptozotocin-induced diabetic mice. *J Pharm Bioallied Sci* 2015;7(4):289–92.
 34. Sudatri NW, Warasiti N, Suartini NM, Bidura NI. Anti-diabetic and anti-cholesterol activity of *Kaempferia galangal* L. herbal medicine rhizome in albino rats. *Int J Fauna Biol Stud* 2019;6(5):13–7.



35. Ashraf R, Khan RA, Ashraf I. Garlic (*Allium sativum*) supplementation with standard antidiabetic agent provides better diabetic control in type 2 diabetes patients. Pak J Pharm Sci 2011;24(4):565–70.
36. Cahyaningrum PL, Yuliari SAM, Suta IBP. Antidiabetic Activity Test Using Amla Fruit (*Phyllanthus Emblica* L) Extract in Alloxan-Induced Balb/C Mice. J Vocational Health Stud 2019;3(2):53–8.
37. Saha P, Mazumder UK, Haldar PK, Sen SK, Naskar S. Antihyperglycemic activity of *Lagenaria siceraria* aerial parts on streptozotocin induced diabetes in rats. Diabetol Croat 2011;40(2):49–60.
38. Isdadiyanto S, Mardiati SM, Sitaswi AJ. Blood-glucose levels of rats given high-fat diets after administration of neem leaf ethanolic extract. Biosaintifika 2021;13(2):142–8.
39. Latha RC, Daisy P. Insulin-secretagogue, antihyperlipidemic and other protective effects of gallic acid isolated from *Terminalia bellerica* Roxb. in streptozotocin-induced diabetic rats. Chem Biol Interact 2011;189(1-2):112–8.
40. Variya BC, Bakrania AK, Patel SS. Antidiabetic potential of gallic acid from *Emblica officinalis*: improved glucose transporters and insulin sensitivity through PPAR- γ and Akt signaling. Phytomedicine 2020;73:152906.



การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสสำหรับผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอต

The utilization of lignocellulosic biomass waste for production of polyhydroxyalkanoates

จิตพร โพธิ์ปัญญาศักดิ์^{1*} ธวัชชัย ศุภดิษฐ์¹ และ สาวิตรี วัทัญญไพศาล^{2,3}

¹สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
กรุงเทพมหานคร 10240

²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

³ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศทางจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากจุลินทรีย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

Jittaporn Popanyasak^{1*}, Tawadchai Suppadit¹ and Savitri Vatanyoopaisarn^{2,3}

¹Division of Environmental Management, Graduate School of Environmental Development
Administration, National Institute of Development Administration, Bangkok 10240

²Department of Agro-Industrial Technology, Food and Environmental Technology,
Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

³Microbial Informatics and Industrial Product of Microbe Research Center,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

Received: 23 September 2022/ Revised: 17 November 2022/ Accepted: 20 November 2022

บทคัดย่อ

ด้วยคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่โดดเด่นของพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอตทำให้ได้รับความสนใจในการนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกเพื่อทดแทนพลาสติกสังเคราะห์ในหลากหลายด้าน อย่างไรก็ตาม พอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอตยังไม่สามารถทดแทนพลาสติกสังเคราะห์ได้มากนัก เนื่องจากมีอัตราการผลิตต่ำและต้นทุนการผลิตสูงทำให้พอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอตมีราคาสูงตามไปด้วย ซึ่งต้นทุนการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอตส่วนใหญ่มาจากแหล่งคาร์บอนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและเป็นการจัดการขยะ ได้มีการนำของเสียหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ มาใช้เป็นแหล่งคาร์บอน วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจเนื่องจากมีปริมาณมาก ราคาถูก และเป็นวัสดุที่สามารถทดแทนใหม่ได้ ทั้งนี้การนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้นั้นต้องมีการบูรณาการในการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสให้เป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งประกอบด้วย การปรับปรุงสภาพ การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส และการกำจัดสารยับยั้ง บทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงสภาพ การย่อยสลาย การกำจัดสารยับยั้ง หลักการเบื้องต้นของกระบวนการผลิตไฮดรอกซีอัลคานอเอตโดยวิธีหมักแบบเปิดที่เรียบง่าย และการใช้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส



ในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากวัสดุเหลือทิ้ง
ลิกโนเซลลูโลสและนำไปสู่การผลิตพลาสติกชีวภาพที่มีคุณภาพและยั่งยืนในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส วิธีเมแทบอลิซึม แหล่งคาร์บอน

Abstract

Polyhydroxyalkanoates (PHAs) have received special attention as a substitute material for the synthetic polymer in various applications due to their distinctive chemical and physical properties. However, PHAs are still unable to replace the synthetic polymer because of high cost and low production capacity which in turn make the product become high price. The main cost of production is carbon source used as a substrate for PHAs production. In order to reduce the production cost and eliminate waste, waste or by-products from a variety of industries were used as a source of carbon. Lignocellulosic biomass waste is an interesting raw material due to numerous quantities, inexpensive and renewable resources. Nevertheless, the use of lignocellulosic biomass waste requires the process of converting lignocellulosic waste into a carbon source that consist of the pretreatment, hydrolysis and detoxification methods. In addition, the basic principle of metabolic pathway for PHAs biosynthesis and the use of lignocellulosic biomass waste for PHAs production were described. This review can assist in the further development of PHAs production from lignocellulosic biomass waste and lead to the production of quality and sustainable bioplastics in the future.

Keywords: Polyhydroxyalkanoates, Lignocellulosic biomass waste, Metabolic pathway, Carbon source

บทนำ

พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoates; PHAs) เป็นพลาสติกชีวภาพประเภทพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์โดยแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบหลากหลายสายพันธุ์ เช่น *Bacillus megaterium*, *Cupriavidus necator*, *Pseudomonas oleovorans* เป็นต้น และอาร์เคียในวงศ์ *Halobacteriaceae* เช่น *Haloferax* และ *Haloarcula* [1] โดย PHAs จะถูกผลิตและสะสมอยู่ภายในไซโตพลาสซึมของแบคทีเรียเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำรองเมื่ออยู่ในสภาวะที่สารอาหารถูกจำกัด เช่น มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต หรือออกซิเจนในปริมาณน้อยในขณะที่มีแหล่งคาร์บอนในปริมาณที่มากเกินไป [2, 3] PHAs แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามจำนวน

คาร์บอนในหน่วยย่อย (monomer) ได้แก่ (1) short-chain length (scl-PHAs) ประกอบด้วยคาร์บอน 3-5 อะตอม เช่น พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (polyhydroxybutyrate; PHB) พอลิไฮดรอกซีวาเลอเรต (polyhydroxyvalerate; PHV) และ พอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) (poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate; PHBV)) และ (2) medium-chain length PHAs (mcl-PHAs) ประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 6 อะตอมขึ้นไปในแต่ละหน่วยย่อย เช่น พอลิไฮดรอกซีเฮกซาโนเอต (polyhydroxyhexanoate; PHH) พอลิไฮดรอกซีออกตาโนเอต (polyhydroxyoctanoate; PHO) และ พอลิ (3-ไฮดรอกซีเฮกซาโนเอต-โค-3-ไฮดรอกซีออกตาโนเอต) (poly(3-hydroxyhexanoate-co-3-



hydroxyoctanoate; PHHO) [4] PHAs สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และ/หรือมีเทน [5] ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย PHAs ยังสามารถคืนกลับสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชต่อไป นอกจากนี้ PHAs ยังทนต่อความชื้นและแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี ไม่ละลายน้ำ เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เป็นวัสดุเพียงโซอิลิกทริก และมีสมบัติคล้ายกับพอลิโพรพิลีน (polypropylene; PP) จากสมบัติดังกล่าว ทำให้ PHAs ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้านโดยเฉพาะด้านการแพทย์ เช่น เนื้อเยื่อกระดูกและหัวใจเทียม ตัวนำส่งยา อุปกรณ์ทำแผลต่างๆ เป็นต้น [6] ปัจจุบันได้มีการนำ PHAs มาผลิตใหม่เย็บแผลชนิดโมโนฟิลิเมนต์ แผ่นฟิล์มและผ้าก๊อตปิดแผล โครนเกลียงเซลล์ และอื่นๆ ซึ่งพาณิชย์โดยบริษัท Tephra และได้รับการรับรองมาตรฐานจากองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for standardization, ISO) และจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration, FDA) ซึ่งอุปกรณ์ทางการแพทย์เหล่านี้จะช่วยให้การรักษารวดเร็วและดียิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น เข้ากันได้ทางชีวภาพ มีความทนต่อแรงดึง และการกักเก็บแรงดึงได้ดีเยี่ยม [7] นอกจากนี้ PHAs ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่เครื่องสำอาง แชมพู อาหาร และเครื่องดื่ม [8] อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในด้านเกษตรได้อีกด้วย โดยบริษัท Danimer Scientific, Tianjin GreenBio Materials และ Greenpoly ได้ผลิตถุงปลูกต้นไม้จาก PHAs-DDGS ซึ่งถุงปลูกนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 4 เดือน และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายในดิน หรือจะนำไปผลิตเป็นฟิล์มคลุมดิน โดยบริษัท Danimer Scientific ได้ผลิตฟิล์มคลุมดินจาก P3HB-co-3HHx ซึ่งไม่ย่อยสลายได้ด้วยแสงและได้รับการรับรองว่าย่อยสลายได้ตามมาตรฐาน ASTM D6400-99 หรือ ASTM D6868-03 [9]

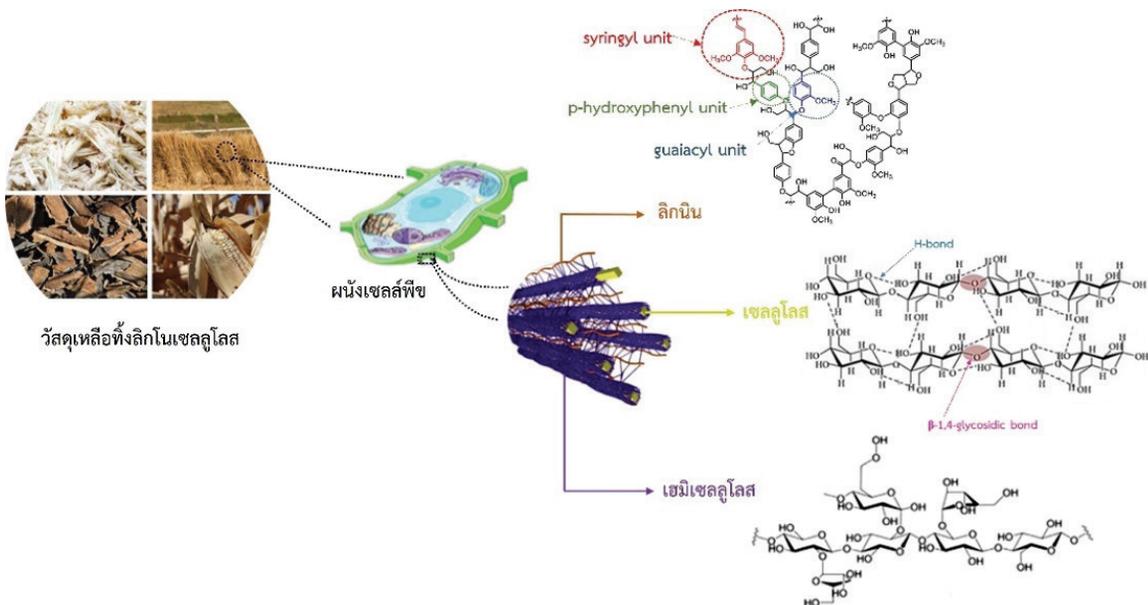
ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่ผลิตจากแบคทีเรีย และสมบัติทางเคมีและกายภาพที่โดดเด่นจึงทำให้ PHAs เป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกสังเคราะห์

ที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบซึ่งย่อยสลายได้ยากดี เป็นอย่างดี และนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development goal, SDG) ที่ 6 (จัดการน้ำอย่างยั่งยืนและพร้อมใช้สำหรับทุกคน) เป้าหมายที่ 9 (ส่งเสริมอุตสาหกรรมที่ยั่งยืนและนวัตกรรม) และเป้าหมายที่ 12 (สร้างรูปแบบการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน) [10] อย่างไรก็ตาม PHAs ยังไม่สามารถใช้งานได้จนแพร่หลายมากนักเนื่องจากมีราคาสูงกว่าพลาสติกสังเคราะห์ประมาณ 2-5 เท่า โดย PHAs มีราคา 2.4-5.5 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ส่วนพลาสติกสังเคราะห์มีราคาเพียง 1.2 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ซึ่งต้นทุนการผลิตทั้งหมดมาจากแหล่งคาร์บอนประมาณร้อยละ 30-50 เพราะบริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่ใช้เชื้อปรีสุทธ์และแหล่งคาร์บอนที่มีราคาแพง เช่น น้ำตาล น้ำมัน ลิพิด โปรตีนจากพืชผักและสัตว์ เป็นต้น [11] ซึ่งแหล่งคาร์บอนเหล่านี้ยังเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์อีกด้วย เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและหลีกเลี่ยงการใช้แหล่งอาหารของมนุษย์ ปัจจุบันได้มีการนำของเสียหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร เครื่องดื่ม หรืออื่นๆ มาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิต PHAs เช่น เวย์ น้ำมันที่ใช้แล้ว วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส และกลีเซอรอล เป็นต้น [1] วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และเศษไม้ เป็นต้น เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการเกษตร การทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ และอุตสาหกรรมอาหารจัดว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาใช้สำหรับผลิต PHAs เนื่องจากมีปริมาณมาก ราคาถูก หาได้ง่าย และเป็นวัสดุที่สามารถเกิดและทดแทนใหม่ได้

วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทและสายพันธุ์ของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส อากาศ และความสมบูรณ์ของดิน โดยทั่วไป วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 30-50 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15-35 และลิกนินร้อยละ 10-20 [12, 13] โครงสร้างของแต่ละองค์ประกอบในวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสแสดงดังภาพที่ 1 เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์

ที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 500-15,000 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของกลูโคส โดยแต่ละโมเลกุลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงและมีความเป็นผลึกสูง ส่วนเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดทั้งน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไซโลส และอะราบินอสมมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic เป็นโครงสร้างหลักและมีน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส กาแลคโตส และแมนโนส หรือกรดน้ำตาล ได้แก่ กรดกลูควโรนิก กาแลคทูโรนิก และเมทิลกาแลคทูโรนิกมาเชื่อมต่อกับโครงสร้างหลักเกิดเป็นโครงสร้างแบบกิ่งได้ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส [14] ซึ่งทำให้เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยสลายได้มากกว่าเนื่องจากมีความเป็นผลึกน้อยกว่าเซลลูโลส สำหรับลิกนินมีโครงสร้างแบบสามมิติซึ่งประกอบด้วยฟีนิลโพรพานอยด์ที่แตกต่างกัน 3 หน่วยย่อย คือ พาราไฮดรอกซีฟีนิล (p-hydroxyphenyl: H) กัวไอเอซิล (guaiacyl: G) และไซริงกิล (syringyl: S) มาเชื่อมต่อกันโดย aryl ether linkage ทำให้ลิกนินไม่ละลายน้ำและย่อยสลายยาก [12]

จากโครงสร้างที่ซับซ้อนและแข็งแรงของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสทำให้การนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์สำหรับผลิต PHAs นั้นยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากจำเป็นต้องมีการปรับสภาพเพื่อให้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสให้มีโครงสร้างที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ขั้นตอนการปรับสภาพนี้ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะส่งผลต่อทั้งประสิทธิภาพการย่อยสลายซึ่งเป็นขั้นตอนในการเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และต้นทุนในการผลิต PHAs ได้ นอกจากนี้อาจต้องมีการกำจัดสารยับยั้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปรับสภาพด้วย ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีกระบวนการหลายวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นบทความนี้จึงได้รวบรวมการปรับสภาพ การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส การกำจัดสารยับยั้ง รวมกระบวนการสังเคราะห์ PHAs โดยวิธีเมีแทบอลิซึมของแบคทีเรีย การผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส รวมถึงข้อดี ข้อเสีย ค่าใช้จ่าย ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิต PHAs จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสในอนาคต



ภาพที่ 1 โครงสร้างและองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส



การปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส (Pretreatment of lignocellulosic biomass waste)

วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส คือ เพื่อกำจัดลิกนิน เพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกและระดับความเป็นพอลิเมอร์ของเซลลูโลส [15] การปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ การปรับสภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางกายภาพร่วมกับเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดในการปรับสภาพนั้นควรพิจารณาถึงประเภทและองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสที่นำมาใช้ นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นด้วย [16]

1. การปรับสภาพทางกายภาพ (Physical pretreatment)

การปรับสภาพทางกายภาพเป็นการลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส ลดขนาดและเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสโดยการบด สับ และโม หรือเป็นการทำลายโครงสร้างของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสโดยใช้รังสี เช่น รังสีแกมมา ลำโวลีตรอน และคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น [17] รวมถึงการแยกสลายโดยใช้ความร้อน (pyrolysis) ซึ่งอบด้วยความร้อนที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้การบด สับ และไม่มากกว่าการใช้รังสีเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาและพลังงานน้อยกว่า

โดยทั่วไป การลดขนาดโดยการสับทำให้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมีขนาดประมาณ 10-30 มิลลิเมตร สำหรับการม่และการบดจะมีขนาด 0.2 มิลลิเมตร [18] อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไปนั้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายลดลงได้ เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสที่มีขนาดเล็กจะลอยอยู่บนผิวของสารละลายกรดหรือเอนไซม์ในขณะที่การย่อยสลายทำให้กระบวนการย่อยสลายมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อย [19] นอกจากนี้การลดขนาดจนเล็กเกินไปจะต้องใช้พลังงานในการลดขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต PHAs ด้วย ในทางตรงกันข้ามหากใช้ขนาดที่ใหญ่เกินไป กรดหรือเอนไซม์ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุได้ทั้งหมด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของวัสดุ

ที่จะสัมผัสกับกรดหรือเอนไซม์น้อยส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อย [20] ซึ่งจะเห็นว่าขนาดของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อกระบวนการและประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ ดังนั้นควรพิจารณาและศึกษาขนาดของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสด้วย

2. การปรับสภาพทางเคมี (Chemical pretreatment)

2.1 การปรับสภาพด้วยด่าง (Alkaline pretreatment)

เป็นการใช้ด่าง ได้แก่ โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้โซเดียมและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษน้อยต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สำหรับกลไกของกระบวนการนี้จะอาศัยหลักการเดียวกันกับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) คือ ด่างจะไปสลายพันธะเอสเทอร์ที่เชื่อมระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินทำให้แยกองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสออกจากกันและยังเป็นการทำลายโครงสร้างของลิกนิน นอกจากนี้การปรับสภาพด้วยด่างยังทำให้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเกิดการขยายตัวส่งผลให้มีพื้นที่ผิวภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้น ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ และยังสามารถกำจัดหมู่อะซิติลและกรดยูโรนิกที่มีอยู่ในเฮมิเซลลูโลสได้อีกด้วย [15] วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทไม้เนื้อแข็งที่มีปริมาณลิกนินต่ำ ซึ่งหากใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทไม้เนื้ออ่อนที่มีปริมาณลิกนินน้อย เช่น เปลือกและแกนสับปรด อาจทำให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเกิดการสลายตัวได้ [19]

วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถทำในสภาวะที่ไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยกรด กล่าวคือ สามารถทำที่อุณหภูมิห้องได้ แต่ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานหลายชั่วโมงหรือเป็นวัน [21]

2.2 การปรับสภาพด้วยกรด (Acid pretreatment)

กรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดซัลฟิวริกและไฮโดรคลอริก เนื่องจากมีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดฟอสฟอริกในตรีก

และออกซาลิกในการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส อีกด้วย [22] การปรับสภาพด้วยกรดนั้นสามารถทำได้โดยใช้ กรดเข้มข้นหรือเจือจาง การใช้กรดเข้มข้นมีข้อดีคือ สามารถ ทำที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก (ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ให้ ปริมาณน้ำตาลสูง และไม่จำเป็นต้องมีการย่อยสลายด้วยกรด เอนไซม์อีก แต่มีข้อเสีย คือ มีความเป็นพิษและฤทธิ์ในการ กัดกร่อนสูงจึงต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความทนทาน ต่อกรดซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงทำให้การใช้กรด เจือจางเป็นที่นิยมในการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้ง ลิกโนเซลลูโลส การใช้กรดเจือจางแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ ทำที่สภาวะอุณหภูมิสูง (มากกว่า 160 องศาเซลเซียส) และ ทำที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส) [23] อย่างไรก็ตามการปรับสภาพด้วยกรดนี้จะมีสารประกอบ เฟอร์ฟูรัลและไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเกิดขึ้นด้วย และ จำเป็นต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนนำไปใช้

3. การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี (Physico-chemical pretreatment)

3.1 การระเบิดด้วยแอมโมเนีย (Ammonia fiber explosion, AFEX)

สามารถทำได้โดยให้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเหลวภายใต้ความดันและอุณหภูมิ สูงในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการลดความดันอย่างรวดเร็ว ในการปรับสภาพโดยทั่วไปจะใช้แอมโมเนียเหลวประมาณ 1-2 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้งหรือชีวมวลของวัสดุเหลือทิ้ง ลิกโนเซลลูโลส 1 กิโลกรัม และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 นาที โดยใน กระบวนการนี้เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาล โอลิโกเมอร์โดยกระบวนการกำจัดหมู่อะซีติลและทำให้ โครงสร้างของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเปลี่ยนไปส่งผลให้ วัสดุมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและการย่อยสลายด้วย เอนไซม์เพิ่มขึ้น [24] นอกจากนี้ แอมโมเนียที่ใช้ในการ ปรับสภาพแล้วสามารถนำกลับไปใช้ได้อีกทำให้ลดค่าใช้จ่าย ได้ [25] และไม่ก่อให้เกิดของเสียอันเป็นปัญหาด้าน สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามวิธีนี้เหมาะสำหรับการปรับสภาพ พวกไม้ล้มลุกและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากกว่าการใช้

ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสพวกไม้เนื้ออ่อนและ วัสดุที่มีปริมาณลิกนินสูง [22]

3.2 การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion)

วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการลดขนาด แล้วจะถูกปรับสภาพด้วยไอน้ำอัดตัวเป็นเวลา 30 วินาทีถึง 20 นาที หลังจากนั้นลดความดันลงอย่างรวดเร็วจนถึง ความดันบรรยากาศ [22] โดยปกติจะควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 160-260 องศาเซลเซียส และความดัน 0.69-4.83 เมกะ ปาสคาล [24] กระบวนการนี้จะทำให้หมู่อะซีติลที่มีอยู่ใน เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสซึ่งมีน้ำเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นกรดอะซีติกและทำให้โครงสร้างของ ลิกนินเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจึงเป็นการเพิ่มศักยภาพให้กับ กระบวนการย่อยสลายเซลลูโลส ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการ ปรับสภาพด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดของ วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส ระยะเวลา อุณหภูมิ และปริมาณ ความชื้น นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีประสิทธิภาพในการใช้ปรับสภาพ วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสจากการเกษตรและประเภทไม้ เนื้อแข็งมากกว่าประเภทไม้เนื้ออ่อน เนื่องจากไม้เนื้ออ่อนมี ปริมาณหมู่อะซีติลในเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่า [22]

การระเบิดด้วยไอน้ำนี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้อยเนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการปรับสภาพ แต่ยังคงมีการใช้น้ำและพลังงานปริมาณมาก และมีสารยับยั้ง เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลสบางส่วนด้วย

3.3 การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water)

วิธีนี้คล้ายกับวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ แต่วิธีการใช้ น้ำร้อนในการปรับสภาพนี้จะควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 170-230 องศาเซลเซียสและใช้ความดันมากกว่า 5 เมกะปาสคาล เพื่อควบคุมให้น้ำอยู่ในสถานะของเหลวซึ่งจะส่งผลให้ เฮมิเซลลูโลสเกิดการย่อย วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสที่ผ่าน การปรับสภาพแล้วจะอยู่ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) โดยส่วนที่เป็นของแข็งจะเป็นเซลลูโลส และส่วนที่เป็น ของเหลวจะมีน้ำตาลโอลิโกเมอร์ที่เกิดจากการย่อยสลาย ของเฮมิเซลลูโลสละลายอยู่ เพื่อลดการสลายตัวของ พอลิแซคคาไรด์และลดการเกิดสารยับยั้งควรควบคุมความ เป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 4-7 [22]



การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนมีข้อดี คือ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการปรับสภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเปิดด้วยไอน้ำ พบว่าการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนจะให้ปริมาณน้ำตาลสูงและสารยับยั้งน้อยกว่า

4. การปรับสภาพทางชีววิทยา (Biological pretreatment)

วิธีการปรับสภาพทางชีววิทยานี้จะเป็นการย่อยสลายลิกนินโดยการใช้อินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ ราฟุสสีขาว ราฟุสน้ำตาล และราฟุอ่อน โดยเชื้อราเหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์แลคเคส ลิกนินเปอร์ออกซิเดส และแมงกานีสเปอร์ออกซิเดส ที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ โดยเฉพาะราในกลุ่มราฟุสีขาวจะมีความสามารถในการย่อยสลายลิกนินได้อย่างรวดเร็วและทำให้การย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีประสิทธิภาพ กล่าวคือได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง [15] ตัวอย่างเชื้อราในกลุ่มนี้ เช่น *Ceriporiopsis subvermispora*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Ceriporia lacerata*, *Trametes versicolor* และ *Tyromyces chioneus* เป็นต้น [22] แม้ว่าวิธีนี้จะเป็นมิตต่อสิ่งแวดล้อมและไม่มีสารยับยั้งเกิดขึ้นแต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีอัตราการย่อยสลายต่ำทำให้ต้องใช้เวลานานในการปรับสภาพนาน

อย่างไรก็ตามการปรับสภาพแต่ละวิธีนั้นมีทั้งข้อดีข้อจำกัด การเกิดสารยับยั้ง ค่าใช้จ่าย [22, 26] และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากน้อยแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 หากพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าการปรับสภาพด้วยการใช้น้ำร้อนและทางชีวภาพมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและมีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นพิษและใช้พลังงานในการปรับสภาพน้อยแต่การปรับสภาพทางชีวภาพนั้นต้องใช้เวลานาน นอกจากนี้การปรับสภาพด้วยแอมโมเนียเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากสามารถนำแอมโมเนียกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะทางน้ำ

หากมีการรั่วไหลเกิดขึ้น ดังนั้น การใช้น้ำร้อนจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำไปใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส

การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส (Hydrolysis of lignocellulosic biomass waste)

การย่อยสลายเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส อะราบินอส และไซโลส โดยใช้กรดหรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

1. การย่อยสลายด้วยกรด (Acid hydrolysis)

กรดที่นิยมใช้ในการย่อยสลาย คือ กรดซัลฟิวริก และไฮโดรคลอริก โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการตามความเข้มข้นของกรดที่ใช้ คือ การย่อยสลายด้วยกรดเจือจาง (dilute acid hydrolysis) ซึ่งในกระบวนการนี้จะใช้กรดที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 2-5 โดยปริมาตร และต้องใช้อุณหภูมิสูงในการย่อยสลายซึ่งแตกต่างจากการย่อยสลายด้วยกรดเข้มข้น (concentrated acid hydrolysis) ที่ใช้กรดที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10-30 โดยปริมาตร แต่สามารถทำที่อุณหภูมิต่ำได้ [27]

สำหรับกลไกการย่อยสลายด้วยกรดแสดงดังภาพที่ 2 ในขั้นแรก กรดจะถ่ายโอนโปรตอน (H^+) ให้กับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) จากนั้น H_3O^+ จะถ่ายโอน H^+ ให้กับเซลลูโลสและใช้อิเล็กตรอนร่วมกับออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของกลูโคสเกิดเป็นกรดคอนจูเกต และทำให้พันธะระหว่าง C-O แตกออกได้เป็นไฮดรอกซิลโบเนียมไอออน จนกระทั่งมีโมเลกุลของน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลโบเนียมไอออนได้เป็นกลูโคสและ H^+ [28, 29] ในทำนองเดียวกัน เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยได้เป็นกลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส และ อะราบินอส ซึ่งกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดนี้จะมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น สารประกอบเฟอร์ฟูรัล ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล และกรดต่างๆ เกิดขึ้นด้วยและมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย



ตารางที่ 1 ข้อดี ข้อจำกัด การเกิดสารยับยั้ง ค่าใช้จ่าย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้ง ลิกโนเซลลูโลสจำแนกตามวิธีการ

วิธีการปรับสภาพ	ข้อดี	ข้อเสีย	การเกิดสารยับยั้ง	ค่าใช้จ่าย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
ทางกายภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - ลดขนาดของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส - ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส - เพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร - สามารถใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสได้ทุกประเภท 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้พลังงานสูง - ต้องใช้ร่วมกับวิธีการปรับสภาพวิธีอื่น 	ต่ำ	ต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> - ผลกระทบจากการใช้พลังงานซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม - ผลกระทบต่ออากาศ: เนื่องจากการลดขนาดวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส จะมีฝุ่นละอองเกิดขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศได้ - ผลกระทบทางเสียง: เนื่องจากการอุปกรณ์และเครื่องมือมีเสียงดังขณะทำการลดขนาดวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส
ทางเคมี					
การใช้กรด	<ul style="list-style-type: none"> - ทำลายโครงสร้างของลิกนิน - ลดความเป็นผลึกและระดับความเป็นพอลิเมอร์ของเซลลูโลส - สามารถทำที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติได้ - เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสไม้เนื้อแข็งที่มีปริมาณลิกนินต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการปรับสภาพนาน - ไม่เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทไม้เนื้ออ่อนที่มีปริมาณลิกนินน้อย 	ต่ำ	สูง	<ul style="list-style-type: none"> - ผลกระทบต่อน้ำ: โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และมีพิษปานกลางต่อสัตว์น้ำแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เป็นอันตรายอย่างมากต่อสัตว์น้ำและส่งผลกระทบต่อค่าบีโอดีหรือปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เพิ่มสูงขึ้น
การใช้กรด	<ul style="list-style-type: none"> - ให้ปริมาณน้ำตาลสูง - ไม่ต้องมีการย่อยสลายต่อ - เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและพวกไม้เนื้ออ่อน 	<ul style="list-style-type: none"> - มีความเป็นพิษอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม - กัดกร่อนอุปกรณ์และเครื่องมือจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ 	สูง	สูง	<ul style="list-style-type: none"> - ผลกระทบต่อน้ำ: การใช้กรดเข้มข้นจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสัตว์น้ำเนื่องจากกรดจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเปลี่ยนแปลงไป - ผลกระทบต่ออากาศ: กรดซัลฟิวริกจะมีลักษณะ



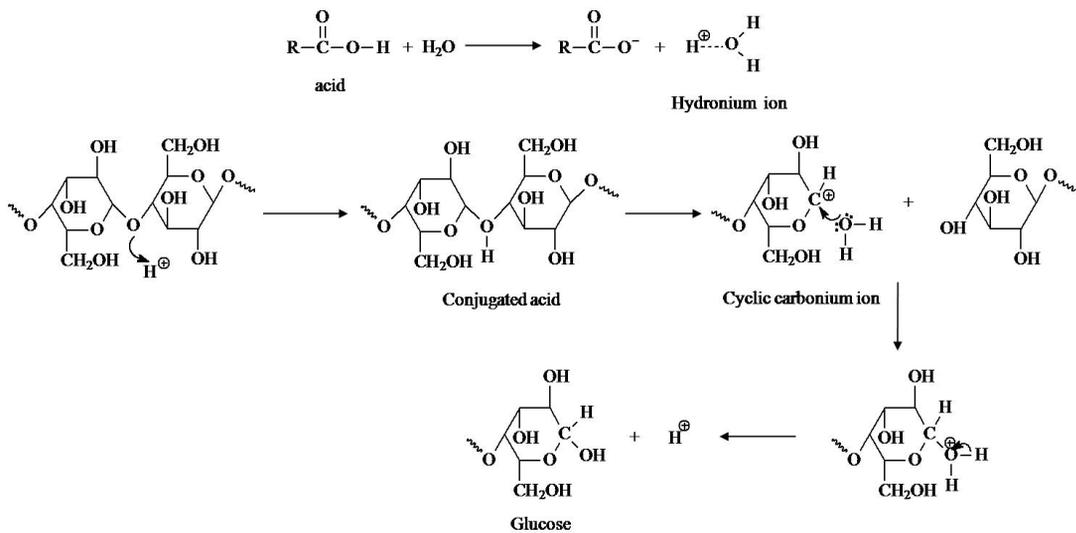
ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการปรับปรุงสภาพ	ข้อดี	ข้อเสีย	การเกิดสารยับยั้ง	ค่าใช้จ่าย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
		- ต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนนำไปใช้			เป็นอนุภาคหรือละอองฝอยเมื่อปนเปื้อนในอากาศ ซึ่งอาจรวมตัวกับเมฆและเกิดการสะสมแบบเปียกจนเกิดเป็นฝนกรดได้
ทางกายภาพร่วมกับเคมี					
การระเบิดด้วยแอมโมเนีย	- เพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส - สามารถนำแอมโมเนียกลับมาใช้ใหม่ได้ - เหมาะกับการใช้ปรับสภาพพวกไม้ล้มลุกและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	- ไม่เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสพวกไม้เนื้ออ่อนและวัสดุที่มีปริมาณลิกนินสูง	ต่ำ	ต่ำ	- ผลกระทบต่อน้ำ: ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นและค่าดีไอหรือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (หมายรวมถึงทั้งสัตว์น้ำและพืชน้ำ)
การระเบิดด้วยไอน้ำ	- ไม่มีการใช้สารเคมี - เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทไม้เนื้อแข็ง	- ใช้พลังงานสูง - ใช้น้ำปริมาณมาก - ไม่เหมาะกับการใช้ปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทไม้เนื้ออ่อน	สูง	สูง	- ผลกระทบจากการใช้พลังงานปริมาณมากซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม - ผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำ: เนื่องจากมีการใช้น้ำในปริมาณมาก
การใช้น้ำร้อน	- ไม่มีการใช้สารเคมี - กำจัดลิกนินและแอมมิเซลลูโลส		ต่ำ	ต่ำ	ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเนื่องจากมีการใช้พลังงานและน้ำปริมาณน้อย
ทางชีวภาพ	- มีความจำเพาะต่อลิกนิน - ใช้พลังงานต่ำ - ไม่มีการใช้สารเคมี - สามารถใช้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม้เนื้ออ่อน	- อัตราการย่อยสลายต่ำ - ใช้เวลาในการปรับสภาพนาน	ต่ำ	ต่ำ	ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเนื่องจากมีการใช้พลังงานต่ำ

2. การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Enzyme hydrolysis)

โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายเซลลูโลส โดยทั่วไปเอนไซม์เซลลูเลสประกอบด้วยเอนไซม์ 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสตรงส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ

(amorphous) หรือย่อยหน่วยย่อยของเซลลูโลสตรงตำแหน่งพันธะ β -1,4-glycosidic (2) เอกโซกลูคาเนส (exoglucanase) จะทำหน้าที่ร่วมกับเอนโดกลูคาเนส โดยย่อยสลายเซลลูโลสจากปลายด้านที่เป็นน้ำตาลอนรีดิวซ์ได้



ภาพที่ 2 กลไกในการย่อยสลายเซลลูโลสด้วยกรด [28]

ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลเซลโลไบโอส และ (3) บีต้า-กลูโคไซด์ (β-glucosidase) ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลเซลโลไบโอสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส [30] ซึ่งเอนไซม์เซลลูเลสสามารถผลิตได้จากแบคทีเรีย เช่น *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Streptomyces*, *Thermomonospora* เป็นต้น และราบางชนิด เช่น *Aspergillus*, *Schizophyllum* และ *Penicillium* เป็นต้น [31]

นอกจากนี้ มีการใช้เอนไซม์อื่นๆ ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส เช่น เอนไซม์ไซลาลเนส อะราบินเนส และแลคเคส และมีการเติมสารลดแรงตึงผิว และสารตัวกลาง (mediator) เช่น ไฮดรอกซีเบนโซไตรอะโซล (HOBT) และ 2,2'-อะซิโนบิส (3-เอทิลเบนโซโทอะโซลิน-6-ซัลโฟนิค แอซิด) (ABTS) เพื่อให้เอนไซม์มีศักยภาพในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น [32]

แม้ว่าการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีความจำเพาะต่อการย่อยสลายเซลลูโลสและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการย่อยสลายด้วยกรด แต่การย่อยสลายด้วยเอนไซม์นั้นมีความค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากเอนไซม์มีราคาสูง นอกจากนี้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ส่วนการย่อยสลายด้วยกรดมีความค่าใช้จ่ายและเวลาในการย่อยสลายน้อยกว่าการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ แต่มีข้อเสีย คือ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้องใช้อุปกรณ์ที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนสูง

สารยับยั้งและการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซตสารยับยั้ง (Inhibitor)

ในกระบวนการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสต่างๆ และการย่อยสลายนั้นนอกจากจะได้น้ำตาลแล้วยังมีสารยับยั้งเกิดขึ้นด้วยเสมอ โดยทั่วไปสารยับยั้งประกอบด้วย 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ กรดอ่อน (weak acid) เช่น กรดแอสติก กรดฟอร์มิก และกรดเลวูลินิก โดยกรดแอสติกเกิดจากการแตกตัวของหมู่อะซิติกในโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ขณะที่กรดฟอร์มิกและกรดเลวูลินิกเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ฟูรัลและไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรัล ตามลำดับ เมื่อกรดเหล่านี้ผ่านเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย กรดจะเกิดการแตกตัวและทำให้ค่าความเป็นกรดต่างภายในเซลล์ของแบคทีเรียลดลงและตายในที่สุด [33] กลุ่มที่ 2 ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เกิดจากการแตกตัวของโครงสร้างลิกนิน โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเกิดความเสียหาย [17] กลุ่มที่ 3 ได้แก่ อนุพันธ์ฟูแรน (furan derivatives) เช่น เพอร์ฟูรัล และไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรัล เกิดจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของน้ำตาล โดยสารประกอบทั้งสองจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [34] ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลงได้



การกำจัดสารยับยั้ง (Detoxification)

1. การกำจัดสารยับยั้งด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical method)

การระเหย (evaporation) และการกรองผ่านเมมเบรน (membrane filtration) เป็นวิธีทางกายภาพที่นิยมใช้กำจัดสารยับยั้งที่ระเหยได้ เช่น กรดแอสติค สารประกอบเพอร์ฟูรล และอื่นๆ โดยการระเหยด้วยสูญญากาศหรือใช้เมมเบรนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตัดการกรอง (molecular weight cut off) ตั้งแต่ 100-1000 กรัมต่อโมล [34] ในการแยกสารยับยั้งออกจากไฮโดรไลเซท

2. การกำจัดสารยับยั้งด้วยวิธีทางเคมี (Chemical method)

2.1) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

เป็นกระบวนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไฮโดรไลเซทด้วยสารละลายต่าง ได้แก่ สารละลายแคลเซียม โซเดียม และแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ ซึ่งในกระบวนการนี้สารประกอบเพอร์ฟูรลและไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลจะตกตะกอนและถูกกำจัดออกโดยการกรอง [34]

2.2) การปรับต่างเกิน (Overliming)

ทำได้โดยเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงในไฮโดรไลเซทเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยในกระบวนการนี้กรดซัลฟิวริกที่มีอยู่ในไฮโดรไลเซทจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตหรือยิปซัมซึ่งไม่ละลายน้ำและแยกออกโดยการกรอง นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถกำจัดสารประกอบเพอร์ฟูรลและไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลได้บางส่วนด้วย อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสีย คือ ปริมาณน้ำตาลลดลงเนื่องจากน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่ไม่สามารถนำไปใช้หมักได้ (unfermentable compound) ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา [35]

2.3) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal adsorption)

การกำจัดสารยับยั้งโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายน้อย มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารยับยั้งพวกสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก และเพอร์ฟูรล และไม่ส่งผลกระทบต่อ

ปริมาณน้ำตาลในไฮโดรไลเซทอีกด้วย [34] โดยประสิทธิภาพของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณถ่านกัมมันต์กับปริมาตรไฮโดรไลเซท เป็นต้น [36]

3. การกำจัดสารยับยั้งด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological method)

วิธีนี้มีข้อดี คือ ทำในสถานะที่ไม่รุนแรง ใช้พลังงานน้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [37] เนื่องจากใช้จุลินทรีย์ เช่น *Coniochaeta ligniaria*, *Trichoderma reesei*, *Ureibacillus thermosphaerius* และ *Issatchenkia occidentalis* เป็นต้น ในการกำจัดสารยับยั้งพวกสารประกอบเพอร์ฟูรล ไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรล และฟีนอลิก [38] ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการกำจัดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เวลาในการบ่ม ขนาดหัวเชื้อ และเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ [17] อย่างไรก็ตามการกำจัดสารยับยั้งด้วยจุลินทรีย์ใช้เวลานานและมีการสูญเสียน้ำตาลจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ในการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซท [39] นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเอนไซม์ที่นิยมใช้ คือ แลคเคสและเปอร์ออกไซด์จากราฟัสสีขาวย ตัวอย่างราในกลุ่มนี้ได้แก่ *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Cyathus bulleri*, *Cyathus stercoreus* และ *Pycnoporous cinnabarinus* [39] โดยกระบวนการกำจัดสารยับยั้งด้วยเอนไซม์นี้จะเกี่ยวข้องกับหลายกลไก เช่น การเปิดวงของสารประกอบอะโรมาติกโดยการเติมออกซิเจน (oxidative fission) หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่หมู่อัลฟาไฮดรอกซิล การเติมน้ำที่อัลฟาคาร์บอนิล และการสลายพันธะแอริลอีเธอร์ เป็นต้น [40]

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธีใดในการกำจัดสารยับยั้งควรคำนึงถึงองค์ประกอบของสารยับยั้งที่มีอยู่ในไฮโดรไลเซทดังแสดงในตารางที่ 2 และเมื่อนำวิธีดังกล่าวไปใช้กำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทของวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสต่างๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะสามารถกำจัดสารยับยั้งได้ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 2** สารยับยั้งที่กำจัดในแต่ละวิธี

วิธีการกำจัดสารยับยั้ง	สารยับยั้ง
การระเหยและการกรองผ่านเมมเบรน	สารที่ระเหยได้ เช่น กรดแอสिटิก สารประกอบเพอร์ฟูรล วานิลลิน เป็นต้น
การทำให้เป็นกลาง	สารประกอบเพอร์ฟูรลและไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรล
การปรับค่า pH	กรดซัลฟูริก สารประกอบเพอร์ฟูรล และไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรล สารประกอบฟีนอลิก
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	สารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ สารประกอบเพอร์ฟูรล และสารประกอบฟีนอลิก
การใช้เอนไซม์	สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบเพอร์ฟูรล และไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรล

ตารางที่ 3 สภาวะที่ใช้และปริมาณสารยับยั้งที่กำจัดได้ในแต่ละวิธี

วิธีการกำจัดสารยับยั้ง	วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส	สภาวะการกำจัดสารยับยั้ง	สารยับยั้งและปริมาณที่กำจัด	เอกสารอ้างอิง
ทางกายภาพ				
การกรองผ่านเมมเบรน	ต้นซูการ์เมเปิ้ล	เมมเบรนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตัดการกรอง 130 และ 200 ดาลตัน	สารประกอบเพอร์ฟูรลได้เกือบทั้งหมด สารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลและกรดแอสिटิกได้มากกว่าร้อยละ 90.0	[41]
การระเหยด้วยสูญญากาศ	ต้นสปรูซ	ระเหยไฮโดรไลเซทให้มีปริมาตรเหลือร้อยละ 10 ของปริมาตรเริ่มต้น	กรดแอสिटิกร้อยละ 65 กรดฟอร์มิกร้อยละ 74 สารประกอบเพอร์ฟูรลได้ทั้งหมดสารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลร้อยละ 4	[42]
ทางเคมี				
การทำให้เป็นกลาง	กากใบของต้นเลา	สารเคมี: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล	สารประกอบเพอร์ฟูรลร้อยละ 40.0 สารประกอบฟีนอลิกร้อยละ 30.0	[43]
การปรับค่า pH	ต้นพอลาร์เกิน	สารเคมี: แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความเป็นกรด-ด่าง: 10 อุณหภูมิ: 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา: 2 ชั่วโมง	กรดฟอร์มิกร้อยละ 8.0 กรดเลวูลินิกร้อยละ 5.0 สารประกอบเพอร์ฟูรลร้อยละ 75.6 สารประกอบฟีนอลิก เช่น วานิลลินและไซริงกัลดีไฮด์ประมาณร้อยละ 30-40 กรดเพอรูลิกร้อยละ 60.0	[44]
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	กากกาแฟ	อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์กับปริมาตรไฮโดรไลเซท: 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร อุณหภูมิในการดูดซับ: 60 องศาเซลเซียสเวลาในการดูดซับ: 1 ชั่วโมง	สารประกอบฟีนอลิกได้ร้อยละ 55.0 กรดเลวูลินิกได้ร้อยละ 60.3 สารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลได้ร้อยละ 52.6	[45]
	ต้นสปรูซ	ปริมาณถ่านกัมมันต์ 2 กรัมต่อไฮโดรไลเซท 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิในการดูดซับ: อุณหภูมิห้อง เวลาในการดูดซับ: 5 นาที	สารประกอบเพอร์ฟูรลและไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรลร้อยละ 94.0 กรดแอสिटิกร้อยละ 28.0 กรดฟอร์มิกร้อยละ 39.0 สารประกอบฟีนอลิกร้อยละ 88.8	[46]



ตารางที่ 3 (ต่อ)

วิธีการกำจัดสารยับยั้ง	วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส	สภาวะการกำจัดสารยับยั้ง	สารยับยั้งและปริมาณที่กำจัด	เอกสารอ้างอิง
ทางชีวภาพ				
เอนไซม์	ฟางข้าวสาลี	เอนไซม์แลคเคส 2 ชนิดจาก <i>Pycnoporus cinnabarinus</i> และ <i>Trametes villosa</i> บัพเฟอร์: สารละลายซีเตรทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ความเป็นกรด-ด่าง: 5 ปริมาณเอนไซม์: 10 ไอ.ยู. ต่อกรัม อุณหภูมิ: 30 องศาเซลเซียส (<i>T. villosa</i> laccasse) และ 50 องศาเซลเซียส (<i>P. cinnabarinus</i> laccasse) ความเร็วในการเขย่า: 150 รอบต่อนาที เวลาในการทำปฏิกิริยา: 3 ชั่วโมง	เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ไซริงกัลดีไฮด์ กรดพาราความาริก และกรดเพอรูริก ได้ทั้งหมด นอกจากนี้ <i>P. cinnabarinus</i> lacasse สามารถกำจัดกรดฟอร์มิกได้อีกด้วย	[47]

จากตารางที่ 3 พบว่า สารยับยั้งแต่ละชนิดสามารถใช้วิธีการกำจัดได้หลายวิธี และบางวิธีให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูง เช่น การกำจัดสารประกอบเพอร์ฟูรัล ไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรัล และกรดอะซิติกในไฮโดรไลเซชันด้วยเอนไซม์ หรือการกำจัดสารประกอบเพอร์ฟูรัล ไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟูรัล และฟีนอลิกในไฮโดรไลเซชันสปรูซด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

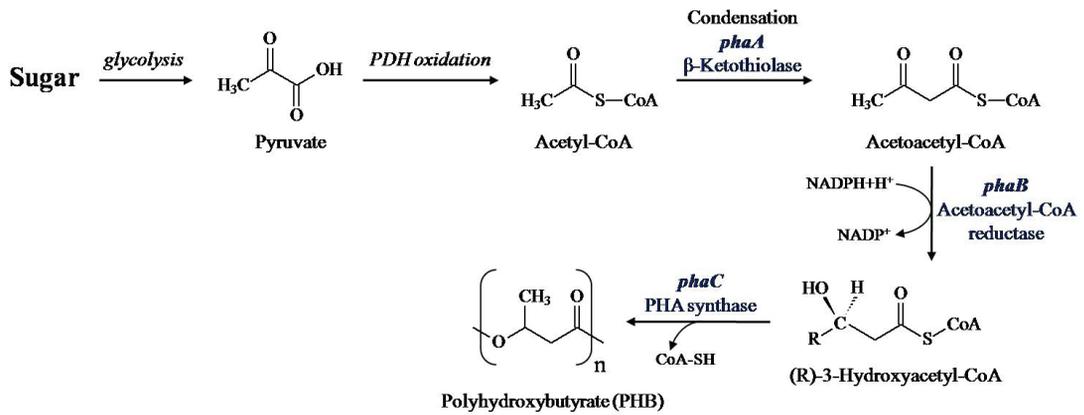
รหัสโดยยีน *phaA* จากนั้น acetoacetyl-CoA ถูกรีดิวซ์โดยเอนไซม์ acetoacetyl-CoA (*phaB*) เกิดเป็น (R)-3-hydroxyacyl-CoA มอนอเมอร์ และสุดท้าย (R)-3-hydroxyacyl-CoA มอนอเมอร์ทำปฏิกิริยากันผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) โดยมีเอนไซม์ PHA synthase (*phaC*) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็น PHAs [48] ดังภาพที่ 3

วิถีเมแทบอลิซึมในการสังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตโดยแบคทีเรีย (Metabolic pathway for PHAs synthesis by bacteria)

PHAs จะถูกผลิตและสะสมอยู่ในเซลล์ของแบคทีเรียโดยมีเอนไซม์และยีนที่เกี่ยวข้อง 3 ชนิด คือ เอนไซม์ β -ketothiolase เอนไซม์ acetoacetyl-CoA เอนไซม์ PHA synthase และยีนสำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ *phaA*, *phaB* และ *phaC* เมื่อใช้น้ำตาลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ ในขั้นตอนแรกน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวตโดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส จากนั้น ไพรูเวตจะทำปฏิกิริยากับ coenzyme A เกิดเป็น acetyl-Co A จำนวน 2 โมเลกุลโดยมีเอนไซม์ pyruvate dehydrogenase (PDH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่ง acetyl-Co A จำนวน 2 โมเลกุลนี้จะรวมตัวกันเกิดเป็น acetoacetyl-CoA โดยเอนไซม์ β -ketothiolase ซึ่งถูกแปล

การใช้วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต

มีวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสประเภทต่างๆ ได้นำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์ PHAs โดยแบคทีเรียดังแสดงในตารางที่ 4 จากตาราง พบว่าไฮโดรไลเซชันที่ได้จากการปรับสภาพและย่อยสลายด้วยวิธีต่างๆ โดยไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต PHAs ได้ โดย PHAs ที่ผลิตได้จะเป็นชนิด scl-PHAs ทั้งไฮโม (PHB) และโคพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHBV) แต่ปริมาณ PHAs ที่ผลิตได้ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้หากใช้แบคทีเรียมากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ เช่น การใช้ co-culture หรือ activated sludge จะทำให้ปริมาณ PHAs เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์สามารถนำน้ำตาลไปใช้และผลิต PHAs ได้แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 วิถีเมแทบอลิซึมในการสังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (ดัดแปลงจาก [48])

ตารางที่ 4 การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโนเชลลูโลสประเภทต่างๆ สำหรับผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต ประเภทและปริมาณพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตที่ผลิตได้

วัสดุเหลือทิ้งจาก โนเชลลูโลส	การปรับสภาพ	การย่อย สลาย	การกำจัด สารยับยั้ง	ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	เชื้อแบคทีเรีย	ประเภท ของ PHAs	ปริมาณ PHAs (กรัมต่อ ลิตร)	ร้อยละการ สะสมของ PHAs (ร้อยละ โดยน้ำหนัก เซลล์แห้ง)
ชานอ้อย [49]	กรด ซัลฟิวริก	-	-	-	<i>Ralstonia eutropha</i> ATCC 17699 ร่วมกับ <i>Lysinibacillus</i> sp. RGS	PHA	6.38	70.00
ฟางข้าว [50]	แอมโมเนีย	เอนไซม์	-	-	<i>Bacillus cereus</i> VK 92 <i>Bacillus cereus</i> VK 98	PHA	2.96 2.51	59.30 46.40
ซังข้าวโพด [32]	โซเดียมไฮดร ออกไซด์	เอนไซม์	-	-	<i>Cupriavidus necator</i> DSM 545	PHB	2.10	-
ทะลามาปาล์ม เปล่า [51]	กรด ซัลฟิวริก	-	-	35.20	<i>Bacillus cereus suaeda</i> B-001	PHB	3.29	55.44
ซังข้าวโพด [52]	กรด ซัลฟิวริก	-	-	35.84	<i>Bacillus megatherium</i> BM 37	PHB	0.96	36.16



ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส	การปรับสภาพ	การย่อยสลาย	การกำจัดสารยับยั้ง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	เชื้อแบคทีเรีย	ประเภทของ PHAs	ปริมาณ PHAs (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละการสะสมของ PHAs (ร้อยละโดยน้ำหนักเซลล์แห้ง)
หญ้าสัตว์ชักราส [53]	โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับคลีนวิทย์	เอนไซม์	-	21.30	recombinant <i>Escherichia coli</i>	PHB	4.50	50.10
เส้นใยอะกาเว [54]	กรดซัลฟิวริก	-	ถ่านกัมมันต์	20.60	<i>Burkholderia sacchari</i>	PHB	2.67	24.20
ใบอะกาเว [55]	คลื่นเสียงความถี่สูง	เอนไซม์	-	-	<i>Bacillus cereus</i> 4N	PHB	0.32	16.79
ลำต้นต้นปอแก้ว [56]	โซเดียมคาร์โบเนตและโซเดียมซัลไฟต์	เอนไซม์	-	-	<i>Ralstonia eutropha</i>	PHB	10.10	70.00
ฟางข้าวฟ่างสามง่าม [57]	คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์	เอนไซม์	-	-	<i>Bacillus megaterium</i> strain CAM12	PHB	8.31	51.20
ฟางข้าวสาลี [58]	กรดแอสซิดิกและระเบิดด้วยไอน้ำ	เอนไซม์	-	28.58	<i>Ralstonia eutropha</i> DSM 545	PHB	4.72	61.80
ต้นพอลาร์ [59]	น้ำร้อน	เอนไซม์	-	-	Activated sludge	PHBV	6.37	-
ชานอ้อย [60]	กรดซัลฟิวริก	-	-	12.64	<i>Halogeometricum borinquense</i> strain E3	PHBV	1.60	50.40
ข้าวบาร์เลย์หมักมีสแคนทัสต้นโพ [61]	กรดซัลฟิวริก	-	-	148.96 122.35 138.64	<i>Ralstonia eutropha</i> 5119	PHBV	1.80 2.00 1.70	54.00 44.00 63.00

บทสรุป

แหล่งคาร์บอนนับได้ว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต PHAs การมองหาแหล่งคาร์บอนที่มีราคาถูก มีปริมาณมาก และสามารถทดแทนใหม่ได้จึงเป็นทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสจึงเป็นแหล่งคาร์บอนที่น่าสนใจในการนำมาใช้ผลิต PHAs เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีปริมาณมาก และราคาถูก อย่างไรก็ตามการนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับสังเคราะห์ PHAs นั้นยังมีข้อจำกัดอยู่ คือ จำเป็นต้องมีกระบวนการในการเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การปรับสภาพ การย่อยสลาย วัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส และการกำจัดสารยับยั้ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนนั้นจะมีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากน้อยแตกต่างกันอยู่กับวิธีที่ใช้ ทั้งนี้หากพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิต PHAs นั้นนับว่าน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตพลาสติกสังเคราะห์และปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสแล้วยังเป็นการลดของเสียหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ และได้ผลผลิตพลาสติกชีวภาพซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อีกทั้ง PHAs ที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทั้งในด้านการแพทย์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่างๆ และด้านการเกษตรอีกด้วย

ดังนั้นเพื่อให้การผลิต PHAs จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมีศักยภาพสูง สามารถแข่งขันกับพลาสติกสังเคราะห์ได้และเป็นการผลิตที่ยั่งยืนในอนาคต จึงควรใช้วิธีการในกระบวนการปรับสภาพ การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส และการกำจัดสารยับยั้งที่ให้ประสิทธิภาพสูง มีค่าใช้จ่าย และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

เท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งนี้การผลิต PHAs จากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสจะสามารถพัฒนาและนำไปสู่การผลิตอย่างยั่งยืนในอนาคตได้นั้น จะต้องได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมจากภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษาในองค์ความรู้และเทคโนโลยีเรื่องของการจัดการของเสียหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ โดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์และก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นตลอดจนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. Khatami K, Perez-Zabaleta M, Owusu-Agyeman I, Cetecioglu Z. Waste to bioplastics: How close are we to sustainable polyhydroxyalkanoates production?. *Waste Manage* 2021;119:374-88.
2. Reddy CSK, Ghai R, Rashmi, Kalia VC. Polyhydroxyalkanoates: An overview. *Bioresour Technol* 2003;87(2):137-46.
3. Sangkharak K. The production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from renewable feedstock derived from various wastes. *tsuj* 2011;14(1):97-110.
4. Mozejko-Ciesielska J, Marciniak P, Szacherska K. Polyhydroxyalkanoates synthesized by *Aeromonas* species: Trends and challenges. *Polymers (Basel)* 2019;11(8):1328.
5. Vu DH, Akesson D, Taherzadeh MJ, Ferreira JA. Recycling strategies for polyhydroxyalkanoate-based waste materials: An overview. *Bioresour Technol* 2020;298:122393.
6. Raza ZA, Abid S, Banat IM. Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. *Int Biodeterior Biodegradation* 2018;126:45-56.



7. Tepha.com Lexington: Tepha Inc. [อินเทอร์เน็ต]. 2018 [เข้าถึงเมื่อ 27 ม.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tepha.com/>
8. Adeleye AT, Odoh CK, Enudi OC, Banjoko OO, Osiboye OO, Odediran ET, et al. Sustainable synthesis and applications of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from biomass. *Process Biochem* 2020;96:174-93.
9. Amelia, T. S. M., Govindasamy, S., Muthaliar, A., Sevakumaran, V., & Bhubalan, K. Applications of PHA in Agriculture. *Biotechnological applications of polyhydroxyalkanoates* [อินเทอร์เน็ต]. 2019 [เข้าถึงเมื่อ 27 ม.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: https://www.academia.edu/41948172/Applications_of_Polyhydroxyalkanoate_in_Agriculture
10. Novelli LDD, Sayavedra SM, Rene ER. Polyhydroxyalkanoate (PHA) production via resource recovery from industrial waste streams: a review of techniques and perspectives. *Bioresour Technol* 2021;331:124985.
11. Crutchik D, Franchi O, Canminos L, Jeison D, Belmonte M, Pedrouso A, et al. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) production: A feasible economic option for the treatment of sewage sludge in municipal wastewater treatment plants?. *Water* 2020;12:2-12.
12. Isikgor FH, Becer CR. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polym Chem* 2015;6:4497-559.
13. Liu WJ, Yu HQ. Thermochemical conversion of lignocellulosic biomass into mass-producible fuels: emerging technology progress and environmental sustainability evaluation. *ACS Environ Au* 2022;2:98-114.
14. Fatma S, Hameed A, Noman M, Ahmed T, Shahid M, Tariq M, et al. Lignocellulosis biomass: a sustainable bioenergy source for the future. *Protein Pept Lett* 2018;25(2):148-63.
15. Baruah J, Nath BK, Sharma R, Kumar S, Deka RC, Baruah DC, et al. Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Front Energy Res* 2018;6(8):1-19.
16. Prasad A, Sotenko M, Blenkinsopp T, Coles SR. Life cycle assessment of lignocellulosic biomass pretreatment methods in biofuel production. *Int J Life Cycle Assess* 2016;21:44-50.
17. Rao LV, Goli JK, Gentela J, Koti S. Bioconversion of lignocellulose biomass to xylitol: an overview. *Bioresour Technol* 2016;213:299-310.
18. Kumar A, Anushree, Kumar J, Bhaskar T. Utilization of lignin: A sustainable and eco-friendly approach. *J Energy Inst* 2020;93(1):235-71.
19. Sukruansuwan V, Napathorn SC. Use of agro-industrial residue from the canned pineapple industry for polyhydroxybutyrate production by *Cupriavidus necator* strain A-04. *Biotechnol Biofuels* 2018;11(202):1-15.
20. Khattab MM, Dahman Y. Production and recovery of poly-3-hydroxybutyrate bioplastics using agro-industrial residues of hemp hurd biomass. *Bioprocess Biosyst Eng* 2019;42:1115-27.
21. Meneses DB, Montes de Oca-Vasquez G, Vega-Baudrit J, Rojas-Alvarez M, Corrales-Castillo J, Murillo-Araya LC. Pretreatment methods of lignocellulosic wastes into value-added



- products: Recent advances and possibilities. *Biomass Convers Biorefin* 2020;2:547-64.
22. Maurya DP, Singla A, Negi S. An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. *3 Biotech* 2015;(5):597-609.
23. Norrrahim MNF, Ilyas RA, Nurazzi NM, Rani MSA, Atikah MSN, Shazleen SS. Chemical pretreatment of lignocellulosic biomass for the production of bioproducts: An overview. *Appl Sci Eng Prog* 2021;14(4):588-605.
24. Kumar P, Barrett DM, Delwiche MJ, Stroeve P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Ind Eng Chem Res* 2009;48:3713-29.
25. Abdul PM, Jahim JM, Harun S, Markom M, Lutpi NA, Hassan O, et al. Effects of changes in chemical and structural characteristic of ammonia fibre expansion (AFEX) pretreated oil palm empty fruit bunch fibre on enzymatic saccharification and fermentability for biohydrogen. *Bioresour Technol* 2016;211:200-8.
26. Ul Haq I, Qaisar K, Nawaz A, Akram F, Mukhtar H, Zohu X, et al. Advances in valorization of lignocellulosic biomass towards energy generation. *Catalysts* 2021;11(3):309.
27. Verardi A, de Bari I, Ricca E, Calabro V. Hydrolysis of lignocellulosic biomass: Current status of processes and technologies and future perspectives. *Bioethanol* [อินเทอร์เน็ต]. 2012 [เข้าถึงเมื่อ 13 พ.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.intechopen.com/chapters/27352>
28. Lelekakis N, Wijaya J, Martin D, Susa D. The effect of acid accumulation in power-transformer oil on the aging rate of paper insulation. *IEEE Electr Insul Mag* 2014;30(3):19-26.
29. Sasml S, Mohanty K. Pretreatment of lignocellulosic biomass toward biofuel production. In: Kumar S, Sani RK, editors. *Biorefining of biomass to biofuels* [อินเทอร์เน็ต]. 2018 [เข้าถึงเมื่อ 13 พ.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://www.researchgate.net/publication/320910499_Pretreatment_of_Lignocellulosic_Biomass_Toward_Biofuel_Production
30. วัฒนา อัจฉริยะโพธา, ดวงเดือน วัฏฏานุรักษ์, พิมนารา นิลฤทธิ์. การศึกษาแอกติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสจากเห็ดราทำลายไม้ในการผลิตแอลกอฮอล์จากผักตบชวา ด้วยวิธีการย่อยสลายให้เกิดเป็นน้ำตาลแบบต่อเนื่องกับการหมัก. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์* 2561;13(3):23-32.
31. Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresour Technol* 2002;83(1):1-11.
32. Li M, Eskridge K, Liu E, Wilkins M. Enhancement of polyhydroxyalkanoate (PHB) production by 10-fold from alkaline pretreatment liquor with an oxidative enzyme-mediator-surfactant system under Plackett-Burman and central composite designs. *Bioresour Technol* 2019;281:99-106.
33. Obruca S, Benesova P, Marsalek L, Marova I. Use of lignocellulosic materials for PHA production. *Chem Biochem Eng Q* 2015;29(2):133-44.
34. Bhatia SK, Jagtap SS, Bedekar AA, Bhatia RK, Patel AK, Pant D, et al. Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: effect of key parameters, technological improvements, and challenges. *Bioresour Technol* 2020;300:1-13.



35. Cardona CA, Quintero JA, Paz IC. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: status and perspectives. *Bioresour Technol* 2010;101:4754-66.
36. Chandel AK, da Silva SS, Singh OV. Detoxification of lignocellulosic hydrolysates for improved bioethanol production. *Biofuel production-recent developments and prospects* [อินเทอร์เน็ต]. 2011 [เข้าถึงเมื่อ 17 พ.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.intechopen.com/chapters/20063>
37. Kim D. Physico-chemical conversion of lignocellulose: Inhibitor effects and detoxification strategies: A mini review. *Molecules* 2018;23(2):309.
38. Tatyana M, Sergey S. Biological detoxification of lignocellulosic hydrolysates for improved biobutanol production. *Key Eng Mater* 2016;683:525-30.
39. Chandel AK, da Silva SS, Singh OV. Detoxification of lignocellulose hydrolysates: Biochemical and metabolic engineering toward white biotechnology. *Bioenergy Res* 2013;6(1):388-401.
40. อนุกุล เกียรติชัยบุญบุตร. การกำจัดสีและการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยราไვท์รอกที่ตรึงบนวัสดุเศษเหลือน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา; 2556.
41. Pan W, Perrotta JA, Stipanovic AJ, Nomura CT, Nakas JP. Production of polyhydroxyalkanoates by *Burkholderia cepacia* ATCC 17759 using a detoxified sugar maple hemicellulosic hydrolysate. *J Ind Microbiol Biotechnol* 2012;39:459-69.
42. Larsson S, Reimann A, Nilvebrant NO, Jonsson LJ. Comparison of different methods for the detoxification of lignocellulose hydrolysates of spruce. *Appl Biochem Biotechnol* 1999;77:91-103.
43. Lanka S, Adivikatla VR, Shaik N, Kothagauni SY, Panda SH, Yenumula GP, et al. Studies on different detoxification method for the acid hydrolysate of lignocellulosic substrate *Saccharum spontaneum*. *Dyn Biochem Process Biotechnol Mol Biol* 2011;5(2):53-7.
44. Zhang Y, Xia C, Lu M, Tu M. Effect of overliming and activated carbon detoxification on inhibitors removal and butanol fermentation of poplar prehydrolysates. *Biotechnol Biofuels* 2018;11:178.
45. Obruca S, Benesova P, Petrik S, Oborna J, Prikryl R, Marva I. Production of polyhydroxyalkanoates using hydrolysate of spent coffee grounds. *Process Biochem* 2014;49(9):1409-14.
46. Guo X, Cavka A, Jonsson L, Hong F. Comparison of method for detoxification of spruce hydrolysate for bacterial cellulose production. *Microb Cell Fact* 2013;12(93):1-14.
47. Moreno AD, Ibarra D, Fernandez JL, Ballesteros M. Different laccase detoxification strategies for ethanol production from lignocellulosic biomass by the thermotolerant yeast *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Bioresour Technol* 2012;106:101-9.
48. Gumel AM, Annuar MSM, Chisti Y. Recent advances in the production, recovery and applications of polyhydroxyalkanoates. *J Polym Environ* 2013;21(2):580-605.
49. Saratale RG, Cho SK, Kadam AA, Ghodake GS, Kumar M, Bharagava RN, et al. Developing



- microbial co-culture system for enhanced polyhydroxyalkanoates (PHA) production using acid pretreated lignocellulosic biomass. *Polymers (Basel)* 2022;14(4):726.
50. Thuoc DV, Chung NT, Hatti-Kaul R. Polyhydroxyalkanoate production from rice straw hydrolysate obtained by alkaline pretreatment and enzymatic hydrolysis using *Bacillus* strains isolated from decomposing straw. *Bioresour Bioprocess* 2021;8(98):1-11.
51. Yustinah, Hidayat N, Alamsyah R, Roslan AM, Hermansyah H, Gozan M. Production of polyhydroxybutyrate from oil palm fruit bunch (OPEFB) hydrolysates by *Bacillus cereus* *suaeda* B-001. *Biocatal Agric Biotechnol* 2019;18(2):101019.
52. Stoica I, Petrovici AR, Silion M, Varganici CD, Dinica R, Bahrim G. Corn cob hydrolyzates used for microbial biosynthesis of polyhydroxybutyrate. *Cellulose Chem Technol* 2018;52(1-2):65-74.
53. Wang X, Zhang ZT, Wang Y, Wang Y. Production of polyhydroxybutyrate (PHB) from switchgrass pretreated with a radio frequency-assisted heating process. *Biomass Bioenergy* 2016;94:220-7.
54. Gonzalez-Garcia Y, Grieve J, Meza-Contreras JC, Clifton-Garcia B, Silva-Guzman JA. Tequila agave bagasse hydrolysate for the production of polyhydroxybutyrate by *Burkholderia sacchari*. *Bioengineering (Basel)* 2019;6(4):115.
55. Martinez-Herrera RE, Aleman-Huerta ME, Flores-Rodriguez P, Almaguer-Cantu V, Valencia-Vazquez R, Rosas-Flores W, et al. Utilization of *Agava durangensis* leaves by *Bacillus cereus* 4N for polyhydroxybutyrate (PHB) biosynthesis. *Int J Biol Macromol* 2021;175:199-208.
56. Saratale RG, Saratale GD, Cho SK, Kim DS, Ghodake GS, Kadam A, et al. Pretreatment of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) biomass feedstock for polyhydroxybutyrate (PHB) production and characterization. *Bioresour Technol* 2019;282:75-80.
57. Silambarasan S, Logeswari P, Sivaramakrishnan R, Pugazhendhi A, Kamaraj B, Ruiz A, et al. Polyhydroxybutyrate production from ultrasound-aided alkaline pretreated finger millet straw using *Bacillus megaterium* strain CAM12. *Bioresour Technol* 2021;325:124632.
58. Soto LR, Byrne E, van Niel EWJ, Sayed M, Villanue CC, Hatti-Kaul R. Hydrogen and polyhydroxybutyrate production from wheat straw hydrolysate using *Caldicellulosiruptor* species and *Ralstonia eutropha* in a coupled process. *Bioresour Technol* 2019;272:259-66.
59. Yin F, Li D, Ma X, Zhang C. Pretreatment of lignocellulosic feedstock to produce fermentable sugars for poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) production using activated sludge. *Bioresour Technol* 2019;290:121773.
60. Salgaonkar BB, Braganca JM. Utilization of sugarcane bagasse by *Halogeometricum borinquense* strain E3 for biosynthesis of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). *Bioengineering (Basel)* 2017;4(2):50.
61. Bhatia SK, Gurav R, Choi TR, Jung HR, Yang SY, Moon YM, et al. Bioconversion of plant hydrolysate into bioplastic (polyhydroxyalkanoates) using *Ralstonia eutropha* 5119. *Bioresour Technol* 2019;271:306-15.



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 เดือนมกราคม-เดือนมิถุนายน และฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคม ซึ่งจะรับพิจารณาตีพิมพ์ผลงานวิชาการทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความ

บทความที่ส่งมาพิจารณาควรมีคุณค่าทางวิชาการ โดยผู้เขียนเป็นผู้ทำการทดลอง สร้างสรรค์ หรือเกี่ยวข้องกับงานโดยปราศจากการคัดลอกผลงานวิจัยหรือบทความของผู้อื่น นำเสนอถึงแนวความคิดหรือหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี และนำไปสู่การพัฒนาหรือเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัย มีความสมบูรณ์ในเนื้อหา ภาษา ตลอดจนความชัดเจนของสมมติฐานหรือวัตถุประสงค์

บทความจะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขบทความ และอาจส่งกลับคืนให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่ แล้วแต่กรณี เพื่อปรับปรุงบทความให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นก่อนการตีพิมพ์ ทั้งนี้ต้นฉบับที่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ของการเขียนที่กำหนดเท่านั้นจึงจะได้รับการพิจารณา และดำเนินการประเมินบทความก่อนการตีพิมพ์

การยอมรับบทความที่จะตีพิมพ์เป็นสิทธิของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการไม่รับผิดชอบความถูกต้องของเนื้อหา หรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง

ข้อกำหนดทั่วไปของการพิมพ์บทความ

1. พิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Windows
2. พิมพ์บนกระดาษ A4 หน้าเดียว 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	การจัดหน้า กระดาษ
ชื่อเรื่อง (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	18	ตัวหนา	กึ่งกลาง
ชื่อผู้เขียน	16	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
ที่อยู่หรือหน่วยงานสังกัดของผู้เขียน	14	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
อีเมลติดต่อเฉพาะผู้เขียนประสานงาน (corresponding author)	14	ตัวปกติ	กึ่งกลาง
หัวข้อบทคัดย่อ (abstract)	16	ตัวหนา	กึ่งกลาง
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

1. **ชื่อเรื่อง** มีทั้งชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อความหมายตรงกับเรื่องที่ทำ สำหรับชื่อภาษาอังกฤษนั้น อักษรตัวแรกของภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่
2. **ชื่อผู้เขียนและสถานที่ทำงาน** ชื่อผู้เขียนใช้ชื่อ-นามสกุลเต็ม ไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ตำแหน่งทางวิชาการ และคุณวุฒิ โดยให้มีกรากำกับเลขยกกำลังต่อท้ายชื่อ สำหรับผู้เขียนประสานงาน (corresponding author) ให้ทำเครื่องหมายดอกจันหรือไว้ท้ายชื่อ พร้อมระบุหมายเลขโทรศัพท์และอีเมล สำหรับชื่อสถานที่ทำงานควรพิมพ์ให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ท้ายชื่อผู้เขียน กรณีมีผู้เขียน จำนวน 2 คน ให้ใช้ “และ/and” คั่น สำหรับผู้เขียนมากกว่า 2 คน ขึ้นไป กรณีภาษาไทยให้เว้นวรรค 2 ครั้งคั่น กรณีภาษาอังกฤษให้ใส่จุลภาค (,) คั่น และเว้นวรรค 1 ครั้ง ระหว่างแต่ละคน
3. **บทคัดย่อ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยนำเสนอสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมถึงวัตถุประสงค์ บทนำ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายและสรุปผลการวิจัย มีความยาวไม่เกิน 250 คำ กรณีบทความเป็นรูปแบบภาษาไทยให้จัดลำดับบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นต้น และกรณีบทความเป็นรูปแบบภาษาอังกฤษให้จัดลำดับบทคัดย่อภาษาอังกฤษขึ้นต้น
4. **คำสำคัญ** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอย่างละ 3-5 คำ ทั้งนี้ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ
5. **เนื้อหา** รายละเอียดของการเตรียมต้นฉบับบทความแต่ละประเภทมีดังนี้
 - 5.1 **บทความวิจัย (research article) ความยาวไม่เกิน 12 หน้า**
(รวมเอกสารอ้างอิง ตาราง รูปภาพ และแผนภูมิ)
- **บทนำ** นำเสนอความสำคัญหรือที่มาของปัญหาวิจัย สาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสำหรับวัตถุประสงค์ของการวิจัยให้นำเสนอไว้ตอนท้ายของบทนำ



- **วิธีดำเนินการวิจัย** นำเสนอรายละเอียดที่จำเป็นของการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล
- **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 บทความย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทนำ เนื้อหา บทสรุป และเอกสารอ้างอิง

6. รูปภาพและตาราง

รูปภาพ

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

ตาราง

ระบุลำดับที่ของตาราง โดยใช้คำว่า “ตารางที่.....” (Table.....) และคำบรรยายตารางอยู่ส่วนบนชิดขอบซ้ายของตาราง

การนำรูปภาพ แผนภูมิ หรือตารางมาอ้างอิงประกอบในบทความจะต้องมีการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของข้อมูลให้ถูกต้อง ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น

การเขียนเอกสารอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา

การอ้างอิงในเนื้อหาใช้ระบบ Vancouver style ให้อ้างเลขลำดับที่ที่กำกับชื่อผู้แต่ง โดยระบุเลขลำดับที่ไว้ในวงเล็บท้ายข้อความตามลำดับการอ้างอิงก่อน-หลัง เช่น จีราวรรณ และคณะ [1] พบว่า *Geobacillus stearothermophilus* PTL38 ผลิตเอนไซม์ไลเปสที่สามารถทำงานได้ดีที่ค่าพีเอชเท่ากับ 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. พันธุ์วิศวกรรมเบื้องต้น. 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. วราจกนา วิเศษมณี. กาญจนา หริ่มเพ็ง. ความเป็นพิษเฉียบพลันและการกลายพันธุ์จากสารมลพิษรวมในน้ำและตะกอนดิน กรณีศึกษาคลองชวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ. วารสาร มจร. 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: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา วันที่ เดือน ปี; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

1. วรณา ศักดิ์สงศ์, หิรัญญา จันทรเกลี้ยง, 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. การศึกษาแบบที่เรียผลิตเอนไซม์ไลเปสที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันและน้ำเสียประเภทไขมันสูง. 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.ใต้ตอนบน 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 ของเว็บไซต์ที่อ้างอิงข้อมูล

1. อีรเกียรติ 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/cgi-bin/article.cgi/bichaw/2001/40/05pdf/bi005123a.pdf>



การส่งบทความ

การส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร ให้ผู้เสนอจัดเตรียมต้นฉบับบทความและแบบเสนอบทความ โดยดำเนินการจัดส่งเอกสารดังกล่าวแบบออนไลน์ทางเว็บไซต์ของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ที่ <http://scijournal.hcu.ac.th/ojs> ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กำหนดไฟล์เอกสารที่ต้องส่งทั้งแบบ MS Document และ PDF ไฟล์ ประกอบด้วย

1. แบบเสนอบทความ
 2. ต้นฉบับบทความ
 3. ไฟล์ภาพประกอบบทความ
 4. เอกสารแสดงผลการตรวจการฉ้อโกง (Plagiarism checking report) เช่น ระบบตรวจสอบอักษรวิสุทธิ์ และ Turnitin
 5. เอกสารการขอจริยธรรมงานวิจัย (โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบในคนและสัตว์ทดลอง)
- ทั้งนี้หากพบปัญหาในการส่งเอกสารแบบออนไลน์ โปรดติดต่อสอบถามมายังกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ดังรายละเอียดด้านล่างนี้

การติดต่อสอบถามข้อมูล

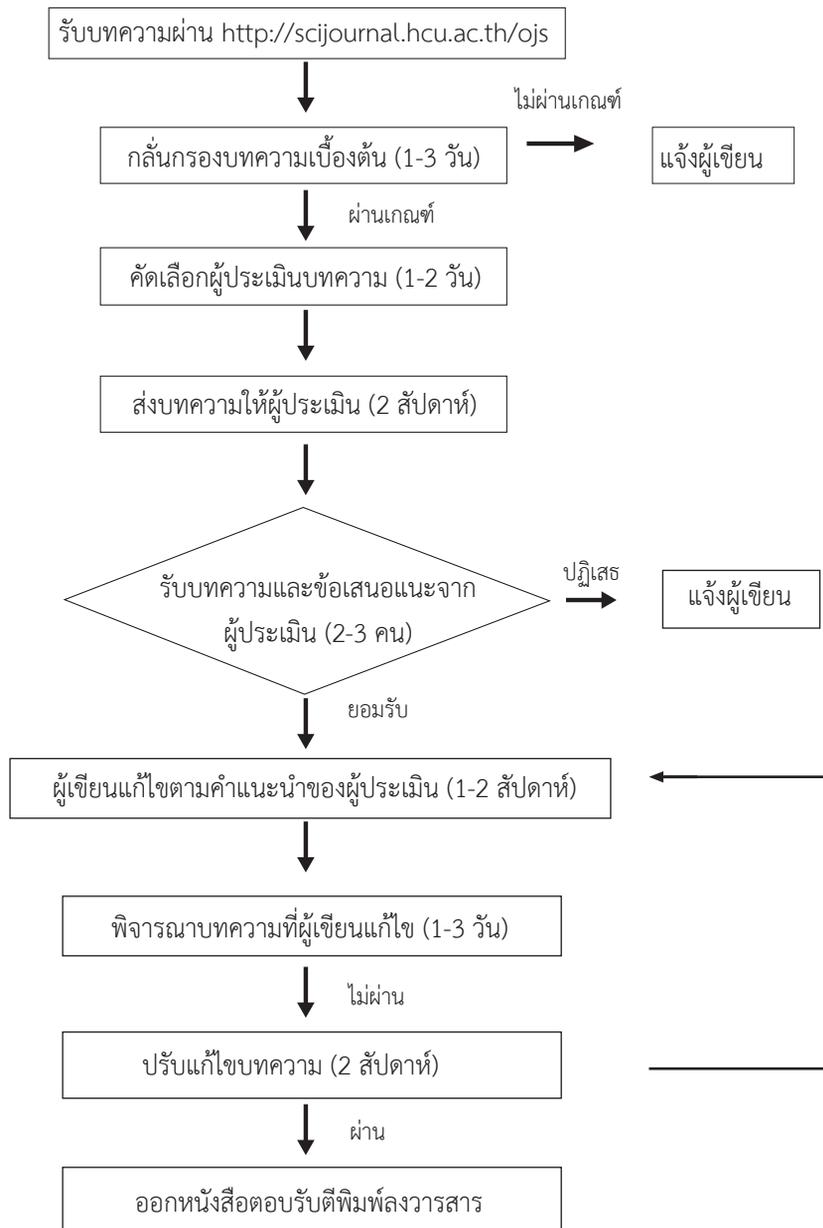
สามารถติดต่อสอบถามข้อมูลได้ที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ เลขที่ 18/18 ถนนเทพรัตน กม.18 ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540 โทรศัพท์ 02-312-6300 และ 02-713-8100 ต่อ 1180, 1256 โทรศัพท์มือถือ 086-374-2561 อีเมล hcujournal.sci@gmail.com



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



ขั้นตอนการส่งบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวใจเฉลิมพระเกียรติ





เรียนรู้เพื่อรับใช้สังคม

แบบเสนอบทความเพื่อพิจารณาพิมพ์ใน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

(Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal)



วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

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

- ขอส่ง บทความวิจัย บทความวิชาการ
- สาขา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
- วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- วิทยาศาสตร์กายภาพ

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย).....

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

คำสำคัญ (ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

ผู้เขียนทั้งหมด (ภาษาไทย).....

ผู้เขียนทั้งหมด (ภาษาอังกฤษ).....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ..... โทรสาร.....

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

- ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว
- เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามที่ระบุในบทความ

โดยบทความนี้ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์และไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับหลักเกณฑ์การพิจารณาดังฉบับ ทั้งยินยอมให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์พิจารณาและตรวจแก้ไขต้นฉบับได้ตามที่เห็นสมควร พร้อมทั้งมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ให้แก่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ และหากมีการฟ้องร้องในเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์เกี่ยวกับส่วนหนึ่งหรือส่วนใด ๆ ในบทความ ให้ถือเป็นความรับผิดชอบของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมแต่เพียงฝ่ายเดียว

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

มุ่งเน้นผลิตบัณฑิตที่มีความรู้และทักษะปฏิบัติในการพัฒนาซอฟต์แวร์และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการคอมพิวเตอร์

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





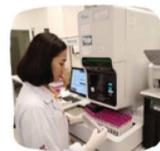
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ หลักสูตรที่เปิดสอน

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์

มุ่งเน้นการผสมผสานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์กับศาสตร์ด้านเทคโนโลยี
ที่ทันสมัย

โอกาสในการประกอบอาชีพ

1. นักวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ปฏิบัติการ นักวิชาการ และ ผู้ช่วยวิจัย ในหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กรมควบคุมโรค สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีด้านการแพทย์และสาธารณสุข สถาบันพยาธิวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ และโรงพยาบาล เป็นต้น
2. ผู้ประกอบการด้านธุรกิจผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ การนำเข้าและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ยา สารเคมี ชุดตรวจ เครื่องมือ อุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมทั้งผู้ประกอบการด้านการให้บริการทางสุขภาพ
3. ผู้บริหาร/พนักงานหน่วยงานภาคเอกชนด้านธุรกิจการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการบริการตรวจวิเคราะห์ สารเคมี ยา เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้านการแพทย์



MEDICAL SCIENCE 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)

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

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

โทรศัพท์ 02-312-6300 และ 02-713-8100 ต่อ 1180

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



Contact

Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University
18/18 Debaratana Road k.m. 18 Samutprakarn 10540 Thailand

Tel : +662-312-6300, 02-713-8100 ext. 1180

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