



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

Bulletin of the Academy of Science
The Royal Society of Thailand

ปีที่ ๔ ฉบับที่ ๔
(ตุลาคม-ธันวาคม ๒๕๖๘)

ISSN 2774-1338 (Online)



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

Bulletin of the Academy of Science
The Royal Society of Thailand

ปีที่ ๔ ฉบับที่ ๔
(ตุลาคม-ธันวาคม ๒๕๖๘)

ISSN 2774-1338 (Online)

ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.มงคล เดชนครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สวีสต์ ตันตระกูลรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร
ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.สุดา เกียรติกิจารวงศ์
ศาสตราจารย์ นพ.ยง ภู่วรวรรณ
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สายชล เกตุษา

ศาสตราจารย์ ดร. ภก.ชยันต์ พิเชียรสุนทร
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สาวิตรี ลิ้มทอง

ผู้อำนวยการกองวิทยาศาสตร์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาเทคโนโลยี
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
และสัตวแพทยศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
ประธานสำนักวิทยาศาสตร์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการประจำฉบับ

ดร.วียงค์ กังวานสุขมงคล

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาเทคโนโลยี

ศาสตราจารย์ ดร.อลิศรา เรืองแสง

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
และสัตวแพทยศาสตร์

ศาสตราจารย์ นพ.ก้องเกียรติ ภูณัทกันทรากร

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. ทพญ.วรานันท์ บัวจิบ

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ภก.สมพล ประครองพันธ์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ศาสตราจารย์ ดร. นพ.นรุตถพล เจริญพันธุ์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ศาสตราจารย์ ดร. ภก.พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.มะลิ ทุ่งสม

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สุภา ทารหนองบัว

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
และสัตวแพทยศาสตร์

นางสาวยลดา ไยประยูร

นักวรรณศิลป์ชำนาญการ กองวิทยาศาสตร์

นางสาวมณฑิรา เกษมสุข

นักวรรณศิลป์ชำนาญการ กองวิทยาศาสตร์

สารบัญ

บรรณาธิการประจำฉบับแถลง	ก
วียงค์ กังวานสุขุมงคล และ อลิศรา เรืองแสง	
มื้ออาหารคาร์บอนเป็นกลาง : อีกย่างก้าวสู่การบริโภคที่ยั่งยืน	๑
(Carbon-neutral meals: A step toward sustainable consumption)	
สั๊กกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
เชื้อเพลิงจากของเสีย : พลังงานสะอาดขับเคลื่อนการเดินทางในอนาคต	๗
(Waste-to-fuel: Clean energy driving future transportation)	
ณปภัช สิทธิกิจปัญญา และ อลิศรา เรืองแสง	
เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน	๑๓
(Hydrogen fuel production technologies)	
นวดล เหล่าศิริพจน์ และ วีระวัฒน์ แซ่มปรีดา	
การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมและต้นทุนของแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลที่	๑๙
ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ซีเมนต์ไฮดรอลิก ปูนขาว	
แก้าลอย และแอสฟัลต์อิมัลชัน เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง	
(A comparative study of engineering properties and costs of recycled asphalt	
concrete improved with type I Portland cement, hydraulic cement, lime, fly ash,	
and asphalt emulsion for use as base course material)	
สุขสันต์ หอพิบูลสุข, กิตติยา แผนจะบก, อภิชาติ สุดดีพงษ์, นันทิพัฒน์ พงษ์ศรี	
และ คงศักดิ์ อัครวงศ์วัฒนา	
การผลิตกัญชาอินทรีย์เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์ในระดับอุตสาหกรรม	๒๕
(Industrial-scale organic cannabis production for medical purposes)	
อานัฐ ต้นโซ	
ฉลากนาโน	๓๑
(Nano label)	
จิตาภา สำราญจิตต์ และ วียงค์ กังวานสุขุมงคล	
เห็บ	๓๗
(Tick)	
ธีรภาพ เจริญวิริยะภาพ, มานพ แซ่อึ้ง และ สนธยา เตียวศิริทรัพย์	

บรรณาธิการประจำฉบับแถลง

จุลสารของสำนักวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นปีที่ ๔ ฉบับที่ ๔ มีบทความทั้งหมด ๗ เรื่อง ครอบคลุมหลายศาสตร์บทความแต่ละเรื่องน่าสนใจและเป็นประโยชน์เนื่องจากเรียบเรียงโดยผู้เชี่ยวชาญจากสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ (๑) มื้ออาหารคาร์บอนเป็นกลาง : อีกย่างก้าวสู่การบริโภคที่ยั่งยืน จากประเพณีวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (๒) เชื้อเพลิงจากของเสีย : พลังงานสะอาดขับเคลื่อนการเดินทางในอนาคต จากประเพณีวิชาเทคโนโลยี (๓) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน จากประเพณีวิชาเทคโนโลยี (๔) การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมและต้นทุนของแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ซีเมนต์ไฮดรอลิก ปูนขาว ถ้ำลอย และแอสฟัลต์อิมัลชัน เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง จากประเพณีวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (๕) การผลิตกัญชาอินทรีย์เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์ในระดับอุตสาหกรรม จากประเพณีวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรและสัตวแพทยศาสตร์ (๖) ฉลากนาโน จากประเพณีวิชาเทคโนโลยี และ (๗) เท็บ จากประเพณีวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรและสัตวแพทยศาสตร์ บทความทั้ง ๗ เรื่องนี้สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของราชบัณฑิตและนักวิชาการไทยในการสร้างองค์ความรู้ที่เชื่อมโยงวิทยาศาสตร์กับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งในระดับชุมชน อุตสาหกรรม และระดับประเทศ จุลสารฉบับนี้จึงมิได้เป็นเพียงพื้นที่เผยแพร่องค์ความรู้เท่านั้น แต่ยังเป็นเวทีแห่งการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อร่วมกันกำหนดทิศทางวิทยาศาสตร์ไทยในอนาคต หวังว่าบทความเหล่านี้จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจและเห็นประโยชน์ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น

บรรณาธิการประจำฉบับขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.มงคล เดชนครินทร์ ราชบัณฑิต ที่กรุณาตรวจแก้ไขภาษา ศาสตราจารย์ ดร. นพ.นรุตพล เจริญพันธุ์ ราชบัณฑิต ที่ได้ช่วยจัดรูปเล่มฉบับนี้ ศาสตราจารย์ ดร.สัณณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา ราชบัณฑิต ที่ช่วยประสานงานเพื่อการเผยแพร่จุลสารบนเว็บไซต์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และผู้เขียนทุกท่านที่ได้กรุณาแบ่งปันความรู้และประสบการณ์ที่ทรงคุณค่า รวมถึงผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตาม และขอให้บทความในฉบับนี้เป็นอีกแรงบันดาลใจในการใช้วิทยาศาสตร์เพื่อสังคมไทยที่ยั่งยืน

ดร.วิงค์ กังวานสุขมงคล ภาควิชาชีวเคมี

ศาสตราจารย์ ดร.อลิศรา เรืองแสง ภาควิชาชีวเคมี

ประเพณีวิชาเทคโนโลยี

สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

ทำหน้าที่คณะบรรณาธิการประจำฉบับ

นางสาวมณฑิรา เกษมสุข

เจ้าหน้าที่สำนักงานราชบัณฑิตยสภา

ทำหน้าที่ผู้ประสานงานประจำฉบับ

ม้ออาหารคาร์บอนเป็นกลาง : อิกย่างก้าวสู่การบริโภคที่ยั่งยืน (Carbon-neutral meals: A step toward sustainable consumption)

สัณณทน เทพห้สดีน ณ อุตุนยา^{๑,๒}

^๑ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^๒ ราชบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร ประภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์
ราชบัณฑิตยสภา, sakamon.dev@kmutt.ac.th

บทนำ

การสร้างห้วงโซ่อาหารที่ยั่งยืนเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วนต้องให้ความสำคัญ ทั้งนี้ องค์การสหประชาชาติได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goal, SDG) ข้อที่ ๑๒ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน เน้นแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจโดยไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และสนับสนุนวิถีชีวิตที่ยั่งยืน อุตสาหกรรมอาหารนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญแก่ความสำเร็จในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนดังกล่าว เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานมากถึงประมาณร้อยละ ๓๐ ของการใช้พลังงานรวมทั่วโลก และยังเป็นอุตสาหกรรมที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gases, GHGs) สูงถึงประมาณร้อยละ ๒๒ ของการปล่อยทั้งหมด

การสร้างความยั่งยืนของอุตสาหกรรมอาหารมิได้จำกัดอยู่เฉพาะกระบวนการผลิตอาหารเท่านั้น แต่ยัต้องขยายไปสู่ระดับของการบริโภคด้วย แนวคิดม้ออาหารคาร์บอนเป็นกลาง (carbon-neutral meals) จึงเกิดขึ้นเพื่อสะท้อนความพยายามในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน มุ่งลดการปล่อยคาร์บอนตลอดห้วงโซ่อาหาร ตั้งแต่การผลิตจนถึงการบริโภค

ความหมายของม้ออาหารคาร์บอนเป็นกลาง

ม้ออาหารคาร์บอนเป็นกลางหมายถึงม้ออาหารที่ไม่ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าสุทธิ (net carbon dioxide equivalents) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งกระทำได้โดยชดเชยการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนตลอดห้วงโซ่อาหาร ตั้งแต่การผลิต การขนส่ง ไปจนถึงการปรุงอาหาร ด้วยมาตรการที่เหมาะสม มาตรการเหล่านี้อาจรวมถึงการใช้วิธีการผลิตที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำ การลดของเสีย และการลงทุนในโครงการชดเชยอื่น ๆ เช่น การปลูกป่า การฟื้นฟูป่า การพัฒนาพลังงานหมุนเวียน แนวคิดม้ออาหารคาร์บอนเป็นกลางจึงครอบคลุมการปรับเปลี่ยน (หรือปรับปรุง) ห่วงโซ่อาหารในภาพรวม ทั้งนี้ อาจต้องดำเนินการอย่างเคร่งครัดเฉพาะจุดที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากเป็นพิเศษ ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้กำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้อง

เส้นทงสู่ความเป็นกลางทงการคาร์บอน

การสร้งความเป็นกลางทงการคาร์บอนในท่งโซ่อาทารต้องอาศัยชั้นตอนทึเชื่อมโยงกัน ๓ ชั้นตอน ได้แก่ การวัด (measure) การลด (reduce) และการชดเชย (offset) ในส่วนของการวัด ต้องใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (life cycle analysis, LCA) เก็บข้อมูลการปล่อยแก๊สท่งชั้นตอนในท่งโซ่อาทาร ตั้งแต่การจัดท้าววัตถุดิบจนถึงการจัดการของเสีย อย่างไรก็ตาม การประเมินวัฏจักรชีวิตในปัจจุบันมักไม่สามารถกระทำให้ครอบคลุมหมดท่งชั้นตอน ด้านการลด ควรมุ่งไปที่การประยุกต์ใช้การเกษตรยั่งยืน เช่น การปรับสูตรอาหารสัตว์เพื่อลดแก๊สมีเทนจากการหมักในกระเพาะ การใช้พืชคลุมดิน การใช้ปุ๋ยและน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการมูลสัตว์ทึมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการใช้พลังงานหมุนเวียนในภาคการเกษตร ด้านการชดเชย ควรทำเพื่อชดเชยการปล่อยแก๊สทึไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ผ่านโครงการทึช่วยลดหรือขจัดแก๊สเรือนกระจกออกจากชั้นบรรยากาศ เช่น การปลูกป่า

อาหารทึมียรอยเท้าคาร์บอนต่ำ

หากเปลี่ยนมุมมองมาพิจารณากระดับรอยเท้าคาร์บอน (carbon footprint) ซึ่หมายถึงปริมาณแก๊สเรือนกระจกท่งหมดทึปล่อยออกมาตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ จะพบว่า ผักและผลไม้ตามฤดูกาลมียรอยเท้าคาร์บอนต่ำกว่าผักและผลไม้นอกฤดูกาล เนื่องจากไม่ต้องอาศัยห้องเย็นหรือการขนส่งมาจากแหล่งปลูกในที่อื่น อาหารท่งถิ่นก็เป้นอาหารอีกชนิดหนึ่งทึมียรอยเท้าคาร์บอนต่ำ

ในแง่ของความแตกต่างระหว่างประเภทอาหาร อาหารทึผลิตจากวัตถุดิบพืชมียรอยเท้าคาร์บอนต่ำกว่าอาหารทึผลิตจากวัตถุดิบสัตว์ แม้แต่ในกลุ่มเนื้อสัตว์เองก็ยังมี ความแตกต่าง เช่น เนื้อไก่มียรอยเท้าคาร์บอนต่ำกว่าเนื้อวัวหรือเนื้อหมู นอกจากนี้ เนื้อทึได้จากสัตว์ทึเลี้ยงแบบยั่งยืน (sustainably-raised animals) ก็มียรอยเท้าคาร์บอนต่ำกว่า เนื่องจากเป้นการเลี้ยงสัตว์ทึให้ความสำคัญแก่การดูแลสุขภาพของดิน น้ำ อากาศ และความหลากหลายทงชีวภาพ ควบคู่ไปกับการรักษาสวัสดิภาพสัตว์และการสร้งผลกระทบเชิงบวกต่อระบบนิเวศและชุมชน เช่น การแบ่งพื้นที่ทุ่งหญ้าออกเป็นสวนย่อยและให้สัตว์ย้ายไปกินพืชในแต่ละสวนสลับกันไป เพื่อให้พืชได้มีเวลาฟื้นตัวและเจริญเติบโตใหม่ การใช้อาหารสัตว์ทึผลิตในท่งถิ่น การกำหนดสูตรและปรับส่วนประกอบอาหารสัตว์ให้มีคุณค่าทงโภชนาการสูงสุด โดยคำนึงถึงความต้องการของสัตว์แต่ละชนิด วัตถุดิบทึมีอยู่ ตลอดจนเป้าหมายการผลิต เพื่อให้สัตว์เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และมีความยั่งยืน

บทบาทของเทคโนโลยีและทัศนคติของผู้บริโภค

เทคโนโลยีเป้นแรงขับเคลื่อนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงระบบอาหาร เกษตรแม่นยำ (precision agriculture) ทึใช้เซนเซอร์ระยะไกล อุปกรณ์ IoT และปัญญาประดิษฐ์ การใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป้นปัจจัยสำคัญทึช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ก็จะช่วยลดการสูญเสียผลผลิตทงการเกษตรได้

อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าทงเทคโนโลยีต้องเกิดขึ้นควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงทงวัฒนธรรมและพฤติกรรมของผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น ในเชิงเทคนิคแล้ว การบริโภคแมลงกินได้ (edible insects) นับเป้นแนวทางทึช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและการใช้น้ำในการผลิตสัตว์ได้เป้นอย่างดี นอกจากนี้ แมลงกินได้

ยังเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคจำนวนมากยังอาจไม่พร้อมที่จะบริโภคแมลงกินได้ แนวทางที่ควรผลักดันจึงไม่ควรเป็นแนวทางแบบสุดขั้ว แต่เน้นการปรับใช้ทางเลือกที่มีผลกระทบต่ำอย่างค่อยเป็นค่อยไปและเหมาะสมกับผู้บริโภคหลากหลายกลุ่ม เช่น ทดลองปรับรูปแบบของแมลงกินได้ให้กลายเป็นองค์ประกอบของอาหารที่น่ารับประทาน หรือไม่เห็นว่าเป็นแมลงในรูปแบบดั้งเดิม (ภาพที่ ๑)



LE CORDON BLEU®

ภาพที่ ๑ อาหารที่มีแมลงกินได้เป็นองค์ประกอบ

(ที่มา : Edible Insects Workshop, Le Cordon Bleu กรุงเทพฯ, ๒๕๕๙; ภาพถ่ายโดยลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ห้องครัวคาร์บอนเป็นกลาง

นอกจากห่วงโซ่การผลิตอาหารแล้ว ห้องครัวก็เป็นสถานที่อีกแห่งหนึ่งที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจก เนื่องจากเป็นสถานที่ที่แปลงวัตถุดิบให้เป็นอาหารพร้อมบริโภค การปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากห้องครัว (ซึ่งอาจหมายรวมถึงห้องครัวในบ้าน ร้านอาหาร ตลอดจนครัวกลางที่ประกอบอาหารส่งไปยังสาขาของร้านอาหารในเครือข่าย) จัดแบ่งออกได้เป็น ๓ ขอบเขต (scope) ได้แก่ (๑) ขอบเขตที่ ๑ เป็นการปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยตรงจากการใช้เชื้อเพลิงในการปรุงอาหาร ตลอดจนการปล่อยจากการใช้สารทำความเย็นในตู้เย็น ตู้แช่ หรือห้องเย็น (๒) ขอบเขตที่ ๒ เป็นการปล่อยทางอ้อมจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ

ประกอบอาหาร และ (๓) ขอบเขตที่ ๓ เป็นการปล่อยทางอ้อมอันเนื่องมาจากกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่อุปทาน เช่น การจัดหาวัตถุดิบ การขนส่ง การเดินทางของผู้บริโภคมายังร้านอาหาร (หรือการเดินทางของพนักงานจัดส่งสินค้าจากร้านอาหารไปยังที่พักอาศัยของผู้บริโภค) ความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้ระบุจุดที่ควรปรับปรุงเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ชัดเจนขึ้น

แนวทางปฏิบัติที่อาจดำเนินการเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของห้องครัว ได้แก่ การตรวจสอบวางแผนการใช้วัตถุดิบ และลดของเสีย การใช้ผักผลไม้ตามฤดูกาลแทนการใช้สินค้านำเข้า การเลิกใช้พลาสติกครั้งเดียวทิ้ง (single-use plastics) และการเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียน นอกจากนี้ ยังอาจลดการปล่อยขอบเขตที่ ๓ ได้โดยเลือกซื้อวัตถุดิบที่ได้รับการรับรองว่ามีคาร์บอนเป็นกลาง ซึ่งผ่านกระบวนการลดและชดเชยคาร์บอนอย่างเข้มงวด (ภาพที่ ๒)

ซีพีเอฟ หนุนคนไทยรักโลก บริโภค "ไข่ไก่ CP" ช่วยลดโลกร้อน
ได้ทั้งคุณค่าโภชนาการและดูแลสิ่งแวดล้อม

ไข่ไก่สดปลอดสาร
CP Selection 21 รายการ
ขึ้นทะเบียน"ฉลากลดโลกร้อน"
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย
ของไข่ไก่ทั่วไปถึงร้อยละ 30 และช่วยลด
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 617,000 ตัน
คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ไข่ไก่สด Cage Free
แบรนด์ยูฟาร์ม
รับ "ฉลากคาร์บอนนิวทรัล"
เป็นรายแรกของภูมิภาคเอเชีย

ไข่ไก่ "คาร์บอนต่ำ" มาจาก ฟาร์มที่ใส่ใจ
สายพานสายไข่อัตโนมัติ

การนำของเสียจากเปลือกไข่ไปใช้ประโยชน์ และการใช้
พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และ
พลังงานชีวมวลจากระบบบำบัดน้ำเสีย

การลดการสูญเสียไข่ไก่ (Food Loss)
ตามแนวทางองค์การอาหารและ
เกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO)

ภาพที่ ๒ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารคาร์บอนเป็นกลาง

(ที่มา : <https://www.thailandplus.tv/archives/726636>, ข้อมูลการเข้าเว็บไซต์ วันที่ ๙ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๖๘)

บรรจุภัณฑ์และการจัดการของเสีย

บรรจุภัณฑ์นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในห่วงโซ่อุปทาน อีกทั้งยังเป็นสาเหตุที่สำคัญของการปล่อยแก๊สเรือนกระจกด้วยเช่นกัน บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้งานเพียงครั้งเดียว มีรอยเท้าคาร์บอนสูง ในทางตรงกันข้าม พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากพืชมีรอยเท้าคาร์บอนต่ำกว่า อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นอกจากนี้ การใช้หมึกพิมพ์และสารเคลือบบรรจุภัณฑ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (water-based inks and coatings) ก็เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้

ตัวอย่างแนวปฏิบัติที่ดี

การติดฉลากคาร์บอน (carbon label) ซึ่งบ่งบอกปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก บนบรรจุภัณฑ์ จะช่วยให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ได้ตามเป้าหมายความยั่งยืน ทั้งนี้ มีข้อมูลที่บ่งชี้ว่าของเสียอาหาร (food waste) มากกว่าร้อยละ ๗๐ สามารถหลีกเลี่ยงได้ หากเปรียบเทียบประเทศหนึ่ง ๆ กับของเสียอาหารทั่วโลก ประเทศสมมตินั้นจะปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากเป็นอันดับ ๓ รองจากสหรัฐอเมริกาและสาธารณรัฐประชาชนจีน กลยุทธ์การประกอบอาหารเชิงสร้างสรรค์ เช่น การทำสลัดจากเปลือกกล้วย เค้กจากกากเต้าหู้ หรือสมูทตี้ (smoothy, smoothie) จากผักผลไม้ที่ไม่สวย แสดงให้เห็นว่าของเสียสามารถเปลี่ยนเป็นอาหารที่มีคุณค่าได้

การผลิตโดยการหมักจากของเสียอาหารเป็นวิธีจัดการของเสียที่ปฏิบัติได้ ขยายผลได้ และมีความหมายเชิงสัญลักษณ์ ปุ๋ยหมักช่วยลดมีเทนโดยทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นแบบใช้ออกซิเจน และช่วยกักเก็บคาร์บอนในดิน ปัจจุบัน มีเทคโนโลยีเครื่องย่อยอาหารอัตโนมัติที่ช่วยให้การผลิตปุ๋ยหมักทำได้ง่าย แม้ในระดับครัวเรือน

การให้ดาวมิชลินสีเขียว (Michelin Green Star) แก่ร้านอาหารที่โดดเด่นด้านการดำเนินงานอย่างยั่งยืนควบคู่ไปกับความเป็นเลิศด้านการทำอาหาร ถือเป็นตัวอย่างของการบูรณาการความยั่งยืนในวงการอาหาร ความยั่งยืนดังกล่าวเริ่มตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การทำเกษตรภายในร้าน (เช่น การปลูกผักอินทรีย์ในสวนหลังร้าน) การออกแบบเมนูแบบไร้ของเสียที่เน้นการใช้ผลผลิตในท้องถิ่นตามฤดูกาล การจัดการของเสียไปจนถึงการมีส่วนร่วมของลูกค้า แนวปฏิบัติเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า การรับประทานอาหารที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม และการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นแนวปฏิบัติที่ทำได้จริง และยังสร้างความสำเร็จทางธุรกิจไปได้พร้อมกัน

ข้อคิดปัดท้าย

ข้อคิดสำคัญสรุปได้เป็นประเด็นหลัก ๓ ประเด็น ได้แก่ การสร้างความตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่างอาหารกับการปล่อยแก๊สเรือนกระจก การสนับสนุนอาหาร มีอาหาร รวมถึงสถานประกอบการที่เป็นกลางทางคาร์บอน และการส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงทัศนคติและพฤติกรรมผู้บริโภค ข้อคิดเหล่านี้ต่อยอดว่า มีอาหารคาร์บอนเป็นกลางไม่ใช่เพียงแนวคิดในอุดมคติ แต่เป็นเส้นทางปฏิบัติที่นำไปสู่ระบบอาหารที่ยั่งยืนได้อย่างแท้จริง

บรรณานุกรม

- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360, 987–992.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766–783.
- Greenspark. How big is your food's footprint? <https://www.getgreenspark.com/post/how-big-is-your-foods-footprint> (Accessed November 23, 2025)
- Hass Thailand. HASS food waste composter. <https://www.hassthailand.co> (Accessed November 23, 2025)

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.

United Nations General Assembly.

van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Reviews of Entomology*, 58, 563–583.

Gourmet Cuisine. ดาวมิชลินรักษ์โลก (Michelin's Green Star) รางวัลใหม่จากมิชลินไกด์ให้ร้านอาหารที่ทำเพื่อสิ่งแวดล้อม. <https://www.gourmetandcuisine.com/stories/detail/1197> (Accessed November 23, 2025)

เชื้อเพลิงจากของเสีย : พลังงานสะอาดขับเคลื่อนการเดินทางในอนาคต (Waste-to-fuel: Clean energy driving future transportation)

ณปภัช ลิทธิกิจปัญญา^๑ และ อลิศรา เรืองแสง^{๑,๒}

^๑ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, napapat.sy@gmail.com

^๒ ภาควิชาเคมี สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ประเพณีวิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, alissara@kku.ac.th

บทนำ

ภาคการขนส่งเป็นหนึ่งในแหล่งสำคัญของการปล่อยแก๊สเรือนกระจก โดยมีรายงานว่าได้ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นประมาณร้อยละ ๒๔ ของการปล่อยทั่วโลก และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี (Solaymani, 2019) การลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกควบคู่ไปกับการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงเป็นประเด็นเร่งด่วนในระดับโลก หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างมากคือ เชื้อเพลิงชีวภาพขั้นสูง (advanced biofuels) ซึ่งสามารถผลิตจากวัสดุเหลือใช้หรือของเสีย เช่น เศษอาหาร วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษวัสดุอุตสาหกรรมทางการเกษตร การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัตถุดิบเหล่านี้ไม่เพียงช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน

แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน : เปลี่ยนของเสียให้มีค่า

แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเสนอครั้งแรกโดย Boulding ใน ค.ศ. 1966 และต่อมาใน ค.ศ. 1991 Leontief ได้ขยายแนวคิดนี้ในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์ โดยเน้นการรีไซเคิลและการใช้ทรัพยากรซ้ำ อย่างไรก็ตาม คำจำกัดความของเศรษฐกิจหมุนเวียนได้รับการกำหนดอย่างชัดเจนใน ค.ศ. 2013 ให้เป็นแนวคิดที่มุ่งเน้นการลดของเสียจากกระบวนการผลิตและการกระจายสินค้า (Yang et al., 2022) ตามแนวคิดนี้ ของเสียจากการผลิตไม่ถือเป็นสิ่งไร้ค่า แต่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตและการบริโภคซ้ำได้ (Lin, 2020) นอกจากนี้ ใน ค.ศ. 2008 กฎหมาย Waste Framework Directive ของสหภาพยุโรปยังได้เน้นย้ำความสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียนในด้านการจัดการของเสีย ส่งผลให้แนวคิดนี้กลายเป็นแนวทางหลักที่มีประสิทธิภาพในการลดของเสีย การฟื้นฟูทรัพยากร และการรีไซเคิล (Adami & Schiavon, 2021) โดยมุ่งสร้างวงจรการใช้ทรัพยากรที่ต่อเนื่องและยั่งยืน ซึ่งแตกต่างกับระบบเศรษฐกิจเชิงเส้น (linear economy) ที่เน้นการผลิต ใช้ และทิ้ง

ในภาคพลังงานและเกษตรกรรม แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น การนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม (Or-Chen et al., 2024; Sitthikitpanya et al., 2024) รวมถึงการออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อลดการเกิดของเสีย และการใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อแปรรูปวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แนวทางเหล่านี้ช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก สนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน

ดังนั้น เศรษฐกิจหมุนเวียนจึงมิได้เป็นเพียงแนวทางจัดการของเสียเท่านั้น แต่ยังเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาที่ยั่งยืน และเป็นพื้นฐานของการสร้างพลังงานสะอาดจากของเสีย เพื่อรองรับระบบพลังงานและการเดินทางในอนาคต

วัตถุดิบชีวมวลสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

วัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากชนิดและสมบัติของวัตถุดิบมีผลต่อประสิทธิภาพและผลผลิตของกระบวนการผลิต วัตถุดิบชีวมวลสามารถแบ่งออกตามลักษณะและความยั่งยืนของแหล่งที่มาได้ ดังนี้ ชีวมวลรุ่นที่หนึ่ง (first-generation biomass) ประกอบด้วยพืชอาหาร เช่น ข้าวโพด แป้ง น้ำมันพืช วัตถุดิบเหล่านี้แม้จะให้ผลผลิตสูง แต่ทำให้เกิดการแข่งขันกับการผลิตอาหาร ทั้งอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร (Karimi et al., 2025) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนักวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้วัตถุดิบชีวมวลรุ่นที่สอง (second-generation biomass) และชีวมวลรุ่นที่สาม (third-generation biomass) ซึ่งมีความยั่งยืนมากกว่าและมีโอกาสแข่งขันกับการผลิตอาหารน้อยกว่า

ชีวมวลรุ่นที่สองหมายถึงวัตถุดิบที่ไม่ใช่เป็นอาหาร (non-food biomass) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส เช่น พางข้าว ใบอ้อย เศษไม้ เศษพืชผลทางการเกษตร รวมถึงพืชพลังงานที่ปลูกบนพื้นที่เสื่อมโทรมหรือขยะอินทรีย์บางประเภท วัสดุลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีโครงสร้างแข็งแรง โดยเฉพาะลิกนินที่ทำให้การแปรรูปเป็นเรื่องท้าทาย (Lin & Lu, 2021) จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปใช้งาน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยด้วยสารเคมีหรือเอนไซม์ให้เป็นไฮโดรไลเสตของน้ำตาล ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมยังมีข้อจำกัด เช่น การย่อยสลายได้ยาก การเกิดสารยับยั้งจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบจากแป้ง นอกจากนี้ การจัดเก็บและขนส่งวัตถุดิบจากภาคเกษตรยังยุ่งยากและใช้แรงงานมากกว่าชีวมวลรุ่นที่หนึ่ง (Pfleger & Takors, 2023)

ชีวมวลรุ่นที่สามหมายถึงวัตถุดิบที่เพาะปลูกเฉพาะเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ส่วนใหญ่ได้แก่สาหร่ายขนาดเล็ก สาหร่ายทะเล และไซยาโนแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์สังเคราะห์ด้วยแสง วัตถุดิบเหล่านี้สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยตรง ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ลิพิด ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Lin & Lu, 2021; Pfleger & Takors, 2023) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีข้อดี ได้แก่ อัตราการเติบโตสูง ใช้พื้นที่น้อย ไม่แข่งขันกับการผลิตอาหาร และมีศักยภาพสูงในการดูดซับคาร์บอน อย่างไรก็ตาม ยังคงมีข้อจำกัด เช่น ต้นทุนเริ่มต้นสูง ระบบเพาะเลี้ยงและการจัดการธาตุอาหารที่ซับซ้อน ขั้นตอนการแยกน้ำและการทำให้แห้งที่ใช้พลังงานมาก ตลอดจนความเสี่ยงจากการปนเปื้อนและการเติบโตที่ไม่สม่ำเสมอ (Karimi, 2017)

ปัจจุบันจึงมีผู้พัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพระดับยีน เพื่อปรับปรุงการสังเคราะห์ลิพิดและการผลิตสารชีวภัณฑ์ในสาหร่ายและไซยาโนแบคทีเรีย รวมทั้งแนวทางการแปรรูปแบบไม่ใช้แสง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิตและลดต้นทุน (Comer et al., 2020; Pfleger & Takors, 2023) ด้วยเหตุนี้ ชีวมวลรุ่นที่สองและสามจึงถือเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในอนาคต

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวล

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลแบ่งได้เป็นกลุ่มหลัก ๓ กลุ่ม ดังนี้

๑. กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (physicochemical processes)

กระบวนการนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคทางกายภาพและเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติของชีวมวลให้เหมาะแก่การเก็บรักษา การขนส่ง และการแปรรูป ตัวอย่างเช่น การอบแห้งเพื่อลดความชื้นของชีวมวล การอัดแท่งเพื่อแปรรูปชีวมวลเป็นแท่งขนาดเล็ก เพิ่มความสะดวกในการขนส่งและการเผาไหม้ และการสกัดน้ำมันจากพืชหรือสาหร่ายเพื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล เทคนิคเหล่านี้ช่วยเพิ่มความคงตัวและค่าพลังงานของชีวมวล ทำให้สะดวกแก่การจัดการและการใช้งาน อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมักต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะและอาจมีต้นทุนสูงทั้งในการลงทุนและการดำเนินงาน (ตารางที่ ๑) (Cheng & Timilsina, 2011; Cui et al., 2021; Karimi et al., 2025)

๒. กระบวนการทางชีวเคมี (biochemical process)

กระบวนการนี้ใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในการเปลี่ยนชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เช่น การหมัก (fermentation) ซึ่งจุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลจากชีวมวลเป็นเอทานอลหรือบิวทานอลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ที่ใช้จุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์หรือเศษอาหาร ให้เป็นแก๊สมีเทนสำหรับผลิตไฟฟ้าและความร้อน กระบวนการนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ข้อจำกัดคือใช้เวลานาน ต้องควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์อย่างเข้มงวด และมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพการผลิต (Karimi et al., 2025; Kumar et al., 2009)

๓. กระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermochemical process)

กระบวนการนี้ใช้ความร้อนและปฏิกิริยาเคมีในการแปรสภาพชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น ทอรรีแฟกชัน (torrefaction) โดยให้ความร้อนต่ำในภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อเพิ่มค่าพลังงานและลดความชื้นของชีวมวล ไพโรไลซิส (pyrolysis) ที่ใช้ความร้อนสูงในภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ แก๊สเชื้อเพลิง และถ่านชีวภาพ ขณะที่แกซิฟิเคชัน (gasification) ใช้ความร้อนพร้อมออกซิเจนในปริมาณจำกัดเพื่อสร้างแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าและความร้อน และกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal processing) ใช้ความร้อนและความดันสูงในน้ำเพื่อแปรสภาพชีวมวลเปียกเป็นของเหลวที่มีสมบัติคล้ายกับน้ำมันดิบ กระบวนการเหล่านี้สามารถใช้ชีวมวลได้หลายชนิดและให้พลังงานสูง แต่ต้องควบคุมอุณหภูมิและความดันอย่างแม่นยำ ทำให้ระบบซับซ้อนและการลงทุนสูง (Mohan et al., 2006; Osman et al., 2021)

ตารางที่ ๑ การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวล

กระบวนการ	ตัวอย่างวัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์หลัก	ข้อดี	ข้อจำกัด
กายภาพ / เคมี	ฟางข้าว, เศษไม้, เมล็ดพืชน้ำมัน	เชื้อเพลิงชีวมวล อัดแท่ง, ไบโอดีเซล	- ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของชีวมวล - สะดวกแก่การขนส่งและจัดเก็บ	- ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ - ต้นทุนการลงทุนและดำเนินการสูง

กระบวนการ	ตัวอย่างวัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์หลัก	ข้อดี	ข้อจำกัด
ชีวเคมี	มูลสัตว์, เศษอาหาร, ฟางข้าว, สาหร่าย	เอทานอล, บิวทานอล, แก๊สมีเทน	- ใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ - เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - ใช้ชีวมวลเปียกได้	- ใช้เวลานาน - ต้องควบคุมภาวะการเจริญของจุลินทรีย์ - เสี่ยงต่อการปนเปื้อน
เคมีความร้อน	ฟางข้าว, เศษไม้, กากอ้อย, สาหร่าย	ถ่านชีวภาพ, น้ำมันชีวภาพ, แก๊สสังเคราะห์	- ผลิตพลังงานสูง - ใช้ชีวมวลได้หลายประเภท - กระบวนการรวดเร็ว	- ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง - ระบบซับซ้อนและลงทุนสูง

บทสรุป

เชื้อเพลิงชีวภาพจากของเสียเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการตอบสนองความต้องการพลังงานสะอาดและลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในภาคการขนส่ง การใช้วัตถุดิบชีวมวลรุ่นที่สองและสาม เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย สาหร่ายขนาดเล็ก ทำให้สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้โดยไม่กระทบต่อความมั่นคงทางอาหารและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน การบูรณาการแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเข้ากับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นช่วยเปลี่ยนของเสียให้มีมูลค่า เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และขับเคลื่อนเทคโนโลยีชีวภาพสู่ระดับอุตสาหกรรม ดังนั้น การผลิตเชื้อเพลิงจากของเสียจึงเป็นแนวทางพลังงานสะอาดที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการเดินทางในอนาคตด้วยพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อเศรษฐกิจและสังคม



ภาพที่ ๑ วงจรการผลิตเชื้อเพลิงจากของเสียตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

เอกสารอ้างอิง

- Adami, L., & Schiavon, M. (2021). From circular economy to circular ecology: a review on the solution of environmental problems through circular waste management approaches. *Sustainability*, 13(2), 925. doi:10.3390/su13020925
- Cheng, J. J., & Timilsina, G. R. (2011). Status and barriers of advanced biofuel technologies: a review. *Renewable Energy*, 36(12), 3541–3549. doi:10.1016/j.renene.2011.04.031
- Comer, A. D., Abraham, J. P., Steiner, A. J., Korosh, T. C., Markley, A. L., & Pflieger, B. F. (2020). Enhancing photosynthetic production of glycogen-rich biomass for use as a fermentation feedstock. *Frontiers in Energy Research*, 8. doi:10.3389/fenrg.2020.00093
- Cui, X., Yang, J., Wang, Z., & Shi, X. (2021). Better use of bioenergy: a critical review of co-pelletizing for biofuel manufacturing. *Carbon Capture Science & Technology*, 1, 100005. doi:10.1016/j.ccst.2021.100005
- Karimi, M. (2017). Exergy-based optimization of direct conversion of microalgae biomass to biodiesel. *Journal of Cleaner Production*, 141, 50–55. doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.032
- Karimi, M., Simsek, H., & Kheiralipour, K. (2025). Advanced biofuel production: a comprehensive techno-economic review of pathways and costs. *Energy Conversion and Management: X*, 25, 100863. doi:10.1016/j.ecmx.2024.100863
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & engineering chemistry research*, 48(8), 3713–3729.
- Lin, B. C. (2020). Sustainable growth: a circular economy perspective. *Journal of Economic Issues*, 54(2), 465–471.
- Lin, C.-Y., & Lu, C. (2021). Development perspectives of promising lignocellulose feedstocks for production of advanced generation biofuels: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110445. doi:10.1016/j.rser.2020.110445
- Mohan, D., Pittman Jr, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & Fuels*, 20(3), 848–889.
- Or-Chen, D., Gerchman, Y., Mamane, H., & Peretz, R. (2024). Mill wastes for bioethanol production in relation to circular economy concepts: a review. *Applied Sciences*, 14(3), 1081.

- Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. a. H., & Rooney, D. W. (2021). Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(6), 4075–4118. doi:10.1007/s10311-021-01273-0
- Pfleger, B. F., & Takors, R. (2023). Recent progress in the synthesis of advanced biofuel and bioproducts. *Current opinion in biotechnology*, 80, 102913. doi:10.1016/j.copbio.2023.102913
- Sitthikitpanya, N., Khamtib, S., Sittijunda, S., Imai, T., & Reungsang, A. (2024). Valorization of sugarcane leaves and co-digestion with microalgal biomass to produce biofuels and value-added products under the circular economy and zero-waste concepts. *Energy Conversion and Management*, 299, 117854. doi:10.1016/j.enconman.2023.117854
- Solaymani, S. (2019). CO₂ emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: the case of transport sector. *Energy*, 168, 989–1001. doi:10.1016/j.energy.2018.11.145
- Yang, M., Chen, L., Wang, J., Msigwa, G., Osman, A. I., Fawzy, S., . . . Yap, P. S. (2022). Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 55–80. doi:10.1007/s10311-022-01499-6

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (Hydrogen fuel production technologies)

นวนดล เหล่าศิริพจน์^๑ และ วีระวัฒน์ แซ่มปรีดา^๒

^๑ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, navadol.lao@kmutt.ac.th

^๒ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ขึ้นมาใช้งานแทนที่น้ำมันดิบเป็นสิ่งที่ประเทศพัฒนาแล้วทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา เยอรมนี อังกฤษ และญี่ปุ่นกำลังสนใจ และดำเนินงานวิจัยเพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงประเภทใหม่จากวัตถุดิบต่าง ๆ ออกมากันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชนิดสำคัญที่ทั่วโลกกำลังสนใจศึกษาและวิจัยอยู่ ได้แก่ ไฮโดรเจน ซึ่งใช้งานควบคู่กับเซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และใช้แทนที่น้ำมันเชื้อเพลิง ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่พบมากที่สุดในจักรวาล อย่างไรก็ตาม ในโลกเราไม่พบไฮโดรเจนในรูปของแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ เนื่องจากไฮโดรเจนมีสมบัติเป็นแก๊สที่มีน้ำหนักเบามาก ทำให้สามารถเล็ดลอดออกจากชั้นบรรยากาศได้ง่าย อีกทั้งยังไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงมักรวมตัวกับธาตุอื่น เช่น ออกซิเจน คาร์บอน ไนโตรเจน จนเกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น น้ำ ไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงฟอสซิล (เช่น มีเทน) หรือสารอินทรีย์ในชีวมวล ดังนั้น การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการผลิตจากสารประกอบต่าง ๆ ในธรรมชาติ โดยมีแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำ ชีวมวล และเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งสามารถสกัดหรือแยกไฮโดรเจนออกมาได้ด้วยเทคโนโลยีที่หลากหลาย ทั้งนี้ กระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ ๓ กลุ่ม ดังนี้

๑. เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเชิงความร้อน

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากแหล่งพลังงานทดแทนด้วยกระบวนการทางความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี โดยที่กระบวนการหลักที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายได้แก่กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน กระบวนการร่วมระหว่างการปฏิรูปด้วยไอน้ำและออกซิเดชันบางส่วน อีกทั้งยังมีการแยกแก๊สไฮโดรเจน กระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

๑.๑ กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ กระบวนการนี้ให้ประสิทธิภาพสูงในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน เสียค่าใช้จ่ายน้อย และมีผู้นำมาใช้ทางการค้าแล้ว หลักการสำคัญคือการป้อนน้ำเข้าสู่ระบบในสภาพที่เป็นไอน้ำเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแก๊ส หรือของเหลวในสภาพที่เป็นไอ เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สชีวภาพ เอทานอล ระหว่างกระบวนการดังกล่าว ธาตุไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากไฮโดรคาร์บอน และน้ำ

กลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน ส่วนธาตุคาร์บอนและออกซิเจนที่เหลือจะรวมตัวกันเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ดังแสดงในสมการที่ ๑ (ในกรณีที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใช้คือมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแก๊สธรรมชาติ และแก๊สชีวภาพ) โดยปกติแล้วกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำมักจะมีปฏิกิริยาร่วมเกิดขึ้นด้วยเสมอ นั่นคือ ปฏิกิริยาอวตอร์แก๊สชิฟต์ (water gas shift) ดังแสดงในสมการที่ ๒ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อป้อนไอน้ำเข้าสู่ระบบในปริมาณสูง



กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งเข้าช่วยเพื่อลดความต้องการพลังงานของปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาสำคัญที่มักนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์คือ นิกเกิล บนตัวรองรับได้แก่ Al_2O_3 , ZrO_2 , CaAl_2O_4 , Ce-ZrO_2 (Dong, W.S.; Roh, H.S.; Jun, K.W.; Park, S.E.; Oh, Y.S. 2002, Takeguchi, T.; Furukawa, S.N.; Inoue, M. 2001, Kiratzis, N.; Holtappels, P.; Hatchwell, C.E.; Mogensen M.; Irvine J.T.S. 2001) เนื่องจากมีราคาถูก นอกจากนั้น สิ่งที่สำคัญของกระบวนการนี้คือการควบคุมปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและน้ำให้เหมาะสม เนื่องจากสัดส่วนดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการนี้ Laosiripojana, N.; Assabumrungrat, S. (2005) รายงานว่าสัดส่วนของน้ำต่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เหมาะสมอยู่ที่ระหว่าง ๑.๒-๑.๔

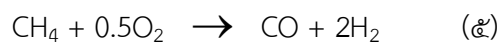
๑.๒ กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการนี้คล้ายกับกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ ต่างกันตรงที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยาแทนที่ไอน้ำ และสารไฮโดรคาร์บอนที่ใช้มักจะเป็นแก๊ส เช่น มีเทน กระบวนการนี้มีข้อดี คือ สามารถใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรเจน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ได้ แต่ข้อเสียของกระบวนการดังกล่าวคือตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบมีโอกาสเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่ากระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ เนื่องจากเกิดคาร์บอนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Edwards, J.H.; Maitra, A.M. 1995) อีกทั้งอัตราส่วนของไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะต่ำกว่ากระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ สมการที่ ๓ แสดงกระบวนการรีฟอร์มมิงของมีเทนด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการดังกล่าวมักจะมีกระบวนการอวตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับ (Reverse Water-Gas Shift reaction; RWGS) เกิดควบคู่กันไปด้วยดังแสดงในสมการที่ ๔ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือจากกระบวนการรีฟอร์มมิงกับไฮโดรเจนที่ผลิตได้ (Vannice, M.A.; Bradford, M.C.J. 1996)



ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะมีตระกูล (noble metal catalysts) (Rostrup-Nielsen, J.R.; Bak-Hansen, J.H. 1993) เช่น แพลทินัม

(Pt) แพลเลเดียม (Pd) โรเดียม (Rh) รูทีเนียม (Ru) ปัญหาของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะมีตระกูลคือมีราคาแพงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกนิกเกิล (Ni) ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีผู้วิจัยบางคนเติม (dope) สารประกอบจำพวกซีเรียออกไซด์ (CeO_2) เข้าไปในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเพื่อให้ทนต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากเกิดคาร์บอนที่ผิวมากขึ้น (Laosiripojana, N.; Sutthisripok, W.; Assabumrungrat, S. 2005)

๑.๓ กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน กระบวนการนี้เกิดขึ้นระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนกับ ออกซิเจนหรืออากาศที่มีปริมาณไม่สูงพอที่จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ดังแสดงในสมการที่ ๕ กระบวนการนี้มีข้อได้เปรียบเหนือกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำและกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งป้อนพลังงานจากภายนอก เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นแบบคาย ความร้อน แต่ข้อจำกัดหรือข้อควรระวังของกระบวนการนี้คือปริมาณออกซิเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบต้องไม่สูง จนเกินไป เนื่องจากออกซิเจนที่เหลือจากกระบวนการสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่ผลิตได้ กลายเป็นน้ำ ($\text{O}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) นอกจากนั้น ข้อจำกัดที่สำคัญอีกประการของการใช้กระบวนการนี้ในเชิงพาณิชย์คือ ราคาต่ำดำเนินการสำหรับกระบวนการนี้จะสูงกว่ากระบวนการรีฟอร์มมิงปกติ เนื่องจากจำเป็นต้องมีระบบ แยกออกซิเจนจากอากาศหากต้องการป้อนออกซิเจนเข้าสู่ระบบ ถ้าเลือกที่จะป้อนอากาศเข้าสู่ระบบโดยตรงก็ จะตัดรายจ่ายตรงส่วนนี้ไปได้ แต่ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่ผลิตได้ก็จะลดลงไปด้วย เนื่องจาก อากาศมีปริมาณไนโตรเจนสูง



๑.๔ กระบวนการร่วมของกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำกับกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน กระบวนการใหม่นี้นำข้อดีของกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำและกระบวนการออกซิเดชันบางส่วนมารวมกัน โดยการป้อนทั้งน้ำและออกซิเจนเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอน ข้อดีของกระบวนการนี้คือสามารถ ผลิตไฮโดรเจนได้ในอัตราส่วนสูงกว่ากระบวนการออกซิเดชันบางส่วน และใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการ ปฏิรูปด้วยไอน้ำ ในปัจจุบันนี้กระบวนการดังกล่าวกำลังเป็นที่นิยม และเริ่มมีผู้ใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์อย่าง แพร่หลาย อนึ่ง ข้อจำกัดของกระบวนการนี้คล้ายกับของกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน คือ ราคาของ ออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ใช้ในกระบวนการ

๑.๕ กระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแกซิฟิเคชัน กระบวนการทั้งสองนี้ทำให้วัสดุของแข็ง เช่น ชีวมวล ถ่านหิน กลายสภาพเป็นแก๊สโดยการสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ สารไฮโดรคาร์บอนในวัสดุ ของแข็งจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดแก๊สที่มีส่วนประกอบหลักเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นแก๊สทำปฏิกิริยา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่า ความร้อนต่ำประมาณ ๓-๕ เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นแก๊สทำปฏิกิริยา แก๊สเชื้อเพลิงที่ ได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่า คือ ประมาณ ๑๕-๒๐ เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร อนึ่ง กระบวนการแกซิฟิเคชัน ของชีวมวล และถ่านหิน มีความคล้ายคลึงกัน ยกเว้นการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี ซึ่งหากเปรียบเทียบที่

กำลังการผลิตที่เท่ากันแล้ว เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนจากชีวมวลจะมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องมือในการผลิตจากถ่านหิน ทั้งนี้เพราะคุณค่าทางความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของชีวมวลมีค่าต่ำกว่าของถ่านหิน

๒. เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเชิงไฟฟ้าเคมี

เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเชิงไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในปัจจุบันมี ๒ รูปแบบ ได้แก่ (๑) กระบวนการสลายน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อผลิตไฮโดรเจน เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ราว ค.ศ. ๑๙๘๐ แล้ว วัตถุดิบที่ใช้เพื่อผลิตไฮโดรเจนคือน้ำบริสุทธิ์ แต่ในปัจจุบันเทคนิคดังกล่าวยังไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับการผลิตไฮโดรเจนในระดับใหญ่ เพราะราคาค้นทุนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้แพงกว่าการผลิตโดยตรงจากเชื้อเพลิงฟอสซิลถึง ๓-๕ เท่า และ (๒) กระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากการสลายโมเลกุลน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับกระบวนการสลายน้ำด้วยไฟฟ้า ปัญหาหลักของการผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการนี้คือ ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ กระบวนการดังกล่าวจึงยังต้องปรับปรุงทั้งในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงและการลดราคาอุปกรณ์ ในทางทฤษฎีค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงของระบบเคมีไฟฟ้าทางแสงควรมีค่าเท่ากับร้อยละ ๓๒ แต่ในทางปฏิบัติค่าประสิทธิภาพดังกล่าวยังมีค่าต่ำอยู่ (ร้อยละ ๑๓) ดังนั้น เทคโนโลยีนี้ยังต้องพัฒนาต่อไป

๓. เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวเคมี

ไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการทางชีวเคมีมีชื่อเรียกว่า ไบโอไฮโดรเจน หลักการคือใช้จุลินทรีย์ในการเปลี่ยนของเสียและน้ำเสียเชิงชีวมวลไปเป็นแก๊สไฮโดรเจน การผลิตโดยใช้จุลินทรีย์มีระบบชีวภาพหลัก ๆ ๕ แบบ แต่ละแบบขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาในการเกิดไฮโดรเจนของจุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆ ดังนี้ (๑) Direct biophotolysis เป็นกระบวนการที่สาหร่ายสีเขียว (green algae) และ cyanobacteria ผลิตไฮโดรเจนจากน้ำ (สลายน้ำ, photolysis) โดยใช้แสงอาทิตย์ (photosynthetic production of H_2) (๒) Indirect biophotolysis เป็นกระบวนการ photolysis ทางชีวภาพเช่นกัน ทั้งนี้ photolysis ไม่ได้เกิดแก่น้ำโดยตรง แต่เป็น photolysis ของกลูโคสที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยที่ cyanobacteria หรือสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสังเคราะห์แสงได้กลูโคส ซึ่งจะเกิด hydrolysis โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ได้เป็นแก๊สไฮโดรเจน (๓) Photo-fermentation กระบวนการแบบนี้ใช้พวก photosynthetic bacteria เช่น purple non-sulphur bacteria เพราะไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนจาก photolysis ของน้ำได้โดยตรง แต่ในภาวะที่ไนโตรเจนต่ำ เอนไซม์ nitrogenase สามารถเร่งปฏิกิริยา photo-fermentation ใน purple non-sulphur bacteria เพื่อเปลี่ยน reduced compounds เช่น กรดอินทรีย์ได้เป็นแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (๔) Hydrogen synthesis via the water-gas shift reaction ใช้แบคทีเรียในกลุ่ม photoheterotrophic bacteria พวก purple non-sulphur bacteria ในสกุล Rhodospirillaceae เช่น *Rhodospirillum rubrum* และสกุล Rubrivivax เช่น *Rx.gelatinosus* ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในที่มืด โดยใช้คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอน และสร้าง ATP โดยจะปลดปล่อยแก๊สไฮโดรเจนออกมาจากปฏิกิริยา water-gas shift และ (๕) Dark fermentation ซึ่งอาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่น กลุ่มของ Enterobacto, Bacillus และ Clostridium กระบวนการหมักแบบนี้มีหลักการเดียวกันกับ

กระบวนการหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพที่ได้กล่าวข้างต้น วิธีนี้ต่างกับวิธีอื่น ๆ ที่กล่าวมาตรงที่นอกจากจะได้แก๊สไฮโดรเจนแล้ว ยังได้แก๊สชีวภาพที่มีแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากการหมักนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น ภาวะของกระบวนการ และผลิตภัณฑ์ของการหมักที่ได้

บทสรุป

การพัฒนาเทคโนโลยีไฮโดรเจนเป็นก้าวสำคัญสู่การเปลี่ยนผ่านด้านพลังงานไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ ไฮโดรเจนมีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิงสะอาดสำหรับภาคการขนส่งและการผลิตไฟฟ้า ด้วยสมบัติการปล่อยมลพิษต่ำและความยืดหยุ่นในการผลิตจากวัตถุดิบที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การผลิตที่ยั่งยืนจากพลังงานหมุนเวียนยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ ในขณะที่การผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลยังสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอนควบคู่กันไปอนาคตของไฮโดรเจนจะขึ้นอยู่กับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ การลงทุนในระบบโครงสร้างพื้นฐาน การสนับสนุนนโยบายรัฐ และการสร้างตลาดเชิงพาณิชย์ หากสามารถแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ได้ ไฮโดรเจนจะกลายเป็นพลังงานหลักที่ช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- Dong, W. S., Roh, H. S., Jun, K. W., Park, S. E., & Oh, Y. S. (2002). Methane reforming over Ni/Ce-ZrO₂ catalysts: Effect of nickel content. *Applied Catalysis A: General*, 226, 63–72.
- Edwards, J. H., & Maitra, A. M. (1995). The chemistry of methane reforming with carbon dioxide and its current and potential applications. *Fuel Processing Technology*, 42, 269–289.
- Kiratzis, N., Holtappels, P., Hatchwell, C. E., Mogensen, M., & Irvine, J. T. S. (2001). Preparation and characterization of copper/yttria titania zirconia cermets for use as possible solid oxide fuel cell anodes. *Fuel Cells*, 1, 211–218.
- Laosiripojana, N., & Assabumrungrat, S. (2005). Methane steam reforming over Ni/Ce-ZrO₂ catalyst: Influences of Ce-ZrO₂ support on reactivity, resistance toward carbon formation, and intrinsic reaction kinetics. *Applied Catalysis A: General*, 290, 200–211.
- Laosiripojana, N., Sutthisripok, W., & Assabumrungrat, S. (2005). Synthesis gas production from dry reforming of methane over CeO₂ doped Ni/Al₂O₃: Influence of the doping ceria on the resistance toward carbon formation. *Chemical Engineering Journal*, 112, 13–22.
- Rostrup-Nielsen, J. R., & Bak-Hansen, J. H. (1993). CO₂-reforming of methane over transition metals. *Journal of Catalysis*, 144, 38–49.

- Takeguchi, T., Furukawa, S. N., & Inoue, M. (2001). Hydrogen spillover from NiO to the large surface area CeO₂-ZrO₂ solid solutions and activity of the NiO/CeO₂-ZrO₂ catalysts for partial oxidation of methane. *Journal of Catalysis*, 202, 14-24.
- Vannice, M. A., & Bradford, M. C. J. (1996). Catalytic reforming of methane with carbon dioxide over nickel catalysts II. Reaction kinetics. *Applied Catalysis A: General*, 142, 97-122.

การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมและต้นทุนของแอสฟัลต์
คอนกรีตรีไซเคิลที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑
ซีเมนต์ไฮดรอลิก ปูนขาว แล้วย และแอสฟัลต์อิมัลชัน เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง
(A comparative study of engineering properties and costs of
recycled asphalt concrete improved with type I Portland
cement, hydraulic cement, lime, fly ash, and asphalt emulsion
for use as base course material)

สุขสันต์ หอพิบูลสุข^{๑,๔,๕}, กิตติยา แผนจะบก^๒, อภิชาติ สุดดีพงษ์^๓, นันทิพัฒน์ พงษ์ศรี^๔ และ
คงศักดิ์ อัครวงศ์วัฒนา^๕

^๑ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา,
suksun@g.sut.ac.th

^๒ หลักสูตรวิศวกรรมโยธาและการบริหารงานก่อสร้าง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

^๓ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

^๔ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

^๕ หลักสูตรวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทนำ

การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางถนนของประเทศไทยต้องใช้วัสดุก่อสร้างจำนวนมาก ส่งผลให้การใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุมวลรวมธรรมชาติสำหรับงานก่อสร้างถนน (ชั้นผิวทาง ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง และดินถมคันทาง) ขณะเดียวกัน ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสื่อมสภาพและถูกรื้อถอนจากงานบำรุงรักษานั้นสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิล (Reclaimed asphalt pavement, RAP) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดความยั่งยืนและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การนำ RAP กลับมาใช้โดยตรงมักมีข้อจำกัดด้านสมบัติทางวิศวกรรม เช่น ค่า California Bearing Ratio (CBR) ต่ำ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุที่จำเป็น (วัสดุปรับปรุงคุณภาพ) เช่น ซีเมนต์ เพื่อให้เหมาะแก่การใช้เป็นวัสดุงานทาง (Suddepong et al., 2018) อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างความรู้เกี่ยวกับต้นทุนของ RAP ที่ปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงคุณภาพชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะการหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม ซึ่งจะสร้างดุลระหว่างกำลังอัดที่ต้องการกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Arulrajah et al., 2014) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมและต้นทุนของ RAP ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุปรับปรุงคุณภาพหลากหลายชนิด เพื่อใช้เป็นแนวทางเลือกวิธีปรับปรุงคุณภาพวัสดุที่เหมาะสมในงานก่อสร้างชั้นพื้นทาง (Base course) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท

วัสดุและวิธีดำเนินงานวิจัย

วัสดุมวลรวมหลักของงานวิจัยนี้คือ RAP ที่ได้จากโครงการบำรุงรักษาทางหลวงชนบทในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่ไม่มีความเป็นพลาสติก (non-plastic) มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) เท่ากับ ๒.๐๐ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความสึกหรอ (LA abrasion) เท่ากับ ร้อยละ ๒๙.๘๐ และค่า CBR ร้อยละ ๑๕ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด คือ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๘๐ (ตาม มทข. ๒๐๓-๒๕๕๗) การศึกษาบ่งชี้ว่า RAP เพียงอย่างเดียวไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางโดยตรง และจำเป็นต้องปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงคุณภาพ

วัสดุปรับปรุงคุณภาพหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ (ตาม มอก. ๑๕) และ ซีเมนต์ไฮดรอลิก (ตาม มอก. ๒๕๙๔) ส่วนวัสดุที่ใช้ร่วมกับวัสดุปรับปรุงคุณภาพหลักได้แก่ปูนขาว (Lime) (ตาม มอก. ๒๔๑) ที่มี CaO และ MgO เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ ๙๔.๑๕ และ ๒.๙๕ ตามลำดับ เถ้าลอย (Fly ash) (ตาม มอก. ๒๑๓๕) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมี SiO₂, Al₂O₃, และ Fe₂O₃ เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ ๗๘.๗๓, ๑๕.๙๗ และ ๒.๘๗ ตามลำดับ อีกทั้งแอสฟัลต์อิมัลชันชนิด CSS-1h (ตาม มอก. ๓๗๑-๒๕๒๙) งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุปรับปรุงคุณภาพสำหรับปรับปรุง RAP จำนวน ๕ รูปแบบ คือ ๑) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ (OPC type 1) ๒) ซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement, HC) ๓) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ร้อยละ ๗๐ ร่วมกับปูนขาว (Lime, L) ร้อยละ ๓๐ ของน้ำหนักวัสดุปรับปรุงคุณภาพ (OPC type 1+L) ๔) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ร้อยละ ๗๐ ร่วมกับเถ้าลอย (Fly ash, FA) ร้อยละ ๓๐ ของน้ำหนักวัสดุปรับปรุงคุณภาพ (OPC type 1+FA) และ ๕) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ร่วมกับแอสฟัลต์อิมัลชัน ชนิด CCS-1h ร้อยละ ๒ ของน้ำหนักซีเมนต์ (OPC type 1+CSS-1h)

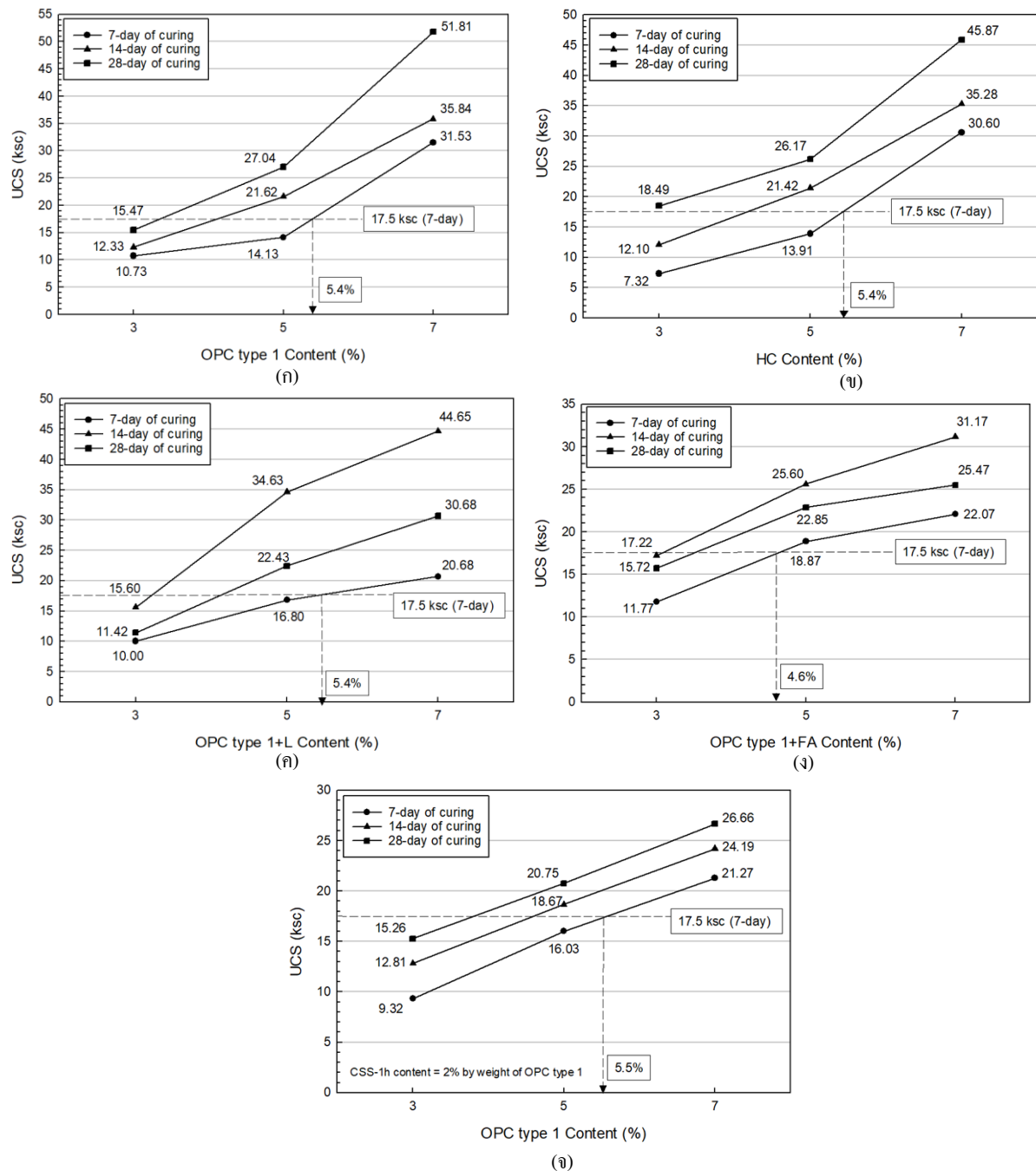
ตัวอย่างทดสอบ UCS ของ RAP ที่ปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงคุณภาพทุกประเภทดังกล่าวถูกเตรียมโดยใช้ปริมาณวัสดุปรับปรุงคุณภาพร้อยละ ๓, ๕ และ ๗ โดยน้ำหนักของ RAP ตามมาตรฐาน มทข. ๒๔๔-๒๕๖๗ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบการบดอัดตามมาตรฐาน มทข. ๕๐๑.๒ การทดสอบ UCS ดำเนินการตามมาตรฐาน มทข.(ท) ๓๐๓-๒๕๕๕ ที่อายุบ่ม ๗, ๑๔ และ ๒๘ วัน คำนวณต้นทุนของวัสดุปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิดต่อปริมาณ RAP อ้างอิง ๑,๐๐๐ กิโลกรัม (Cost) สำหรับประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการเลือกวัสดุปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุง RAP เพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทางของกรมทางหลวงชนบท

ผลการศึกษา

อิทธิพลของปริมาณวัสดุปรับปรุงคุณภาพและอายุบ่มต่อ UCS ของ RAP ที่ปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงคุณภาพ ๕ ประเภท ได้แก่ OPC type 1, HC, OPC type 1+L, OPC type 1+FA และ OPC type 1+CSS-1h นั้นแสดงดังภาพที่ ๑ (ก) ถึง (จ) ตามลำดับ ที่อายุบ่มค่าเดียวกัน จะเห็นได้จากภาพนี้ว่า เมื่อปริมาณวัสดุปรับปรุงคุณภาพเพิ่มขึ้น ค่า UCS ของทุกส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนผสมทุกแบบใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพหลัก ดังนั้น ปริมาณวัสดุปรับปรุงคุณภาพที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน โดยเฉพาะ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (calcium silicate hydrate, CSH) และ แคลเซียมอะลูมิเนต (calcium aluminate

hydrates, CAH) ภายในโครงสร้าง RAP เพิ่มขึ้นตาม และช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค นอกจากนี้ ค่า UCS ยังเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มที่เพิ่มขึ้นในทุกปริมาณและประเภทของวัสดุปรับปรุงที่ศึกษา สอดคล้องกับการพัฒนา กำลังของวัสดุซีเมนต์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันตามอายุบ่มที่ขึ้น (Suddeepong et al., 2018)

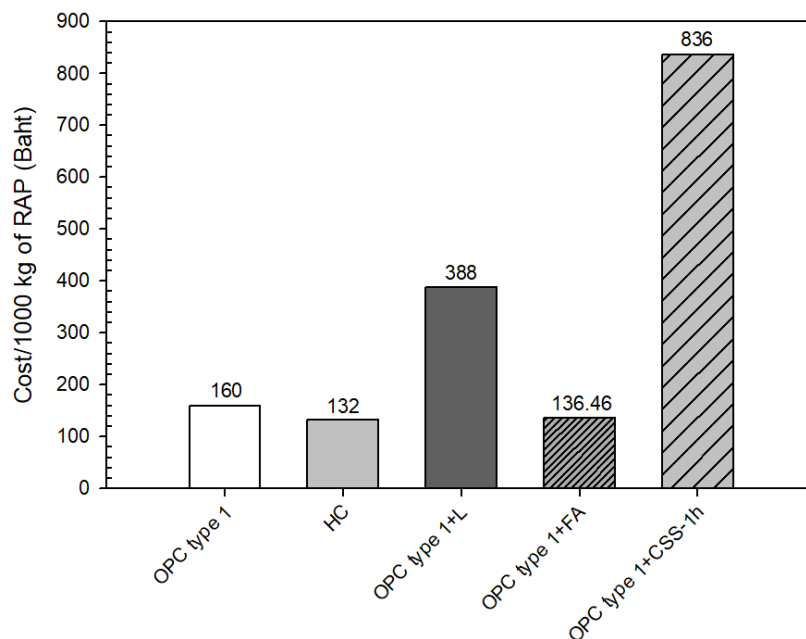
ค่า UCS ของ RAP ที่ปรับปรุงด้วย HC [ภาพที่ ๑ (ข)] มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ OPC type 1 [ภาพที่ ๑ (ก)] ที่ระยะเวลาการบ่มค่าเดียวกัน เนื่องจาก OPC type 1 มีปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate, C_3S) สูง ทำให้เกิด CSH ได้รวดเร็วและให้ค่ากำลังในระยะต้นสูง (Debbarma et al., 2021) ขณะที่ HC มักประกอบด้วยวัสดุเสริมปูนซีเมนต์ที่ต้องอาศัยปฏิกิริยาพอซโซลานิก (Pozzolanic) ที่ดำเนินไปช้ากว่า ส่งผลให้ การพัฒนากำลังอัดเกิดช้ากว่า OPC type 1 (Divya et al., 2024) การใช้ OPC type 1+Lime [ภาพที่ ๑ (ค)] ให้ค่า UCS ที่อายุการบ่ม ๗ วัน สูงกว่า OPC type 1 เล็กน้อยที่ปริมาณวัสดุปรับปรุงร้อยละ ๓-๕ เนื่องจากปูนขาวช่วยเพิ่มความเป็นด่างในระบบ ทำให้เกิดการละลายของซิลิกาและอะลูมินาในมวลวัสดุรวม และเกิดปฏิกิริยาพอซโซลานิกในระยะต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ในปริมาณวัสดุปรับปรุงเพิ่มขึ้นหรือที่อายุบ่มนานขึ้น OPC type 1 กลับให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจากปูนขาวไม่สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันที่ให้ กำลังได้โดยตรงเหมือนปูนซีเมนต์ แต่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดภาวะด่างสูงเพื่อกระตุ้นการละลายของซิลิกา (Si) และอะลูมินา (Al) ที่มีอยู่ในวัสดุรวม แล้วทำปฏิกิริยาพอซโซลานิก เกิดเป็น CSH และ CAH ที่ช่วย เสริมกำลังให้แก้วสด (Zhang et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของ RAP อนุภาคมวลรวมถูกเคลือบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งจำกัดการละลายของ Si และ Al ส่งผลให้ศักยภาพของปูนขาวในการพัฒนากำลังลดลงเมื่อ เทียบกับการใช้ OPC type 1 ส่วนการใช้ OPC type 1+FA [ภาพที่ ๑ (ง)] ในปริมาณร้อยละ ๓-๕ ให้ค่า UCS ในช่วงที่สูงกว่า OPC type 1 เล็กน้อย เนื่องจาก FA ช่วยลดความพรุนของโครงสร้างโดยรวมและทำ ปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ที่เกิดในช่วงต้นได้บางส่วน ซึ่งส่งผลเชิงบวกต่อกำลังในช่วงต้นในของส่วนผสมที่ใช้วัสดุ ปรับปรุงต่ำ (Hoy et al., 2016) อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณวัสดุปรับปรุงสูงขึ้นหรือที่อายุบ่มนานขึ้น OPC type 1 ให้ค่า UCS สูงกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจาก FA เป็นวัสดุพอซโซลานิกที่ต้องอาศัย $Ca(OH)_2$ จาก ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่า จึงให้ค่า UCS ในระยะต้นต่ำกว่าและ พัฒนา UCS ในระยะยาวช้ากว่า OPC type 1 (Horpibulsuk et al., 2017) การใช้ OPC type 1+CSS-1h [ภาพที่ ๑ (จ)] ในปริมาณร้อยละ ๓-๕ ที่อายุบ่ม ๗ วัน ให้ค่า UCS ใกล้เคียงกับ OPC type 1 ซึ่งแสดงถึง ความสามารถของ CSS-1h ในการเพิ่มการยึดเกาะระหว่างอนุภาค RAP ได้ดีในระยะต้น เนื่องจากฟิล์มของ อิมัลชันสามารถแทรกซึมและลดช่องว่างอากาศภายในโครงสร้างของส่วนผสม (Bualuang et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ปริมาณวัสดุปรับปรุงที่เพิ่มขึ้นหรือที่มีอายุบ่มนานขึ้น OPC type 1 ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าอย่าง ชัดเจน เนื่องจากอิมัลชันไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันเพิ่มเติมเหมือนปูนซีเมนต์ และเมื่อบ่มนานขึ้น ผลของ การเคลือบผิวอนุภาคของ CSS-1h อาจทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ถูกจำกัด ส่งผลให้การ พัฒนากำลังอัดโดยรวมต่ำกว่า OPC type 1 (Bualuang et al., 2021)



ภาพที่ ๑ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัสดุปรับปรุงคุณภาพกับค่า UCS ที่อายุบ่ม ๗, ๑๔ และ ๒๘ วัน (ก) OPC type 1, (ข) HC, (ค) OPC type 1+L, (ง) OPC type 1+FA และ (จ) OPC type 1+CSS-1h

ต้นทุนของวัสดุปรับปรุงแต่ละประเภทคำนวณที่ปริมาณวัสดุปรับปรุง ซึ่งให้ค่า UCS ที่อายุบ่ม ๗ วัน เท่ากับ ๑๗.๕ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐาน มทข. ๒๔๔-๒๕๖๗ โดยใช้วิธี Interpolate ในช่วง ปริมาณวัสดุปรับปรุงที่ให้ค่า UCS ต่ำและสูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท ทำให้ได้ปริมาณวัสดุ ปรับปรุงคุณภาพสำหรับการคำนวณต้นทุนเท่ากับ ร้อยละ ๕.๔, ๕.๔, ๔.๖ และ ๕.๕ สำหรับวัสดุปรับปรุง ประเภท OPC type 1, HC, OPC type 1+L, OPC type 1+FA และ OPC type 1+CSS-1h ตามลำดับ

ต้นทุนของการปรับปรุง RAP ด้วยวัสดุปรับปรุงทั้ง ๕ ประเภท สำหรับการปรับปรุง RAP ปริมาณ ๑,๐๐๐ กิโลกรัม แสดงดังภาพที่ ๒



ภาพที่ ๒ ต้นทุนของวัสดุปรับปรุงคุณภาพสำหรับการปรับปรุง RAP ปริมาณ ๑,๐๐๐ กิโลกรัม

การใช้ OPC type 1, HC, OPC type 1+FA, OPC type 1+L และ OPC type 1+CSS-1h ให้ต้นทุน ๑๖๐, ๑๓๒, ๑๓๖.๔๖, ๓๘๘ และ ๘๓๖ บาท ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุง RAP เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง คือการใช้ HC หรือ OPC type 1+FA เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีมาตรฐาน OPC type 1 อย่างชัดเจน ส่วนการใช้ OPC type 1+L หรือ OPC type 1+CSS-1h ไม่คุ้มค่าด้านต้นทุนวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดที่ได้

บทสรุป

ค่า UCS ของ RAP เพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุปรับปรุงและอายุบ่ม โดยที่ OPC Type 1 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด ขณะที่ HC และ OPC Type 1+FA ให้กำลังใกล้เคียงแต่มีต้นทุนต่ำกว่า (๑๓๒ บาท และ ๑๓๖.๔๖ บาท ต่อการปรับปรุง RAP ปริมาณ ๑,๐๐๐ กิโลกรัม) เมื่อเทียบกับ OPC Type 1 (๑๖๐ บาท) ส่วน OPC Type 1+L และ OPC Type 1+CSS-1h มีต้นทุนสูงแต่ไม่เพิ่มกำลังอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น HC และ OPC Type 1+FA จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุง RAP เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง ทั้งด้านกำลังและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- Arulrajah, A., Piratheepan, J., & Disfani, M. M. (2014). Reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate blends in pavement subbases: Laboratory and field evaluation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 349–357.
- Bualuang, T., Jitsangiam, P., Suwan, T., Rattanasak, U., Tangchirapat, W., & Thongmunee, S. (2021). Influence of asphalt emulsion inclusion on fly ash/hydrated lime alkali-activated material. *Materials*, 14(22), 7017.
- Debbarma, S., Ransinchung RN, G., & Singh, S. (2021). Suitability of various supplementary cementitious admixtures for RAP inclusive RCCP mixes. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(12), 1568-1581.
- Divya, S., Saranya, R., & Praveenkumar, S. (2024). Pozzolanic attributes of hydraulic cement paste hybridized with agricultural by-product and nano-carbon. *Construction and Building Materials*, 411, 134119.
- Horpibulsuk, S., Hoy, M., Witchayaphong, P., Rachan, R., & Arulrajah, A. (2017). Recycled asphalt pavement - Fly ash geopolymer as a sustainable stabilized pavement material. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Hoy, M., Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., & Arulrajah, A. (2016). Recycled asphalt pavement – fly ash geopolymers as a sustainable pavement base material: Strength and toxic leaching investigations. *Science of the Total Environment*, 573, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.078>
- Suddeepong, A., Intra, A., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C., Arulrajah, A., & Shen, J. S. (2018). Durability against wetting-drying cycles for cement-stabilized reclaimed asphalt pavement blended with crushed rock. *Soils and Foundations*, 58(2), 333–343.
- Zhang, D., Zhao, J., Wang, D., Wang, Y., & Ma, X. (2020). Influence of pozzolanic materials on the properties of natural hydraulic lime based mortars. *Construction and Building Materials*, 244, 118360.

การผลิตกัญชาอินทรีย์เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์ในระดับอุตสาหกรรม (Industrial-scale organic cannabis production for medical purposes)

อานัฐ ตันโช^{๑,๒}

^๑ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

^๒ ราชบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา ประเพณีวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางเกษตรและสัตวแพทยศาสตร์
สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, arnat009@yahoo.com

กัญชา (*Cannabis*) เป็นพืชสมุนไพรที่ใช้ประโยชน์กันมาอย่างยาวนานในหลายวัฒนธรรมทั่วโลก ทั้งในด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และพิธีกรรมทางศาสนา พืชชนิดนี้จัดอยู่ในวงศ์ *Cannabaceae* เป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นตั้งตรง สูงได้ ๓-๕ เมตร ใบเว้าแฉก ๕-๙ แฉก และมีกลิ่นเฉพาะตัวที่เกิดจากสารในกลุ่มเทอร์ปีน (Terpenes) กัญชามีสายพันธุ์หลักอยู่ ๓ สายพันธุ์ ได้แก่ *Cannabis sativa*, *Cannabis indica* และ *Cannabis ruderalis* แต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน สารสำคัญที่พบมากที่สุดคือ Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (THC) ซึ่งมีฤทธิ์ต่อจิตประสาท และ Cannabidiol (CBD) ซึ่งไม่มีฤทธิ์เมา แต่มีสรรพคุณทางยาหลากหลาย เช่น ด้านการอักเสบและลดอาการปวด กัญชาจึงกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความสนใจจากทั่วโลก โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาเป็นยารักษาโรคและผลิตภัณฑ์สุขภาพ ปัจจุบันหลายประเทศได้ปรับนโยบายเพื่อส่งเสริมการใช้กัญชาในเชิงการแพทย์อย่างถูกต้องตามกฎหมาย รวมถึงประเทศไทย ซึ่งได้ยอมให้ใช้กัญชาทางการแพทย์ตั้งแต่ พ.ศ. ๒๕๖๒ เป็นต้นมา ความตื่นตัวนี้นำไปสู่การศึกษาการปลูกกัญชาแบบอินทรีย์ที่ปลอดจากสารเคมีตกค้าง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG model) ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนและสร้างดุลระหว่างสุขภาพ เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมของประเทศ

กัญชาในระบบอินทรีย์ (Cannabis in organic agriculture)

กัญชา และกัญชงหรือเฮมพ์ (Hemp) เป็นพืชในสกุลเดียวกันและมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาคล้ายคลึงกันจนยากจะแยกแยะในบางช่วงของการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อน อย่างไรก็ตาม เราสามารถแยกความแตกต่างได้จากลักษณะภายนอกและองค์ประกอบทางพฤกษเคมี โดยทั่วไปกัญชงจะมีลำต้นสูงกว่า ๒ เมตร ใบมีลักษณะเรียวยาวและหนาเหนียว ช่อดอกมีขนาดเล็กกว่า ขณะที่กัญชามักมีลำต้นเตี้ยกว่า ใบแผ่กว้างและช่อดอกหนาแน่นกว่า ในด้านพฤกษเคมีพบว่า กัญชงมีปริมาณสาร Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (THC) ต่ำมาก โดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ ๑ แต่มีสัดส่วน Cannabidiol (CBD)/THC สูงกว่ากัญชาอย่างชัดเจน จึงนิยมปลูกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และอาหารสุขภาพ มากกว่าการใช้เพื่อนันทนาการ การปลูกกัญชาและกัญชงในระบบอินทรีย์ (organic cannabis and hemp cultivation) เป็นแนวทางเกษตรกรรมที่ยึดหลักการสำคัญของเกษตรยั่งยืน โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ทั้งในรูปของปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง และสารควบคุมการเจริญเติบโต เพื่อป้องกันการตกค้างของสารพิษในผลิตผล เน้นการบำรุงดินด้วยวัสดุอินทรีย์จากธรรมชาติ เช่น ปุ๋ย

หมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งมีผลต่อการสะสมสารสำคัญทางเภสัชเคมีของกัญชา เช่น กลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) และเทอร์พีน ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อคุณภาพทางการแพทย์ของพืช (Wookeu, 1987) หลักการของเกษตรอินทรีย์ยังมุ่งเน้นการสร้างดุลของระบบนิเวศทางการเกษตร เช่น การใช้พืชคลุมดินเพื่อลดการพังทลายของหน้าดินและรักษาความชื้น การปลูกพืชหมุนเวียนกับพืชตระกูลถั่วเพื่อเพิ่มไนโตรเจนตามธรรมชาติ การใช้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น ไทรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) ไมคอร์ไรซา (*Mycorrhizae*) เพื่อส่งเสริมการเจริญของรากและป้องกันโรคพืช รวมทั้งการจัดการศัตรูพืชด้วยวิธีชีวภาพ เช่น การใช้สารสกัดจากพืชสมุนไพร หรือน้ำหมักชีวภาพเพื่อลดการระบาดของแมลงและเชื้อรา ทั้งหมดนี้เป็นการสร้างระบบนิเวศที่มั่นคงและยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้ส่งเสริมการปลูกกัญชาในระบบอินทรีย์ตามนโยบายเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG model) และกำหนดแนวทางการผลิตที่ปลอดจากสารเคมีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ หรือ IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) ที่ให้ความสำคัญแก่การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า การฟื้นฟูดิน และการลดการพึ่งพาสารเคมีในการเกษตร หลักการของ IFOAM ยังย้ำถึงการเชื่อมโยงระหว่างสุขภาพของผู้บริโภคกับสุขภาพของระบบนิเวศ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยที่ให้ความสำคัญแก่การผลิตอย่างปลอดภัยและยั่งยืน (อานัฐ, ๒๕๖๐) การพัฒนาเทคนิคการปลูกกัญชาอินทรีย์ในประเทศไทยจึงควรมุ่งเน้นการปรับปรุงดินให้มีจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ การควบคุมคุณภาพน้ำ การใช้วัสดุปลูกที่ปราศจากโลหะหนัก และการตรวจสอบมาตรฐานการผลิตเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้ทางการแพทย์ ทั้งนี้กระบวนการทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้ระบบรับรองมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน Organic Thailand, GAP, GMP เพื่อให้ผู้บริโภคมั่นใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ และเสริมศักยภาพการแข่งขันของประเทศไทยในตลาดกัญชาอินทรีย์ระดับโลกอย่างยั่งยืน

การดูแลจัดการกัญชาในระบบอินทรีย์ (Cannabis management in organic system)

การปลูกกัญชาในระบบอินทรีย์ต้องอาศัยความเข้าใจลึกซึ้งถึงหลักการของเกษตรอินทรีย์ที่มุ่งเน้นความดุลยภาพของดิน น้ำ และระบบนิเวศโดยรวม เพื่อคงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการที่ดีเริ่มตั้งแต่การเตรียมดิน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกกัญชาอินทรีย์ ดินที่เหมาะสมควรมีโครงสร้างร่วนซุย ระบายน้ำดี และมีอินทรีย์วัตถุสูง การปรับปรุงดินควรทำโดยการใส่วัสดุอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ และหากดินมีสภาพเป็นกรดจัด ควรปรับด้วยหินปูนบดหรือปูนโดโลไมต์ (dolomite) เพื่อเพิ่มค่า pH และเสริมธาตุแมกนีเซียมไปในตัว ทั้งนี้ยังแนะนำให้ใช้พืชตระกูลถั่วปลูกหมุนเวียน เนื่องจากมีจุลินทรีย์กลุ่มไรโซเบียม (*Rhizobium* spp.) ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งช่วยปรับปรุงธาตุอาหารในดินตามธรรมชาติ (กรมวิชาการเกษตร, ๒๕๔๓) การอนุรักษ์หน้าดินเป็นประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่ง โดยเฉพาะการปลูกพืชกลางแจ้งในพื้นที่ลาดชันหรือเสี่ยงต่อการชะล้าง ควรปลูกพืชคลุมดิน เช่น หญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*) เพื่อช่วยลดการพังทลายของดินและรักษาความชื้นไว้ได้ดี ส่วนการจัดการน้ำในระบบอินทรีย์ต้องใช้แหล่งน้ำที่ปราศจากสารเคมีตกค้างและโลหะหนัก หากปลูกในระบบโรงเรือน ควรใช้น้ำที่ผ่านการกรองเพื่อกำจัดคลอรีน

และโลหะหนักก่อนนำมาใช้ แต่หากเป็นน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำบาดาลหรือน้ำฝน ควรตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะ ปัจจุบันหน่วยงานของรัฐหลายแห่งได้สนับสนุนการตรวจวิเคราะห์น้ำและดินเพื่อรับรองความปลอดภัย (วิฑูรย์ และคณะ, ๒๕๖๒) ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่การเจริญของกัญชาแบ่งออกเป็น ๓ กลุ่ม ได้แก่ ธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุเสริม ธาตุหลักที่จำเป็นคือไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างโปรตีน พลังงาน และการพัฒนาราก-ดอก ธาตุรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ส่วนธาตุเสริมที่มีบทบาทในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันต้านทานและการสังเคราะห์สารพิษเคมี ได้แก่ โบรอน (B) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และโมลิบดีนัม (Mo) ซึ่งทั้งหมดนี้มีความสำคัญแก่กระบวนการสร้างสารกลุ่มแคนนาบินอยด์และเทอร์พีน ที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของกัญชา (ไทยเกษตรศาสตร์, ๒๕๕๕) ในระบบอินทรีย์นิยมใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากธรรมชาติ เช่น น้ำหมักปลา (fish amino acid: FAA) ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพที่อุดมด้วยกรดอะมิโน ธาตุอาหารหลัก และจุลินทรีย์ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของลำต้นและใบ สามารถใช้แทนปุ๋ยยูเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ อัตราการใช้แนะนำให้เจือจาง ๑,๐๐๐ เท่า ก่อนรดหรือฉีดพ่น เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารทั้งทางใบและราก (อานัฐ, ๒๕๔๘) ส่วนการบำรุงระยะออกดอกและการเร่งการสร้างสารพิษเคมีนิยมใช้ **ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (vermicompost)** และ **น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน (liquid vermicompost)** ซึ่งผลิตโดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ ซีตาแร่ (*Perionyx sp.1*) อันเป็นสายพันธุ์พื้นถิ่นของประเทศไทย มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและเพิ่มธาตุอาหารสำคัญแก่พืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในรูปที่ดูดซึมง่าย อีกทั้งยังมีฮอร์โมนธรรมชาติช่วยกระตุ้นการออกดอกของกัญชาและกัญชงอินทรีย์ได้ดี (อานัฐ, ๒๕๖๓) ในกระบวนการเก็บเกี่ยวกัญชาอินทรีย์นั้นจำเป็นต้องควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อรักษาคุณภาพของสารพิษเคมี โดยควรตัดและนำช่อดอกมาแขวนผึ่งในที่ร่ม อุณหภูมิประมาณ ๑๘ องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ ๕๐ เพื่อป้องกันการสลายของสารแคนนาบินอยด์และคงความเข้มข้นของสารสำคัญไว้ที่ค่าสูงสุด การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องจะช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพทางเภสัชวิทยาสูง เหมาะแก่การนำไปสกัดใช้ในผลิตภัณฑ์ยาและสุขภาพ นอกจากนี้ การควบคุมโรคและแมลงในระบบอินทรีย์ต้องอาศัยการใช้ชีวภัณฑ์แทนสารเคมี เช่น เชื้อราบิวเวอเรีย (*Beauveria bassiana*) เมทาไรเซียม (*Metarhizium anisopliae*) สำหรับควบคุมแมลงศัตรูพืช ส่วนโรคพืชจากเชื้อรา เช่น ราใบจุดและรากเน่า สามารถควบคุมได้ด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma harzianum*) หรือแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และ *B. amyloliquefaciens* นอกจากนี้ เกษตรกรยังนิยมนำน้ำส้มควันไม้เพื่อขับไล่แมลง และชีววิธีอื่น ๆ เช่น การปล่อยมวนพิฆาต (*Podisus maculiventris*) เพื่อควบคุมหนอนในแปลงปลูก (อานัฐ, ๒๕๖๐) การดูแลจัดการกัญชาในระบบอินทรีย์จึงเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกษตรหลายแขนง ทั้งด้านจุลินทรีย์ในดิน ธาตุอาหารพืช การจัดการศัตรูพืชทางชีวภาพ และการควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ปลอดภัยจากสารเคมี และมีศักยภาพทางเภสัชวิทยาสูงสุด

การใช้ประโยชน์จากกัญชา (Applications and utilization of Cannabis)

กัญชา (*Cannabis sativa*) นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) เช่น Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (THC) Cannabidiol (CBD) ซึ่งมีสมบัติทางเภสัชวิทยาหลากหลาย ทั้งด้านระงับปวด ด้านการอักเสบ ลดความเครียด และช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ (ไมเคิล, ๒๕๖๓) การนำกัญชามาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วทั่วโลกหลังจากหลายประเทศผ่อนปรนกฎหมายเกี่ยวกับการใช้กัญชาในทางการแพทย์และสุขภาพ ทำให้กัญชาได้กลายเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม เวชสำอาง และผลิตภัณฑ์สุขภาพสมัยใหม่ ในอุตสาหกรรมอาหาร มีผู้นำกัญชามาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า **“edibles”** ซึ่งหมายถึงอาหารหรือของกินที่ผสมสารสกัดจากกัญชา โดยเฉพาะ THC และ CBD ในปริมาณที่ปลอดภัยและควบคุมได้ อาหารกลุ่มนี้มีตั้งแต่ขนมอบ เช่น บราวนี่ เค้ก คุกกี้ ไปจนถึงอาหารคาว เช่น เบอร์เกอร์หรือพาสตา โดยที่สารแคนนาบินอยด์ที่ผสมอยู่ในอาหารจะถูกดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหารและส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ช่วยให้เกิดความผ่อนคลาย ลดความวิตกกังวล และช่วยให้นอนหลับได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบคุมปริมาณ THC เป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะหากได้รับสารนี้มากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อรับรู้และการทำงานของสมองได้ ในด้านเครื่องดื่ม ได้มีผู้พัฒนา **“Cannabis Beverage”** หรือเครื่องดื่มผสมกัญชาในหลายรูปแบบ เช่น ชา น้ำผลไม้ นม เครื่องดื่มชูกำลัง กาแฟผสม CBD ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยคลายกล้ามเนื้อ ลดความเครียด และปรับการนอน แนวโน้มนี้ได้รับความนิยมสูงในยุโรป แคนาดา และสหรัฐอเมริกา เครื่องดื่มบางประเภทใช้ CBD isolate ซึ่งเป็น CBD บริสุทธิ์ที่ปราศจาก THC เพื่อให้เหมาะกับผู้บริโภคทั่วไป และไม่เกิดผลทางจิตประสาท นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยี **nano-emulsion** เพื่อเพิ่มการละลายของสารแคนนาบินอยด์ในน้ำ ทำให้สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็วและคงฤทธิ์ได้นานขึ้น ในอุตสาหกรรมความงามและเวชสำอาง กัญชากลายเป็นส่วนผสมสำคัญที่ช่วยเสริมคุณสมบัติด้านการดูแลผิวและสุขภาพ เช่น **Canna lips** ลิปปาล์มผสมสาร CBD ซึ่งช่วยลดการอักเสบของริมฝีปากและป้องกันรังสี UV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีการพัฒนา **ครีมบำรุงผิวและเจลลดอาการปวด (CBD pain relief cream)** ที่ผสมสาร THC:CBD ในอัตราส่วน ๑๕:๑๕ มิลลิกรัม ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยลดการอักเสบและอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อโดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงแก่ระบบประสาท สำหรับผู้หญิง ยังมีผลิตภัณฑ์เฉพาะ เช่น ผ้าอนามัยแบบสอดที่ผสมสาร CBD เพื่อบรรเทาอาการปวดประจำเดือนและลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อมดลูก ทั้งนี้ ยังมีการพัฒนา **สบู่ แชมพู เกลีโออาบน้ำ ยาหม่อง และเซรั่มบำรุงผิว** ผสมสารสกัดจากใบหรือเมล็ดกัญชา ซึ่งมีสมบัติช่วยต้านอนุมูลอิสระและฟื้นฟูผิวที่แห้งเสีย ในด้านสุขภาพและการแพทย์ สาร CBD จากกัญชาได้มีผู้นำมาผลิตเป็น **หมากฝรั่งทางการแพทย์ (CBD chewing gum)** โดยใช้ความเข้มข้นของสาร CBD ประมาณร้อยละ ๕-๑๕ ซึ่งสามารถดูดซึมผ่านเยื่อในช่องปากได้อย่างรวดเร็ว มีประโยชน์ในการลดอาการปวดจากโรคข้ออักเสบ ลดการเกร็งของกล้ามเนื้อในผู้ป่วยโรคปลอกประสาทเสื่อม (multiple sclerosis) และช่วยให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดตีบมีการไหลเวียนเลือดดีขึ้น ปัจจุบันยังมีการศึกษาการใช้สารแคนนาบินอยด์ร่วมกับสารสกัดจากสมุนไพรอื่น เช่น ขมิ้นชัน กวาวเครือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางชีวภาพและลดผลข้างเคียงจากยาสังเคราะห์

นอกจากนี้ ยังมีผู้ใช้อยู่ใน **ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจิตและการนอนหลับ** เช่น สเปรย์ใต้ลิ้น (CBD sublingual spray) น้ำมันหยดใต้ลิ้น (CBD oil drops) ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ภายในไม่กี่นาที ทำให้ระดับสารสื่อประสาทในสมองมีดุลยภาพมากขึ้น ส่งผลให้ผู้รู้สึกสงบ ลดความวิตกกังวล และนอนหลับได้ดีขึ้น รวมถึงมีผู้นำ CBD ไปใช้ร่วมในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplements) เพื่อช่วยลดความเครียดและชะลอความเสื่อมของเซลล์ประสาท ในแง่เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio-Circular-Green Economy: BCG) การใช้ยาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชีวภาพยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเฉพาะเศษเหลือจากการปลูก เช่น ใบ ก้าน เปลือก สามารถนำมาสกัดเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อผ้า กระดาษ และบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ ซึ่งเป็นแนวทางลดการใช้พลาสติกและสนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียว กล่าวโดยสรุป การใช้ประโยชน์จากยาในยุคนี้อาจได้ขยายจากระดับสมุนไพรพื้นบ้านสู่การเป็นวัตถุดิบระดับอุตสาหกรรมที่มีการควบคุมมาตรฐาน ปริมาณสารออกฤทธิ์ และเทคโนโลยีการผลิตที่ซับซ้อนมากขึ้น ทั้งนี้ เรายังคงต้องอาศัยการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อรับรองความปลอดภัยและประสิทธิภาพทางชีวภาพ อีกทั้งให้การใช้อย่างถูกต้องเกิดประโยชน์สูงสุดทั้งทางเศรษฐกิจ การแพทย์ และสุขภาพของประชาชน (ไมเคิล, ๒๕๖๓)

แนวทางการใช้สารสกัดยาทางการแพทย์ (Medical applications of Cannabis extracts)

การใช้ยาในทางการแพทย์ได้พัฒนาอย่างรวดเร็วจากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ชีวการแพทย์ การสกัดสารออกฤทธิ์ และงานวิจัยทางคลินิกที่มีคุณภาพ ยาทางการแพทย์ประกอบด้วยสารแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) มากกว่า ๑๐๐ ชนิด โดยเฉพาะ Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (THC) และ Cannabidiol (CBD) ซึ่งมีโครงสร้างใกล้เคียงกันแต่ให้ผลทางสรีรวิทยาต่างกัน THC ออกฤทธิ์ผ่านตัวรับ CB1 และ CB2 ในสมองและระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยระงับปวด ลดอาการคลื่นไส้ กระตุ้นความอยากอาหาร และคลายกล้ามเนื้อ ส่วน CBD ไม่มีฤทธิ์ต่อจิตประสาท แต่เสริมฤทธิ์ THC และมีสรรพคุณด้านการอักเสบ ต้านอาการชัก และลดความวิตกกังวล (Martin, ๒๕๖๒) งานวิจัยทางคลินิกมุ่งเน้นการใช้สารแคนนาบินอยด์รักษาโรคที่มีอาการปวดเรื้อรังของระบบประสาท เช่น **neuropathic pain** และ **multiple sclerosis** ทำให้พบว่าการใช้ THC และ CBD ในอัตราส่วนที่เหมาะสมช่วยลดความเจ็บปวดได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นความอยากอาหารและลดอาการคลื่นไส้ในผู้ป่วยมะเร็งจากการกระตุ้นสมองส่วนไฮโปทาลามัสและเมดัลลา การค้นพบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือฤทธิ์ของ CBD ในการลดอาการชักในโรคลมชักดื้อยา เช่น **Dravet** และ **Lennox-Gastaut syndrome** โดยลดความถี่ของการชักได้มากกว่าร้อยละ ๕๐-๕๐ จนนำไปสู่การอนุมัติใช้ยา Epidiolex® ซึ่งเป็น CBD บริสุทธิ์รักษาโรคลมชักในเด็กโดยเฉพาะ นอกจากนี้ CBD ยังมีแนวโน้มช่วยบรรเทาอาการวิตกกังวล ภาวะซึมเศร้า และโรคทางสมองเสื่อม เช่น อัลไซเมอร์ พาร์กินสัน โดยปรับดุลของสารสื่อประสาท GABA และเซโรโทนิน ทำให้สมองสงบและลดความเครียด รวมถึงช่วยให้หลับดีขึ้นในผู้ป่วยที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรัง เช่น **Fibromyalgia** ปัจจุบันยาทางการแพทย์ได้รับการพัฒนาในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น **น้ำมันหยดใต้ลิ้น แคปซูล สเปรย์ ครีมเฉพาะที่ ยาสูดพ่น** แต่ละรูปแบบมีอัตราการดูดซึมและระยะเวลาออกฤทธิ์ต่างกัน การให้ยาจึงต้องอยู่ภายใต้คำแนะนำของแพทย์ และเริ่มมีการใช้แนวทาง “การให้ยาตามบุคคล” (personalized dosing) เพื่อเพิ่มประสิทธิผลและลดผลข้างเคียง ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และคลินิกสมัยใหม่ยัง

สนับสนุนการควบคุมมาตรฐานการผลิต ตั้งแต่การปลูกในระบบควบคุม การตรวจคุณภาพของสารออกฤทธิ์ ไปจนถึงการป้องกันโลหะหนักและจุลินทรีย์ปนเปื้อน เพื่อให้ยาปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด (Martin, ๒๕๖๒) ในอนาคต ยาปัญญาทางการแพทย์จะพัฒนาไปพร้อมกับเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เพื่อเพิ่มการดูดซึมในร่างกาย การสร้างระบบส่งยาอัจฉริยะ (smart delivery systems) การใช้เทคโนโลยีโอมิกส์ (omics technology) เพื่อออกแบบการรักษาเฉพาะบุคคล ซึ่งทั้งหมดนี้จะช่วยให้การใช้สารสกัดจากพืชทางการแพทย์มีความปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางการรักษาที่ทันสมัยและยั่งยืน (Martin, ๒๕๖๒)

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (๒๕๔๓). *มาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า ๙๓-๑๐๘.
- ไมเคิล แบกเกส. (๒๕๖๓). *กัญชาทางการแพทย์*. กรุงเทพฯ : แอร์โรว์ มัลติมีเดีย. ๔๘๐ หน้า.
- วิฑูรย์ ปัญญากุล และคณะ. (๒๕๖๒). *คู่มือสำหรับเกษตรกรการปลูกกัญชงทางการแพทย์แบบเกษตรอินทรีย์*. กรุงเทพฯ : มูลนิธิสายใยแผ่นดิน. ๘๔ หน้า.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๔๘). *เกษตรธรรมชาติ: แนวคิด หลักการและจุลินทรีย์ท้องถิ่น*. พิมพ์ครั้งที่ ๕. เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด. ๑๔๖ หน้า.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๐). *คู่มือโรงเรียนเกษตรอินทรีย์ทางอากาศ (ชุดองค์ความรู้เกษตรอินทรีย์)*. เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด. ๑๖๘ หน้า.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๓). “ใส่เต๋อดินกำจัดขยะอินทรีย์ ตำรับแม่โจ้.” *วารสารคณะผลิตกรรมการเกษตร*, ปีที่ ๑ ฉบับที่ ๒ : หน้า ๑-๑๐.
- Martin, Woodbridge. (๒๕๖๒). *การใช้กัญชาเพื่อบำบัดรักษาโรค (ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์)*. Bedrocan. ๖๐ หน้า.

ฉลากนาโน (Nano label)

จิตาภา สำราญจิตต์^๑ และ วียงค์ กังวานศุภมงคล^๒

^๑ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

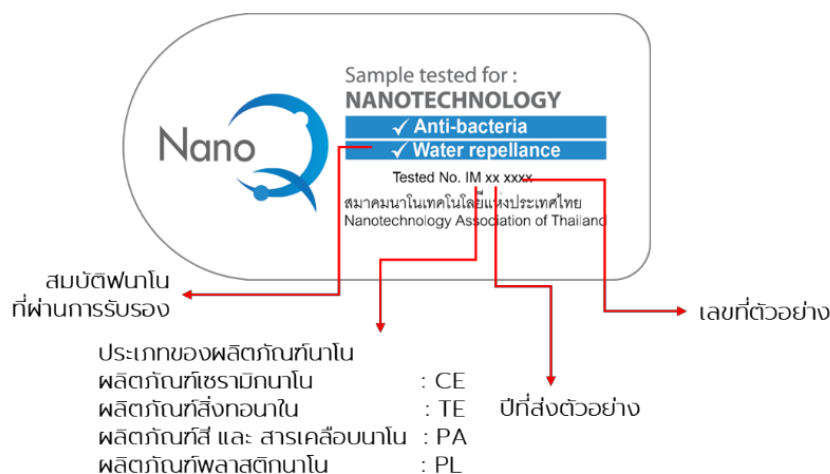
^๒ ภาควิชาเคมี สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ ภาควิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา,
wiyong@nanotec.or.th

บทนำ

ในยุคที่นาโนเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย ทั้งในภาคอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมบริการ และด้านการแพทย์ การใช้ฉลากนาโนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดสมบัติพิเศษ เช่น การยับยั้งจุลชีพ ความทนทาน ความสามารถในการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ และการดูดซับที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญคือผู้บริโภคทั่วไปไม่สามารถแยกแยะได้ว่า ผลิตภัณฑ์ใดเป็น “นาโนจริง” หรือเพียงแต่กล่าวอ้างเชิงการตลาด ดังนั้น ประเทศไทยจึงได้ริเริ่มโครงการ “ฉลากนาโน” หรือที่เรียกว่า “นาโนคิว (NanoQ)” เพื่อรับรองและสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่ผลิตภัณฑ์นาโนอย่างเป็นระบบ

ความเป็นมาของฉลากนาโนในประเทศไทย

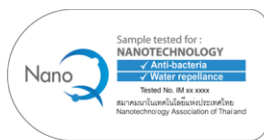
โครงการฉลากนาโนในประเทศไทยริเริ่มขึ้นโดยสมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Nanotechnology Association of Thailand) ร่วมกับศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) ซึ่งได้เล็งเห็นถึงการยกระดับความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์นาโนหรือสินค้าที่พัฒนาโดยใช้นาโนเทคโนโลยี ทั้งนี้ NanoQ เป็นระบบรับรองที่มีกลไกการตรวจสอบ ผลการทดสอบ และการติดตามคุณภาพ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นแก่ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค รูปแบบฉลากนาโนและรายละเอียดส่วนประกอบของฉลากนาโนแสดงไว้ในภาพที่ ๑



ภาพที่ ๑ รายละเอียดส่วนประกอบของฉลากนาโน “นาโนคิว (NanoQ)”

ประเภทของผลิตภัณฑ์และข้อกำหนดการขอรับฉลาก

ฉลากนาโนของสมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยเป็นทางเลือกที่จะสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค รวมถึงยังเป็นการยกระดับผลิตภัณฑ์ด้านนาโนเทคโนโลยี ทั้งในระดับประเทศและระดับสากล รูปแบบฉลากนาโนแต่ละกลุ่มพร้อมรายละเอียดแสดงไว้ในภาพที่ ๒ ปัจจุบันฉลากนาโนของไทยครอบคลุมกลุ่มผลิตภัณฑ์ ๔ กลุ่ม ได้แก่



กลุ่มผลิตภัณฑ์นาโน (Nano Product)

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุนาโนหรือมีการใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต และต้องอยู่ในลักษณะที่ลูกค้าพร้อมใช้งานใน ๔ กลุ่ม ได้แก่ สี และสารเคลือบ สิ่งทอ พลาสติก และเซรามิก เช่น กังเก็บน้ำ ผันกรพยาบาลยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต้องมีสมบัติพิเศษอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

□ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

□ สะท้อนน้ำ



กลุ่มผลิตภัณฑ์นาโนขั้นกลาง (Intermediate Nanoproduct)

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุนาโนหรือมีการใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต แต่ยังไม่อยู่ในลักษณะที่พร้อมใช้งาน จำเป็นต้องผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มเติม เช่น ผสมกับสารอื่น หรือต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูป ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เม็ดพลาสติกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโน โดยผลิตภัณฑ์ต้องมีการทดสอบสมบัติที่ระบุไว้



กลุ่มวัตถุดิบ (Raw Materials)

วัสดุที่มีขนาดในช่วง ๑ - ๑๐๐ นาโนเมตร ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมใช้งาน วัสดุนี้ต้องเข้าข่ายวัสดุนาโน วัสดุโครงสร้างนาโน หรือวัสดุที่มีการใช้นาโนเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต เช่น อนุภาคนาโนทองคำ ท่อนาโนคาร์บอน อนุภาคนาโนพอลิเมอร์



กลุ่มอนุภาคนาโนกักเก็บ (Nanoencapsulation)

อนุภาคนาโนกักเก็บ เป็นอนุภาคโครงสร้างนาโนที่เก็บกักสารสำคัญเพื่อให้มีเสถียรภาพยาวนานขึ้น หรือเพื่อปรับปรุงสมบัติอื่นที่ไม่พึงประสงค์ของสารสำคัญ โดยระบบห่อหุ้มสามารถเป็นได้ทั้งกลุ่มไขมันและกลุ่มพอลิเมอร์ และมีขนาดอนุภาคไม่เกิน ๕๐๐ นาโนเมตร โดยผลิตภัณฑ์ต้องมีการระบุปริมาณสารสำคัญที่กักเก็บไว้

ภาพที่ ๒ รูปแบบฉลากนาโน “นาโนคิว (NanoQ)” แต่ละกลุ่มพร้อมรายละเอียด

กลุ่มผลิตภัณฑ์นาโน (Nano Product)

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุนาโนหรือใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิตต้องอยู่ในลักษณะที่พร้อมใช้งานใน ๔ กลุ่ม ผลิตภัณฑ์ต้องมีสมบัติพิเศษ ได้แก่ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสะท้อนน้ำ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง ๒ สมบัติ วัสดุทั้ง ๔ กลุ่มดังกล่าวได้แก่ สีและสารเคลือบ สิ่งทอ พลาสติก และเซรามิก ส่วนผลิตภัณฑ์มีตัวอย่างเช่น กังเก็บน้ำ ผันกรพยาบาลยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

กลุ่มผลิตภัณฑ์นาโนขั้นกลาง (Intermediate Nanoproduct)

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุนาโนหรือใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต แต่ยังไม่อยู่ในลักษณะที่พร้อมใช้งานนั้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มเติม เช่น ผสมกับสารอื่น หรือต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีตัวอย่าง เช่น เม็ดพลาสติกที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโน ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ต้องมีการทดสอบสมบัติที่ระบุไว้

กลุ่มวัตถุดิบ (Raw Materials)

วัสดุที่มีขนาดในช่วง ๑-๑๐๐ นาโนเมตร ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมใช้งาน วัสดุเหล่านี้ต้องเข้าข่ายวัสดุนาโน วัสดุโครงสร้างนาโน หรือวัสดุที่ใช้นาโนเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต เช่น อนุภาคนาโนทองคำ ท่อนาโนคาร์บอน อนุภาคนาโนพอลิเมอร์

กลุ่มอนุภาคนาโนกักเก็บ (Nanoencapsulation)

อนุภาคนาโนกักเก็บเป็นอนุภาคโครงสร้างนาโนที่ใช้กักเก็บสารสำคัญเพื่อให้มีเสถียรภาพยาวนานขึ้น หรือเพื่อปรับปรุงสมบัติอื่นที่ไม่พึงประสงค์ของสารสำคัญ โดยมีระบบห่อหุ้มที่สามารถเป็นได้ทั้งกลุ่มไขมันและกลุ่มพอลิเมอร์ อีกทั้งมีขนาดอนุภาคไม่เกิน ๕๐๐ นาโนเมตร ผลิตภัณฑ์ต้องระบุปริมาณสารสำคัญที่กักเก็บไว้

ทั้งนี้ ในกระบวนการขอรับรองฉลากนาโน ผู้ประกอบการจะต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยและการประเมินความเสี่ยง รวมถึงข้อกำหนดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมด้านนาโนเทคโนโลยี การปฏิบัติด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของผู้เกี่ยวข้องกับนานาเทคโนโลยี รวมถึงการดูแลสิ่งแวดล้อม (ในกรณีผลิตในประเทศไทย) โดยสามารถหาความรู้เพิ่มเติมได้จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “นาโนเทคโนโลยี” มอก. ๒๖๙๑ (เล่ม ๑-๗)

คุณสมบัติของผู้ขอรับรองและขั้นตอนการขอการรับรองฉลากนาโน

ผู้ขอรับรองฉลากนาโนต้องเป็นนิติบุคคลหรือหน่วยงานที่ประกอบกิจการด้านการผลิต การจำหน่าย การนำเข้า หรือการส่งออกผลิตภัณฑ์นาโน โดยต้องแสดงเจตจำนงในการรับรองคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ มีความรับผิดชอบต่อผู้บริโภค และมีจรรยาบรรณทางธุรกิจ ผู้ขอรับรองต้องสามารถแสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ ผลการทดสอบ ประวัติการผลิต และยินยอมให้ตรวจสอบการประกอบกิจการตามแนวทางของสมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งมีขั้นตอนการขอการรับรองฉลากนาโนดังแสดงในภาพที่ ๓



ภาพที่ ๓ ขั้นตอนการขอการรับรองฉลากนาโน (NanoQ)

การตรวจวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและสมบัติ

การพิสูจน์ว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์มีลักษณะระดับนาโนต้องอาศัยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิทยาศาสตร์ขั้นสูง เช่น การตรวจวัดขนาดอนุภาคด้วย Dynamic Light Scattering (DLS), Transmission Electron Microscopy (TEM), หรือ Scanning Electron Microscopy (SEM) ซึ่งสามารถวัดและแสดงภาพโครงสร้างระดับนาโนได้โดยตรง ส่วนการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการยับยั้งจุลชีพ การสะท้อนน้ำ จะใช้วิธีทดสอบที่ออกแบบเฉพาะตามลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ การทดสอบทั้งหมดต้องดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน เช่น ISO/IEC 17025 เพื่อให้ผลการรับรองนั้นน่าเชื่อถือ

การเปรียบเทียบกับระบบฉลากนาโนในระดับสากล

ระบบฉลากรับรองผลิตภัณฑ์นาโนได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคและภาคอุตสาหกรรม ประเทศที่พัฒนาเทคโนโลยีนาโนในเชิงพาณิชย์อย่างจริงจัง เช่น ไทย มาเลเซีย ไต้หวัน อิหร่าน ต่างมีระบบฉลากที่เน้นการตรวจสอบความเป็น “นาโนจริง” ผ่านเทคนิควิเคราะห์ที่ได้มาตรฐาน เช่น SEM, TEM, DLS ตลอดจนมีการประเมินสมบัติเชิงนาโนอย่างเป็นระบบ รายชื่อประเทศ ชื่อฉลากหรือระบบ หน่วยงานกำกับดูแล และขอบเขตการรับรองผลิตภัณฑ์นาโน แสดงไว้ในตารางที่ ๑

ตาราง ๑ รายชื่อประเทศ ชื่อฉลากหรือระบบ หน่วยงานกำกับดูแล และขอบเขตการรับรองผลิตภัณฑ์นาโน

ประเทศ	ชื่อฉลาก/ ระบบ	ประเภท ระบบ	หน่วยงาน กำกับดูแล	ขอบเขต การรับรอง	การยอมรับ	อ้างอิง
ไทย	NanoQ 	ฉลากและ การรับรอง	สมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	ผลิตภัณฑ์ผู้บริโภค สิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง ฯลฯ	ภายในประเทศ และอาเซียน	สมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2025)
ไต้หวัน	nanoMark 	ฉลากและ การรับรอง	TANIDA (Taiwan Nanotechnology Industry Development Association)	สิ่งทอ อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ภายในบ้าน	ส่งออกเทคโนโลยี และใช้ภายในประเทศ	TANIDA, Taiwan (2025)
มาเลเซีย	NanoVerify 	ฉลากและ การรับรอง	NanoVerify Bhd	สินค้านาโน เชิงพาณิชย์ทุกประเภท	ภายในประเทศ และต่างประเทศ	NanoVerify (2025)
อิหร่าน	NanoLabel	ฉลากและ การรับรอง	INIC (Iran Nanotech Innovation Council)	สารเคลือบ เครื่องสำอาง วัสดุก่อสร้าง ฯลฯ	ใช้งานจริงในตลาดส่งออกได้	INIC, Iran (2025)
ญี่ปุ่น	ไม่มีฉลาก (มีมาตรฐาน)	มาตรฐาน เท่านั้น	AIST, JIS	ความปลอดภัยวัสดุนาโน การวิเคราะห์ระดับนาโน	เทียบเคียง ISO/TC 229	AIST, Japan (2025)
เกาหลีใต้	ไม่มีฉลาก (มีมาตรฐาน)	มาตรฐาน เท่านั้น	KATS (Korean Agency for Technology and Standards)	การควบคุมและความปลอดภัยในอุตสาหกรรม	มาตรฐานสากล ISO	KATS, Korea (2025)
เวียดนาม	อยู่ระหว่างพัฒนา	กำลังพัฒนา	VAST (Vietnam Academy of Science and Technology), STAMEQ	พัฒนามาตรฐานและการรับรองภายในประเทศ	รองรับอาเซียนในอนาคต	VAST, Vietnam (2017)
ฟิลิปปินส์	อยู่ระหว่างพัฒนา	กำลังพัฒนา	DOST (Department of Science and Technology)	ความปลอดภัยในอาหาร ยา เครื่องใช้ทั่วไป	ใช้ภายในประเทศ เท่านั้น	DOST, Philippines (2025)
จีน	ไม่มีฉลาก (ใช้ GB/T)	มาตรฐาน เท่านั้น	CNIS, SAC, CAS	ใช้มาตรฐานภายในประเทศ เช่น GB/T 30544 เป็นต้น	เน้นควบคุมการผลิตและส่งออก	CNIS, China (2025)
สหภาพยุโรป	ไม่มีฉลาก (ใช้กฎหมาย)	กฎหมาย ควบคุม	คณะกรรมการยุโรป (European Commission)	หากมีสารนาโน ต้องระบุในฉลาก เช่น Titanium Dioxide (nano)	กำกับโดย REACH, CLP ฯลฯ	EU Commission (2025)
ออสเตรเลีย	ไม่มีฉลาก (ใช้กฎหมาย)	กฎหมาย ควบคุม	NICNAS (National Industrial Chemicals Notification)	ควบคุมการใช้สารนาโน ภายใต้กฎหมายสารเคมี	ใช้ภายในประเทศ	NICNAS, Australia (2010)

สำหรับกลุ่มสหภาพยุโรป ที่แม้จะยังไม่มีฉลากเฉพาะด้านนาโน แต่ก็มีกรอบควบคุมผ่านกฎหมายหรือมาตรฐานระดับประเทศที่เข้มงวด อาทิ Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH) ซึ่งเป็นกฎหมายของสหภาพยุโรปที่มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ ค.ศ. 2007 โดยกำกับดูแล สารเคมีทุกชนิด รวมถึงวัสดุนาโน หากผลิตหรือนำเข้ามาใน EU มากกว่า ๑ ตัน/ปี ผู้ผลิตต้องยื่นข้อมูลความปลอดภัย การประเมินความเสี่ยง และอาจต้องระบุคำว่า “nano” ในฉลากผลิตภัณฑ์ (หากมีส่วนผสมที่อยู่ในรูปแบบนาโน) หรือ National Recommended Standards of the People's Republic of China (GB/T) ซึ่งเป็นมาตรฐานแนะนำแห่งชาติของสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งพัฒนาโดย Standardization Administration of China (SAC) และหน่วยงานด้านวิทยาศาสตร์ เช่น Chinese Academy of Sciences (CAS) ทั้งนี้ ในกลุ่มนาโนมีมาตรฐานสำคัญหลายฉบับ เช่น GB/T 30544.1-2014: คำศัพท์ด้านนาโนเทคโนโลยี; GB/T 30544.2-2018: วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางนาโน; GB/T 21862.1-2019: การวัดขนาดอนุภาคนาโน มาตรฐานเหล่านี้มุ่งเน้นการวัด วิเคราะห์ และกำหนดคำจำกัดความของวัสดุนาโนเพื่อรองรับทั้งการผลิตภายในประเทศและการส่งออก การรับรองผลิตภัณฑ์นาโนนั้นสะท้อนถึงแนวทางที่หลากหลายในการบริหารจัดการความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์นาโนในบริบทของแต่ละประเทศ โดยมีเป้าหมายร่วมกัน คือ การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีอย่างปลอดภัย โปร่งใส และยั่งยืน

แนวทางพัฒนาฉลากนาโนของไทยในอนาคต

ประเทศไทยควรส่งเสริมให้ระบบฉลากนาโนเป็นที่ยอมรับในบรรดาผู้ประกอบการ SMEs ได้มากขึ้นโดยใช้มาตรการจูงใจ เช่น การลดค่าใช้จ่ายในการขอรับรอง การส่งเสริมการรับรู้ของผู้บริโภคผ่านสื่อ และการเชื่อมโยงกับระบบมาตรฐานสากล เช่น ISO/TC 229 รวมทั้งควรพัฒนาแพลตฟอร์มฐานข้อมูลเปิดให้สามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองได้แบบ real-time ผลักดันให้ฉลากนาโนมีสถานะเทียบเท่ามาตรฐานอุตสาหกรรม และการประสานมาตรฐาน (harmonization) ของระบบฉลากนาโนของไทยเพื่อยกระดับความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์นาโนไทยสู่ตลาดโลก

บทสรุป

ฉลากนาโน “นาโนคิว (NanoQ)” ถือเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์นาโนของไทย สร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค และเสริมความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไทยในระดับโลก อย่างไรก็ตาม การพัฒนาอย่างต่อเนื่องและการสร้างระบบนิเวศที่เอื้ออำนวยจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบนี้สามารถเติบโตได้อย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม

สมาคมนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (๒๕๖๘). ฉลากนาโน (NanoQ). <https://nanoassociation.or.th/nano/category/event/nanoq/>

China National Institute of Standardization (CNIS). (2025). GB/T Nanotechnology Standards in China. <https://www.ChineseStandard.net>

- European Observatory for Nanomaterials. (2025). Nanomaterials in the EU: Regulatory Framework. สืบค้นจาก: <https://euon.echa.europa.eu/regulation>
- Industrial Technology Development Institute–Department of Science and Technology (Philippines). (2025). Nanotechnology Program. สืบค้นจาก: <https://www.itdi.dost.gov.ph/index.php/what-we-do/research-and-development/nanotechnology>
- Iran Nanotechnology Innovation Council (INIC). (2025). Iran’s Nano-product Certification Unit. <https://statnano.com/news/69434/Development-and-Commercialization-of-More-Than-700-Nano-Products-Made-in-Iran>
- International Standard Organization (ISO). (2025). ISO/TC 229: Nanotechnologies. <https://www.iso.org/committee/381983.html>
- Korean Agency for Technology and Standards. (2025). Plan for safety management of nanotechnology based products. <https://www.kats.go.kr/en/content.do?cmsid=400&mode=view&page=7&cid=15417>
- NanoMalaysia Berhad. (2025). Nanoverify. <https://nanoverify.com.my/>
- NICNAS – National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (Australia). (2010). Assessment of Industrial Nanomaterials. <https://www.nanowerk.com/news/newsid=18528.php>
- Taiwan Nanotechnology Industry Development Association (TANIDA). (2025). NanoMark. http://www.tanida.org.tw/nanomark_e.php?mn=nanomark_e&nm=markIntroduction_e
- The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). (2025). Nano safety. <https://riss.aist.go.jp/nanosafety/>
- Vietnam Academy of Science and Technology. (2017). Current status of nanotechnology development in Vietnam. https://apcctt.org/sites/default/files/2020-07/Nanotech_Dr_Tran_Dai_Lam_0.pdf?utm_source=chatgpt.com

เห็บ (Tick)

ธีรภาพ เจริญวิริยะภาพ^๑, มานพ แซ่ฮึง^๒ และ สนธยา เตียวศิริทรัพย์^๓

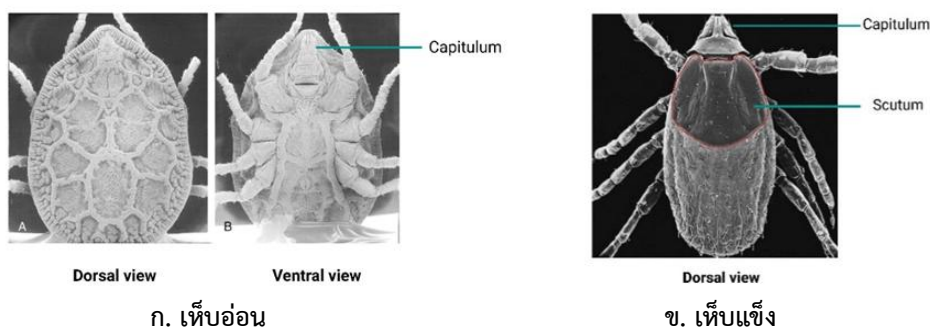
^๑ ภาควิชาชีววิทยา สาขาวิชาชีววิทยา ประเพณีวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรและสัตวแพทยศาสตร์
สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, faasthc@ku.ac.th

^๒ ภาควิชาชีววิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^๓ หน่วยปรสิตวิทยา ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะทั่วไปของเห็บ

เห็บเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จัดเป็นสัตว์ขาข้อใน Subclass Acari ไม่มีปีก ไม่มีหนวด ลักษณะกลมคล้ายรูปไข่ ลำตัวแบน แบ่งเป็น ๒ ส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนท้อง ส่วนหัวทางปลายสุดประกอบด้วย hypostome ๑ ชิ้น chelicerae ๑ คู่ และ palpi ๑ คู่ เรียกรวมว่า capitulum โดยที่ chelicerae สั้นและอาจเห็นไม่ชัด มีท่อช่วยในการหายใจข้างลำตัวเรียกว่า “spiracle” เห็บแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ เห็บอ่อน (soft tick) และเห็บแข็ง (hard tick) (ภาพที่ ๑) เห็บอ่อนพบมากในเขตอบอุ่น ส่วนใหญ่กินเลือดนกและค้างคาวเป็นอาหาร ส่วนเห็บแข็งพบได้ทั่วไปทั้งในเขตหนาวและเขตร้อน แต่พบมากในเขตร้อนชื้น มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับสัตว์บกทั่วไป ซึ่งรวมทั้งนก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เห็บเป็นปรสิตของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังทั่วไป โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสามารถพิเศษในการผลิตกลิ่นตัวและความร้อนจากร่างกายได้มากกว่าสัตว์ชนิดอื่น กลิ่นตัวและความร้อนจากร่างกายสามารถดึงดูดเห็บได้เป็นอย่างดี เห็บทั้งเพศผู้และเพศเมียดูดเลือดเป็นอาหาร จากการศึกษาพบว่า เห็บบางชนิดดูดกินเลือดสัตว์ปีกโดยเฉพาะเป็ดและไก่ ทำให้สัตว์ปีกเหล่านี้มีผลผลิตที่ต่ำกว่าปกติเป็นอย่างมาก



ภาพที่ ๑ ความแตกต่างระหว่างเห็บอ่อน (soft tick) (ก) กับเห็บแข็ง (hard tick) (ข) ภาพจาก Dorsal view (ที่มา : McClland 1990)

เห็บแข็งเกาะติดกับตัวให้อาศัย (host) และดูดกินเลือดตัวให้อาศัยเป็นเวลานาน ขณะที่เห็บอ่อนดูดเลือดตัวให้อาศัยเป็นระยะ ๆ โดยเฉพาะในเวลากลางวัน

ตารางที่ ๑ ความแตกต่างระหว่างเห็บแฉ่งกับเห็บอ่อน

	เห็บแฉ่ง (Ixodid tick)	เห็บอ่อน (Argasid tick)
ตำแหน่งปาก (mouthpart position)	อยู่บริเวณด้านหน้าของลำตัว สามารถมองเห็นได้จากด้านบน	อยู่บริเวณด้านล่างของลำตัวส่วนท้อง ไม่สามารถมองเห็นจากด้านบน
แผ่นหลัง (scutum)	อยู่ด้านบนของลำตัว ลำตัวมีลักษณะเรียบ (เพศผู้มีแผ่นหลังครอบคลุมทั้งหมดของลำตัว ส่วนเพศเมียแผ่นหลังครอบคลุมครึ่งหนึ่งของลำตัว)	ด้านบนของลำตัวไม่มีแผ่นหลัง (scutum) มีผิวขรุขระบนลำตัว มีตุ่มเล็ก ๆ
รยางค์ปาก (pedipalps)	แข็ง	ยาว ยืดหยุ่นได้
ตา (eyes)	อยู่บริเวณด้านหลังตรงตำแหน่งด้านข้างของแผ่นหลัง	หากมี จะอยู่บริเวณด้านข้างของลำตัว
ขา (legs)	บริเวณโคนขา (coxae) และปลายขา (tarsal) มีขนแข็งหรือเดือย (spur)	บริเวณโคนขา (coxae) และปลายขา (tarsal) ไม่มีขนแข็งหรือเดือย (spur)
อายุขัย (life span)	ตัวอ่อน (larvae), ตัวกลางวัย (nymphs - ๑ ระยะ), ตัวเต็มวัย (adults) (เมียวางไข่จำนวนมากครั้งเดียวแล้วตาย)	ตัวอ่อน (larvae), ตัวกลางวัย (nymphs), ตัวเต็มวัย (adults) (เมียวางไข่ได้หลายครั้ง)
เล็บ (pulvilli)	มี สามารถคลานบนพื้นผิวเรียบได้	ไม่มี ปีนป่ายได้ไม่ดี
การกินอาหาร (feeding)	ดูดเลือดช้า ๆ ใช้เวลานาน	ดูดเลือดเร็ว
ระยะกลางวัย (nymph)	มีระยะตัวกลางวัย ๑ ระยะ	มีระยะตัวกลางวัยหลายระยะ
การผสมพันธุ์ (mating)	บนตัวให้อาศัย	นอกตัวให้อาศัย
ไข่ (eggs)	ดูดเลือดเพียงครั้งเดียว วางไข่เพียงชุดเดียว	ดูดเลือดหลายครั้ง
ช่วงชีวิต (survive)	สั้น	ยาว (หลายปี)
coxal gland	ไม่มีรายงาน	ขับของเสียออกจากร่างกายหลังการกินอาหาร
ตัวให้อาศัย (hosts)	มีแนวโน้มใช้ชีวิตอยู่กับตัวให้อาศัยตัวเดียว	ปรสิตตามรัง/ที่อยู่อาศัยของตัวให้อาศัย
พฤติกรรม (behavior)	ส่วนใหญ่เป็นปรสิต (ตัวเบียน) ที่ออกหาเหยื่อ/ตามพื้นที่ เกาะติดกับตัวให้อาศัยเป็นเวลาหลายวันถึงหลายสัปดาห์ จากนั้นก็หลุดร่วงลงพื้นและลอกคราบ	เป็นปรสิตตามรังนอนของตัวให้อาศัย

วงจรชีวิต

การเจริญเติบโตของเห็บแบ่งออกเป็น ๔ ระยะ คือ ระยะไข่ (egg) ระยะตัวอ่อน (larva) ระยะตัวกลางวัย (nymph) และระยะตัวเต็มวัย (adult) การเจริญเติบโตของเห็บบางชนิดใช้เวลา ๖ สัปดาห์ แต่เห็บบางชนิดใช้เวลานานถึง ๓ ปี เห็บที่เพิ่งออกจากไข่มีขา ๓ คู่ ต่อมาเมื่อเป็นเห็บในระยะตัวกลางวัยและระยะตัวเต็มวัยมีขา ๔ คู่

ระยะไข่ วางไข่บนดิน ตามซอกของบ้านคนหรือตามรังนกและที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น เือบแข็งเพศเมียมักวางไข่ครั้งละหลาย ๆ พันฟองเพียงครั้งเดียวแล้วตาย ส่วนเือบอ่อนวางไข่หลายครั้ง และไม่มาก การฟักของไข่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่สภาพแวดล้อม อาจนาน ๒ สัปดาห์ถึงหลายเดือน

ระยะตัวอ่อน มีขา ๓ คู่ ตัวอ่อนของเือบบางชนิดอาศัยอยู่ตามทุ่งหญ้าดูดกินเลือดตัวให้อาศัยที่ผ่านไปมาเป็นอาหาร โดยทั่วไปตัวให้อาศัยมักเป็นพวกหนูหรือนก หลังจากที่ตัวอ่อนเกาะบนตัวให้อาศัยแล้ว จะใช้ปากแทงเข้าไปในผิวหนังของตัวให้อาศัยและดูดเลือดจนอิ่ม โดยใช้เวลาประมาณ ๒-๓ วัน หลังจากนั้นก็จะทิ้งตัวลงบนพื้นดินและลอกคราบกลายเป็นระยะตัวกลางวัยที่มีขา ๔ คู่ เือบบางชนิดเกาะติดกับตัวให้อาศัยชนิดเดียวต่อไปจนครบวงจรชีวิตระยะต่าง ๆ เช่น *Rhipicephalus microplus* หรือเือบวัว เราเรียกเือบพวกนี้ว่า “one-host tick”

ระยะตัวกลางวัย มีขา ๔ คู่ แตกต่างกับตัวเต็มวัยที่ระบบสืบพันธุ์ไม่มี genital opening มีพฤติกรรมคล้ายกับระยะตัวอ่อน ดูดกินเลือดตัวให้อาศัยและผล่อออกจากตัวให้อาศัยเพื่อลอกคราบเป็นตัวเต็มวัย

ระยะตัวเต็มวัย ระยะนี้มีขา ๔ คู่ แต่ละขามี ๕ ปล้อง ได้แก่ coxa, trochanter, femur, tibia และ tarsus ในระยะนี้ genital pore ของเพศผู้และเพศเมียตั้งอยู่ด้านหลัง basis capituli ส่วน spiracle ของเือบแข็งอยู่ที่ด้านข้างของขาคู่ที่ ๔ แต่ในเือบอ่อน spiracle พบที่ด้านข้างของลำตัวระหว่าง coxa ที่ ๓ กับ ๔

อันตรายที่เือบมีต่อมนุษย์

เือบจัดเป็นปรสิตภายนอก (Ectoparasite) ที่สร้างความเสียหายให้แก่มนุษย์และสัตว์เลี้ยงจำนวนมาก tick paralysis ซึ่งอาจพบที่แอฟริกาทางตอนใต้ ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ ยังมีโรคอีกหลายชนิดที่นำโดยเือบ เช่น Rocky Mountain Spotted Fever, Soa Paula Fever, Relapsing Fever (ตารางที่ ๒) เือบอาจทำให้มนุษย์ขลาดกลัว (Entomophobia) เมื่อมีแผลจากการถูกเือบกัด (physical damage) มีอาการแพ้ (allergy) สูญเสียเลือด (exsanguination) เพราะเือบเป็นพาหะนำโรค (transmit diseases)

พาหะนำโรค

เือบสามารถเป็นพาหะนำโรคได้หลายชนิด เือบแข็งสกุลที่มีความสำคัญทางการแพทย์และสัตวแพทย์ ได้แก่ สกุล *Rhipicephalus*, *Haemaphysalis*, *Dermacentor*, *Ixodes*, *Amblyomma* และ *Hyalomma* เือบอ่อนที่มีความสำคัญทางการแพทย์และสัตวแพทย์อยู่ในสกุล *Argas*, *Ornithodoros* และ *Otobius* โรคที่มีเือบเป็นพาหะมีตัวอย่างเช่น Lyme disease, Rocky Mountain Spotted Fever, Soa Paula Fever และ Relapsing Fever

ตารางที่ ๒ โรคสำคัญที่มีเห็บเป็นพาหะ

โรค	เชื้อสาเหตุ	เห็บพาหะหลัก	ประเภทเห็บ	รายงานผู้ป่วยในประเทศไทย
Lyme disease	<i>Borrelia burgdorferi</i>	<i>Ixodes scapularis</i> <i>Ixodes ricinus</i> <i>Ixodes persulcatus</i>	เห็บแข็ง	ไม่พบ
Anaplasmosis	<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	<i>Ixodes scapularis</i> <i>Ixodes ricinus</i>	เห็บแข็ง	ไม่พบ
Ehrlichiosis	<i>Ehrlichia chaffeensis</i>	<i>Amblyomma americanum</i>	เห็บแข็ง	พบ
Powassan virus disease	<i>Powassan virus</i>	<i>Ixodes scapularis</i> <i>Ixodes cookei</i>	เห็บแข็ง	ไม่พบ
Borrelia miyamotoi disease	<i>Borrelia miyamotoi</i>	<i>Ixodes scapularis</i> <i>Ixodes persulcatus</i>	เห็บแข็ง	พบ
Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome (SFTS)	SFTS virus (หรือ <i>Huaiyangshan banyangvirus</i>)	<i>Haemaphysalis longicornis</i>	เห็บแข็ง	พบ
Rocky Mountain Spotted Fever	<i>Rickettsia rickettsii</i>	<i>Dermacentor variabilis</i> <i>Dermacentor andersoni</i> <i>Rhipicephalus sanguineus</i>	เห็บแข็ง	ไม่พบ
Spotted Fever Group (SFG) Rickettsioses	<i>Rickettsia honei</i>	<i>Ixodes granulatus</i>	เห็บแข็ง	พบ
Tick-borne encephalitis (TBE)	Tick-borne encephalitis virus (TBEV)	<i>Ixodes persulcatus</i> <i>Ixodes ricinus</i>	เห็บแข็ง	ไม่พบ
Q-fever	<i>Coxiella burnetii</i>	หลายชนิด เช่น <i>Rhipicephalus</i> spp. <i>Dermacentor</i> spp.	เห็บแข็ง	พบ
Tularemia	<i>Francisella tularensis</i>	<i>Dermacentor variabilis</i> <i>Dermacentor andersoni</i> <i>Amblyomma americanum</i>	เห็บแข็ง	พบ
Relapsing Fever	<i>Borrelia duttonii</i> <i>Borrelia recurrentis</i> (บางพื้นที่)	<i>Ornithodoros moubata</i>	เห็บอ่อน	ไม่พบ

บทสรุป

เห็บเป็นสัตว์ขาข้อ มีความสำคัญทางการแพทย์และสัตวแพทย์ จัดเป็นปรสิตภายนอกและพาหะนำโรคของคนและสัตว์เลี้ยงต่าง ๆ โดยทั่วไปเห็บมีขนาดใหญ่กว่าไร ลำตัวค่อนข้างแข็ง pedipalps มีปล้อง และ hypostome ยื่นออกมาชัดเจน เห็บเป็นสัตว์ที่มีข้อปล้อง พบเห็บได้ทั่วไปทั้งในเขตหนาวและเขตร้อน แต่พบมากในเขตร้อนชื้น เห็บแบ่งออกเป็น ๒ กลุ่ม คือ เห็บอ่อนและเห็บแข็ง การเจริญเติบโตของเห็บแบ่งออกเป็น ๔ ระยะ คือ ไข่ ตัวอ่อน ตัวกลางวัย และตัวเต็มวัย เห็บบางชนิดมีอายุนานถึง ๓ ปี เห็บสามารถเป็นพาหะนำโรคได้หลายชนิด เช่น Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome, Lyme disease, Rocky Mountain Spotted Fever, Soa Paula Fever และ Relapsing Fever

บรรณานุกรม

- Arlian, L. G., Bernstein, I. L., Johnson, C. L., & Gallagher, J. S. (1979). Ecology of house dust mites and dust allergy. In *Recent Advances in Acarology*. Vol.2. Edited by J.G. Rodriguez. New York. Academic Press, 185–195.
- ARSAP/CIRAD Regional Agro-Pesticide Index. (1991). Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Bangkok.
- Fain A. (1978). Epidemiological problems of scabies. *Dermatology*, 17: 20–30.
- Harwood, R. M., & James, M. T. (1979). Entomology in Human and Animals Health. 7th Edition. Mac Millan Publishing Co., Inc., New York, 1979: 548.
- McClelland, G. A. H. (1990). Medical Entomology: An Ecological Perspective. 11th edition. University of California, Davis.
- Roberts, D. R. (1994). Lecture to Vector Biology Class. *Uniformed Services University of the Health Sciences*, Bethesda, Maryland. 30 pp.
- Spielman, A., Clifford, C. M., Piesman, J., & Corwin, M. D. (1979). Human babesiosis on Nantucket Island, USA: Description of the vector, *Ixodes dammini* n. sp. (Acarina: Ixodidae). *J. Med. Entomol*, 15: 218–234.
- Traub, R., & Wisseman, C. L. (1974). The ecology of chigger-borne rickettsiosis (scrub typhus). *J. Med. Entomol*, 11: 237–303.
- Vercammen-Grandjean, P. H. (1968). The Chigger Mites of the Far East (Acarina: Trombiculidae and Leeuwenhoekiidae). An Illustrated Key and a Synopsis; Some New Tribes, Genera and Subgenera. Washington, D.C., U.S. Army Med. Res. & Develop. Command.



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา จัดทำโดยสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา เพื่อเป็นสื่อกลางในการให้ข้อมูลและความรู้กับผู้อ่านที่เป็นประชาชนทั่วไปที่สนใจการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี แพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์ อันเป็นพื้นฐานองค์ความรู้และการพัฒนาการด้านการผลิตที่เปลี่ยนแปลงโลก ทั้งนี้ เน้นการนำเสนอเนื้อหาแบบไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย และทันเหตุการณ์ ในรูปแบบบทความปริทัศน์ฉบับย่อ จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ไม่ตีพิมพ์บทความวิจัย และไม่รับบทความจากบุคคลภายนอกราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา จัดพิมพ์ในรูปแบบดิจิทัล และปรากฏบนเว็บไซต์ <https://www.orst.go.th> และ <https://science.royalsociety.go.th> กำหนดออกเผยแพร่ปีละ ๔ ฉบับ คือ (๑) มกราคม-มีนาคม (๒) เมษายน-มิถุนายน (๓) กรกฎาคม-กันยายน และ (๔) ตุลาคม-ธันวาคม ผู้อ่านสามารถอ่านจุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ได้โดยไม่ต้องสมัครเป็นสมาชิก และสามารถนำเนื้อหาในบทความที่ตีพิมพ์อยู่ในจุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ไปอ้างอิงได้ตามหลักวิชาการ



ราชบัณฑิตยสภา The Royal Society of Thailand

ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ ๘๐ พรรษา (อาคารซี)
๑๒๐ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง
เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ๑๐๒๑๐
โทร. ๐ ๒๑๔๑ ๑๗๑๘

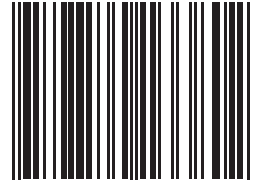
<https://www.orst.go.th>



<https://science.royalsociety.go.th>



ISSN 2774-1338



9 772774 133802