

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 ภาควิชาเทคโนโลยี 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 แต่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตและการบริโภคซ้ำใหม่ได้ (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 ฟางข้าว 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 ขณะที่แก๊ซิฟิเคชัน (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