

แนวทางการจัดการขยะของชุมชนโดยใช้หลักเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน*
COMMUNITY WASTE MANAGEMENT GUIDELINES USING
THE CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLE

จันทร์เพ็ญ นวนบาง, Janpen Nuanbang

ทัตดาว พันธุ์เขียน, Tuddaow Pankien

นัยนา ชุ่มใจ, Naiyana Chumjai

พัชรารภรณ์ บุญขำ, Patcharaporn Bunkham

กัมปนาท วงษ์วัฒนพงษ์, Kampanart Wongwatthanaphong

สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์และการพัฒนาท้องถิ่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Department of Public Administration Faculty of Social Sciences and

Local Development Pibulsongkram Rajabhat University

E-mail : nampat2009@hotmail.com



บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกเป็นขยะปิโตรเลียมที่เกิดจากทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมที่ถูกต้องอยู่เป็นจำนวนมาก โดยขยะเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและเป็นภาระในการกำจัด บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการขยะของชุมชนโดยใช้หลักเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน ซึ่งค้นพบว่า ชุมชนมีกระบวนการ วิธีการในการจัดการขยะมูลที่ให้ความสำคัญกับทรัพยากรที่มีอยู่ด้วยกระบวนการที่ว่า “คิดก่อนใช้ ใช้แล้วใช้อีก นำกลับมาใช้ใหม่” ซึ่งก็เป็นหลักการของ 3Rs ซึ่งกระบวนการนี้มีขยะพลาสติกซึ่งมีเพียงน้อยมากที่ถูกนำกลับมาใช้อีกในลักษณะต่างๆ การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน ด้วยความร้อนปานกลางในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งการนำขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนจะช่วยลดปัญหาได้หลายด้าน และยังเป็นวัตถุดิบพลังงานทดแทนช่วยลดปัญหาวิกฤติพลังงานได้อีกด้วย

คำสำคัญ : แนวทางการจัดการ, ขยะของชุมชน, หลักเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน

* Received 7 October 2024; Revised 29 December 2024; Accepted 30 December 2024

Abstract

Plastic waste is petroleum waste from both households and industries that is discarded in large quantities. This waste cannot naturally decompose and is a burden for disposal. This academic paper aims to study the community's waste management approach using the circular economy principle, which found that the community has a process and method for waste management that prioritizes existing resources with the process of 'think before using, use again, reuse', which is the principle of the 3Rs. This process has very little plastic waste reused in various ways. The transformation of plastic waste into energy by the pyrolysis process is converting plastic waste into oil with moderate heat in atmosphere without oxygen or with very little oxygen. The transformation of plastic waste into renewable energy can help reduce problems in many aspects and is also a renewable energy raw material, leading to energy crisis reduction.

Keywords : Management approach, Community waste, Circular economy principle

บทนำ

ปัญหาขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายทวีความรุนแรงมากขึ้นตลอดทุกปีเป็นผลเนื่องมาจากขาดการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนตามมา นอกจากนี้ประชาชนยังขาดองค์ความรู้และจิตสำนึกเกี่ยวกับปัญหาและการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายจึงไม่ให้ความสำคัญที่จะลดและคัดแยกขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทางหรือแหล่งกำเนิด ปริมาณขยะมูลฝอยจึงเพิ่มมากขึ้นทุกปี ดังนั้นรัฐบาลจึงได้กำหนดการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยถูกกำหนดเป็นวาระแห่งชาติ โดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้จัดทำ Roadmap การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายของประเทศ ซึ่งได้บูรณาการแผนบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559-2564) โดยใช้เป็นแนวทางการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยที่เป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน ภายใต้มาตรการลดการเกิดขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายที่แหล่งกำเนิด

มาตรการเพิ่มศักยภาพการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2559, น.1) และในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (2565-2570) ได้กำหนดยุทธศาสตร์เกี่ยวกับการจัดการขยะไว้ในหมวดหมายที่ 10 ไทยมีเศรษฐกิจหมุนเวียนและสังคมคาร์บอนต่ำ เป้าหมายที่ 3 การสร้างสังคมคาร์บอนต่ำและยั่งยืน ซึ่งมี 3 ตัวชี้วัด คือ ตัวชี้วัดที่ 3.1 สัดส่วนของการใช้พลังงานทดแทนต่อปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้น มีสัดส่วนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 24 ภายในปี 2570 ตัวชี้วัดที่ 3.2 การนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ของประเทศ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ของปริมาณขยะที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ภายในปี 2570 ตัวชี้วัดที่ 3.3 ปริมาณขยะต่อหัวในปี 2570 ลดลงจากปี 2560 ร้อยละ 10 (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2566, น.105-112)

สถานการณ์ในปี 2566 ปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น 26.95 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ 9.31 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดถูกต้อง 10.17 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดไม่ถูกต้อง 7.47 ล้านตัน และปริมาณขยะมูลฝอยตกค้าง 27.62 ล้านตัน และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบขยะโดยทั่วไปแล้วจะมีขยะพลาสติกมีประมาณ 1.2 ล้านตัน/ปี ซึ่งกระจายทั่วประเทศเป็น “ภูเขาขยะ” ราว 2,000 กอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) ซึ่งขยะพลาสติกเหล่านี้ ยังมีประโยชน์และสามารถนำมาแปรได้ด้วยกระบวนการ “ไพโรไลซิส” ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันได้ ซึ่งน้ำมันที่ได้จากการแปรรูปขยะพลาสติกสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาและดีเซลรอบต่ำได้ ในขณะที่สถานการณ์พลังงานมีแนวโน้มความต้องการใช้สูงขึ้น แต่พลังงานที่ได้จากฟอสซิลมีจำกัด ซึ่งกระทรวงพลังงานมีหน้าที่ต้องจัดหาพลังงานให้เพียงพอและมีความมั่นคง ดังนั้นการนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อทดแทนน้ำมันเตาและดีเซลรอบต่ำจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่กระทรวงพลังงานสนับสนุนโดยได้วางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ ที่ให้ความสำคัญใน 3 ด้าน ประกอบด้วย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563, น.1) คือ 1) ด้านความมั่นคงทางพลังงาน (Security) ในการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการพลังงานที่สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราการเพิ่มของประชากร และอัตราการขยายตัวของเขตเมือง รวมถึงการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสม 2) ด้านเศรษฐกิจ (Economy) ที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนพลังงานที่มีความเหมาะสมและไม่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศในระยะยาว การปฏิรูปโครงสร้างราคาเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับต้นทุน และให้มีภาวະภำพที่เหมำะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศไม่ให้เกิดการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย รวมถึงส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อม (Ecology) เพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานหมุนเวียน

ภายในประเทศ และการผลิตพลังงานด้วยเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน

ในแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 พ.ศ. (2566-2570) มีเป้าหมายที่ 1 ลดพลาสติกเป้าหมายที่จะเข้าสู่ระบบฝังกลบลดลง 100% ในปี พ.ศ. 2570 เป้าหมายที่ 2 เพิ่มพลาสติกเป้าหมายให้เข้าสู่ระบบรีไซเคิล 100% ในปี พ.ศ. 2570 เป้าหมายที่ 3 ลดขยะพลาสติกที่มีโอกาสหลุดรอดลงสู่ทะเลลง 50% ในปี พ.ศ. 2570 (กรมควบคุมมลพิษ, 2566, น.32-33) ดังนั้น การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการไพโรไลซิส สามารถตอบโจทย์เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งเป็นการดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 1 พ.ศ. (2563-2565) และแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ในระยะที่ 2 พ.ศ. (2566-2570) เพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงานในการป้องกันและแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้องเร่งดำเนินการภายใต้ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573

การจัดการปัญหาขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยเป็นสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (Solid Waste) มีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจ เนื่องจากความสกปรกเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดมลพิษและทัศนียภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559, น.7) ขยะมูลฝอยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ 1) มูลฝอยอินทรีย์ เป็นสิ่งที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้ หญ้า ใบไม้ กิ่งไม้ ซากพืช ซากสัตว์ เป็นต้น 2) มูลฝอยรีไซเคิล เป็นสิ่งที่ยังมีประโยชน์สามารถนำไปแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ เช่น กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ก่อสร้างเครื่องตีแบบ UHT กระจก และแผ่นซีดี เป็นต้น 3) มูลฝอยอันตราย เป็นสิ่งที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตราย วัตถุมีพิษ วัตถุกัดกร่อน วัตถุติดเชื้อและวัตถุไวไฟ เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขวดน้ำยาล้างห้องน้ำและกระป๋องสเปรย์ เป็นต้น และ 4) มูลฝอยทั่วไป หมายถึง สิ่งอื่น ๆ นอกเหนือจากข้างต้น อาจนำมาใช้ใหม่ได้ แต่ย่อยสลายยาก ไม่คุ้มค่าในการแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ เช่น เศษผ้า เศษหนัง ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พลาสติกห่อขนม เป็นต้น (ธัญรัตน์ ไตรพันธ์รัชตะ และคณะ, 2565, น.24-25)

ในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยให้มีประสิทธิภาพและเกิดการบูรณาการนั้น จะมุ่งเน้นให้มีการนำขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องนำไปบำบัดและกำจัดให้น้อยที่สุด พร้อมทั้งให้มีศูนย์จัดการขยะมูลฝอย (รวมถึง

ของเสียอันตรายจากชุมชนและมูลฝอยติดเชื้อ) โดยมุ่งเน้นการรวมกลุ่มขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (Cluster) และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมหรือเทคโนโลยีที่เป็นทางเลือกมาตรฐานในการสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่เน้นการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานโดยคำนึงถึงปริมาณขยะมูลฝอย และขนาดของกลุ่มพื้นที่ เพื่อส่งเสริมธุรกิจรีไซเคิลหรือการแปรรูปใช้ใหม่ และสร้างจิตสำนึกการคัดแยกขยะมูลฝอย โดยมีแนวทางการดำเนินงาน ดังนี้ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง, 2564, น.11-14)

1. กำหนดให้ทุกครัวเรือนมีการคัดแยกขยะมูลฝอย ได้แก่ ขยะรีไซเคิล ขยะมูลฝอยอินทรีย์ ของเสียอันตรายจากชุมชน และขยะอื่นๆ โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจัดให้มีระบบคัดแยกและรวบรวมขยะมูลฝอยแบบแยกประเภท และสนับสนุนให้ทุกชุมชนมีการใช้สินค้าที่มีส่วนประกอบจากวัสดุรีไซเคิลและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยส่วนราชการและหน่วยงานของรัฐจะเป็นหน่วยงานตัวอย่าง

2. ส่งเสริมและสนับสนุนให้มีธุรกิจรับซื้อขยะรีไซเคิลที่คัดแยกจากแต่ละครัวเรือน และส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูปกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

3. ส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการนำขยะมูลฝอยอินทรีย์ไปทำปุ๋ย หรือนำไปแปรรูปเป็นพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยหน่วยงานของรัฐสนับสนุนการนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากขยะมูลฝอยไปใช้

4. สนับสนุนให้มีการนำขยะมูลฝอยที่เหลือจากการคัดแยกจากการนำไปใช้ประโยชน์แล้ว นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในระบบบำบัดและกำจัดขยะมูลฝอยหรือระบบสาธารณูปโภคอื่น ๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบหรือส่งขายให้กับการไฟฟ้าต่อไป

5. จัดให้มีระบบการเก็บรวบรวมของเสียอันตรายจากชุมชนที่คัดแยกได้จากแต่ละครัวเรือน และนำไปบำบัดและกำจัดอย่างถูกต้องยังสถานที่กำจัดที่มีอยู่แล้วหรือสร้างขึ้นใหม่หรือส่งกำจัดกับเอกชน

6. สนับสนุนให้มีการรวมกลุ่มขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (Cluster) เพื่อสร้างศูนย์จัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสานโดยเน้นการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยและการผลิตพลังงานทดแทนหรือเทคโนโลยีอื่นที่เหมาะสม ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ในเขตการปกครองเดียวกัน โดยพิจารณาจากปริมาณ ขยะมูลฝอย ระยะทางการขนส่งและเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งในระยะแรกอาจให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่ได้รับการออกแบบและก่อสร้างตามหลักวิชาการอยู่แล้วดำเนินการปรับปรุงระบบฯ ให้สามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับปริมาณขยะมูลฝอยจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นใกล้เคียงได้เพิ่มขึ้น

7. ให้มีการจัดหา วิจัย พัฒนา เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุดที่เหมาะสมกับปริมาณและลักษณะมูลฝอย การลงทุน การดำเนินการ

และบำรุงรักษาความคุ้มค่าในการผลิตพลังงาน และความสามารถในการบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำหรับแต่ละกลุ่มพื้นที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

8. ให้มีการออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ ข้อบัญญัติเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายจากชุมชนและมูลฝอยติดเชื้อ

คณะผู้เขียนเห็นว่า ในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยหน่วยงานต่าง ๆ ได้ให้ความสำคัญกับกระบวนการ วิธีการในการดำเนินการเพื่อควบคุมปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจนถึงการกำจัดหรือทำลายอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงผลประโยชน์สูงสุดในทางสุขภาพอนามัย ซึ่งในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนส่วนใหญ่ได้ดำเนินการตามหลักการ 3 ประการ คือ 1) การลดการใช้ (Reduce) การลดการทำให้เกิดขยะ ลดขนาด ลดปริมาตร ลดจำนวนของวัสดุ สินค้า หรือผลิตภัณฑ์ที่จะกลายเป็นขยะมูลฝอยหลังจากการใช้แล้วใช้น้อยหรือลดการใช้วัสดุสิ่งของที่ไม่จำเป็นหรือฟุ่มเฟือย เลือกใช้สินค้าชนิดเติม เลือกใช้สินค้าผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพอายุการใช้งานยาวนาน การใช้ภาชนะแทนบรรจุภัณฑ์ พิจารณาเลือกซื้อสินค้าที่เรามักใช้ประจำในปริมาณมาก แทนการซื้อปริมาณน้อยหลายครั้ง ซึ่งจะช่วยลดบรรจุภัณฑ์ต่อหน่วยสินค้า 2) การใช้ซ้ำ (Reuse) การลดการเกิดขยะโดยการนำสิ่งของที่ใช้แล้วยังมีสภาพใช้งานได้กลับมาใช้อีกครั้ง อาจนำกลับมาใช้ได้เลย หรือมีการดัดแปลงกลับมาใช้ใหม่ หรือซ่อมแซมเพื่อใช้ประโยชน์อีกครั้ง เช่น การนำบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้อื่นๆกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น การใช้ซ้ำถุงพลาสติก ถุงผ้า ถุงกระดาษ และกล่องกระดาษ การใช้ซ้ำขวดน้ำดื่ม เยือก ขวดน้ำหวาน กล่องใส่ขนม การนำสิ่งของมาดัดแปลงให้ใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น การนำยางรถยนต์มาทำเก้าอี้ การนำขวดแก้วมาดัดแปลงเป็นแจกัน การนำขวดน้ำพลาสติกมาทำโคมไฟ การนำเสื้อผ้าเก่าที่ยังอยู่ในสภาพดีมาใส่เล่นหรือใส่นอนอยู่บ้านหรือนำไปบริจาค แทนการทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์หรือเป็นขยะ เป็นต้น เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าก่อนที่จะกลายเป็นขยะมูลฝอย และ 3) การแปรรูปนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การแปรเปลี่ยนมูลฝอยที่ได้ทำการคัดแยกแล้วไปผ่านกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งแล้วเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น คัดแยกขยะมูลฝอยที่สามารถนำไปแปรรูปได้แต่ละประเภท ได้แก่ แก้ว กระดาษ พลาสติก โลหะ/อโลหะ เพื่อนำขยะไปขายหรือบริจาค หรือนำเข้าธนาคารขยะ หรือกิจกรรมแลกไข่ เพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต่อไป การนำขยะอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร เศษพืช ผักผลไม้ที่เหลือจากการประกอบอาหาร หรือจากการรับประทาน เศษใบไม้ เศษหญ้า มูลสัตว์ ไปทำปุ๋ยหมักหรือก๊าซชีวภาพ หรือผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน เป็นต้น

หลักเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ระบบอุตสาหกรรมที่วางแผนและออกแบบมาเพื่อคืนสภาพหรือให้ชีวิตใหม่แก่วัสดุต่าง ๆ ในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ แทนที่จะทิ้งไปเป็นขยะเมื่อสิ้นสุดการบริโภค โดยจะนำวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมาสร้างคุณค่าใหม่ หมุนเวียนเป็นวงจรต่อเนื่อง โดยไม่มีของเสีย นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสร้างความสมดุลในการตั้งทรัพยากรธรรมชาติมาใช้งานใหม่ ควบคู่ไปกับการสร้างระบบและการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดผลกระทบ ภายนอกเชิงลบ เราจึงมักเห็นเศรษฐกิจหมุนเวียนใช้พลังงานทดแทน หรือการจัดการใช้เคมีภัณฑ์ที่เป็นพิษ ซึ่งเป็นอุปสรรคของการนำวัสดุต่าง ๆ มาใช้อีกครั้ง รวมไปถึงการออกแบบวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบ และโมเดลทางธุรกิจในรูปแบบใหม่ที่ต้องต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้เกิดนวัตกรรม (รติมา ขชนันท์, 2567, น.2) เศรษฐกิจหมุนเวียนตั้งอยู่บนพื้นฐานหลัก 3 ประการ (NIRANJAN NADKARNI, 2565)

1. การออกแบบกระบวนการไร้ของเสียและสารพิษ จะดีกว่าหรือไม่ถ้าของเสียและสารพิษไม่เกิดขึ้นแต่แรก ไม่ว่าจะเป็นก๊าซเรือนกระจกและวัตถุอันตราย รวมไปถึงมลพิษทางอากาศ ดิน และน้ำ

2. การหมุนเวียนของวัสดุและผลิตภัณฑ์ จะดีกว่าหรือไม่ถ้าเราสร้างระบบเศรษฐกิจที่หมุนเวียนของมากกว่าสูญทำลาย นั่นหมายถึงความคงทน การนำกลับมาใช้ ผลิตซ้ำ และรีไซเคิลเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วน และวัสดุต่าง ๆ หมุนเวียนอยู่ในระบบเศรษฐกิจ ระบบหมุนเวียนจะช่วยให้เรานำวัสดุธรรมชาติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการแปรเปลี่ยนเป็นรูปแบบต่าง ๆ ในระหว่างที่วัสดุนั้นหมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจและธรรมชาติ

3. สร้างระบบนิเวศน์ทดแทน จะดีกว่าหรือไม่ถ้าเราปกป้องและพัฒนาสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกันได้ เศรษฐกิจหมุนเวียนหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานสิ้นเปลือง เน้นการใช้พลังงานหมุนเวียนแทนการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล

คณะผู้เขียนเห็นว่า เศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular Economy นั้น ไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่เป็นเรื่องที่หลายประเทศที่พัฒนาแล้วทั่วโลกต่างให้ความสำคัญมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่โลกกำลังเข้าสู่ภาวะโลกร้อนรวมถึงทรัพยากรที่มีก็กำลังลดลงอย่างต่อเนื่องและใกล้จะหมดไป ดังนั้นทางเดียวที่จะสามารถช่วยให้ทุกประเทศสามารถอยู่รอดมีการพัฒนาอย่างยั่งยืนนั้นคงจะหนีไม่พ้นการนำเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้ในการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ ควบคู่กับการยกระดับคุณภาพชีวิตที่ดีบนพื้นฐานของการอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุล อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะเศรษฐกิจหมุนเวียนจะยังไม่เป็นที่แพร่หลายในไทยมากนัก แต่ในปัจจุบันทั้งภาครัฐและภาคเอกชนต่างให้ความสำคัญและพยายามนำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ เพื่อการพัฒนา

และยกระดับองค์กร ซึ่งประโยชน์ที่ได้นั้นไม่เพียงแต่จะช่วยสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ แต่ยังเป็นอีกกลไกสำคัญในการลดปัญหาขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั้งไทยและต่างประเทศต่างต้องเผชิญ ซึ่งการที่จะนำ Circular Economy มาปรับใช้ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยในระบบเศรษฐกิจรวมกันผลักดันและขับเคลื่อนโดยรัฐบาลไม่ว่าจะเป็นการสร้างความรู้และทัศนคติเชิงบวกแก่ประชาชน การให้แรงจูงใจสิทธิประโยชน์ต่าง ๆ แก่ภาคเอกชน รวมถึงการพิจารณาข้อกฎหมายที่ไม่เอื้อต่อเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อให้ไทยสามารถก้าวข้ามผ่านเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่โอกาสทางการผลิตแบบใหม่ที่จะก่อให้เกิดระบบเศรษฐกิจที่มีความยั่งยืนไปพร้อมกับการที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการแตกตัวหรือสลายตัวของสารประกอบ หรือวัสดุต่าง ๆ ด้วยความร้อนปานกลางที่อุณหภูมิประมาณ 400-800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณที่น้อยมาก โดยทั่วไปผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสภาวะ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซของเหลว (ซึ่งโดยทั่วไปมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมัน) และของแข็ง (Char) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ (Primary product) อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ อัตราเร็วในการให้ความร้อน เป็นต้น แต่โดยตัวกระบวนการไพโรไลซิสเองแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุด คือ ของเหลวหรือน้ำมัน (นิรา วงศ์ยานุวัตร, 2559, น.12)

กระบวนการไพโรไลซิส มีอยู่ 3 ประเภท คือ 1) ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น ของแข็ง (เขม่าดำ ถ่านชาร์) ในปริมาณสูง และให้น้ำมันและก๊าซในปริมาณน้อย 2) ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อน 10-100 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 600-650 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมัน 50-60% ของแข็ง 25-30% และก๊าซ 15-20% และ 3) ไพโรไลซิสแบบเร็วมาก (Flash Pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อนมากกว่า 100 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นก๊าซ ทั้ง 3 กระบวนการนี้จะเกิดปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ชั้นแรก การสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) ชั้นที่สอง เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถ

แตกตัวได้ที่สภาวะที่ใช้ก็จะแตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อยๆ ตามเวลาที่ทำให้หรืออุณหภูมิที่กำหนด จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตุดิบ โดยอุณหภูมิแต่ละชั้นแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตุดิบ แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการให้ความร้อนและเวลายาวเกินไป สารที่ได้จากการแตกตัวของวัตุดิบจะกลับมารวมตัวกัน เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าออกจากกระบวนการหรือเป็นของแข็งชั้นเหนียวติดอยู่ตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ ดังนั้นภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิสจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัตุดิบที่ใช้ด้วย การมีความรู้ที่ดีเกี่ยวกับวัตุดิบที่ป้อนเข้ากระบวนการจะทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณที่สูง และไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่ไม่ต้องการหรือก่อให้เกิดผลผลิตที่ทำให้ต้องหยุดการผลิตชั่วคราว เพื่อทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ ในบางครั้งอาจมีการเติมไฮโดรเจน หรือไอน้ำเข้าไปในกระบวนการไพโรไลซิสด้วย ทั้งเพื่อเปลี่ยนการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันมีความเสถียรมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนจะเข้าไปรบกวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนที่มีอยู่ในเนื้อของวัตุดิบ การเติมน้ำในปริมาณไม่มากเกินไปเข้าไปเป็นตัวกลางในกระบวนการไพโรไลซิส จะทำให้ไปเพิ่มความดันให้กับกระบวนการ ทำให้วัตุดิบเกิดเป็นของไหลได้ง่าย และทำให้ถ่านที่ได้จากกระบวนการมีค่าพื้นที่ผิวสูงขึ้น (วิรุณ โมนะ ตระกูล และคณะ, 2562, น.5-6)

แนวทางการจัดการขยะของชุมชนโดยใช้หลักเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน

เมื่อพิจารณาดำเนินการตามลำดับขั้นของการจัดการขยะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลำดับแรกเริ่มจากการหาทางลดปริมาณขยะและการใช้ซ้ำเพื่อไม่ให้เกิดขยะ จากนั้นพิจารณานำวัสดุในขยะที่ทิ้งจากชุมชนมารีไซเคิล หรือหมักทำปุ๋ย ในส่วนของขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลควรนำไปเข้ากระบวนการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน ขยะที่ไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีการดังกล่าวได้และขยะที่เหลือจากกระบวนการต่าง ๆ นำไปฝังกลบ กระบวนการเหล่านี้นอกจากจะเป็นวิธีการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ แล้วยังช่วยลดการใช้พลังงาน ลดพื้นที่ฝังกลบและลดปริมาณมลพิษด้วย กระบวนการในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนเป็นกระบวนการที่ประชาชนได้ดำเนินการอยู่แล้วโดยให้ความสำคัญกับทรัพยากรที่มีอยู่ด้วยกระบวนการที่ว่า “คิดก่อนใช้ ใช้แล้วใช้อีก นำกลับมาใช้ใหม่” ซึ่งก็เป็นหลักการของ 3Rs ซึ่งเป็นการจัดการขยะมูลฝอยที่เริ่มจากการรณรงค์ให้ความรู้และออกมาตรการต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิดเป็นขั้นแรก จากนั้นหาวิธีการรีไซเคิลวัสดุในขยะเท่าที่เป็นไปได้ให้ได้มากที่สุด ได้แก่ การแยกประเภทขยะก่อนทิ้ง และแยกประเภทเก็บขน นำขยะผ่านการคัดแยกต้นทางเข้าสู่กระบวนการคัดแยกอีกครั้งเพื่อทำให้ได้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นตามความต้องการของตลาด จากนั้นส่วนที่เหลือจึงพิจารณานำไปผลิตเป็นพลังงานแต่ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มีในแต่ละ

ท้องถิ่น ปริมาณขยะมูลฝอยและความเหมาะสมทั้งทางด้านพื้นที่ นโยบาย เศรษฐศาสตร์ เทคนิคและสิ่งแวดล้อม อาจทำให้วิธีการต่าง ๆ นั้นไม่สามารถดำเนินการได้

แต่ปัจจุบันประเทศไทยมีการวิจัยและพัฒนากระบวนการไพโรไลซิส เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ โดยมีการพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสในรูปของเทคโนโลยี การกำจัดขยะประเภทขยะพลาสติก และยางรถยนต์ใช้แล้ว โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิส ยังมีการศึกษาการผลิตน้ำมันโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสจากวัตถุดิบประเภทขยะพลาสติก โดยมุ่งเน้นที่การออกแบบและสร้างโรงงานเพื่อแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน ทั้งนี้สามารถผลิตน้ำมันได้ 4,000-5,000 ลิตรต่อวัน ภาครัฐยังได้ส่งเสริมและสนับสนุนการใช้กระบวนการไพโรไลซิสในการกำจัดขยะโดยปัจจุบัน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ได้มีการดำเนินการส่งเสริม “โครงการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน” ให้กับชุมชนตัวอย่างที่มีศักยภาพในการกำจัดขยะ โดยการคัดเลือกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือเทศบาลที่มีศักยภาพโดยมีปริมาณขยะที่มีจำนวนขยะพลาสติกไม่น้อยกว่า 30 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้ต้องมีขยะพลาสติกเป็นส่วนประกอบไม่น้อยกว่า 6 ตันต่อวัน และมีขยะในหลุมฝังกลบไม่น้อยกว่า 100,000 ตัน ซึ่งตัวอย่างหน่วยงานที่ประสบความสำเร็จในการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันโดยกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ เทศบาลเมืองวารินชำราบ เทศบาลนครพิษณุโลก เทศบาลนครขอนแก่น และเทศบาลเมืองหัวหิน โดยสามารถผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก ได้วันละ 4,500-10,400 ลิตร ซึ่งเป็นการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

สำหรับชุมชนเองก็สามารถผลิตหอกันเองได้ เช่น ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงและพลังงานทดแทน บ้านโนนแดง หมู่ที่ 13 ตำบลบึงคล้า เป็นศูนย์การเรียนรู้โครงการยกระดับความคิดติดอาวุธทางปัญญาสร้างสัมมาชีพทั่วแผ่นดิน สัมมาชีพต้นแบบ ปีงบประมาณ 2557 โดยการนำของนายประสิทธิ์ ตรีการฤทธิ์ อดีตผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 13 บ้านโนนแดง เป็นศูนย์เรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานทดแทน มีกิจกรรมให้เข้าศึกษาดูงานหลากหลายที่เป็นประโยชน์และสามารถนำไปใช้ได้ในชีวิตจริง ต่อยอดสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ โดยเฉพาะเตาเผาขยะขนาดครัวเรือน ที่สามารถตอบโจทย์การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ของชุมชนภายใต้นโยบายด้านพลังงาน เป็นต้น ถึงแม้ว่ากระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) จะเป็นกระบวนการหนึ่งในการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์สูงสุด ซึ่งเป็นตามหลักการหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ในการหมุนเวียนใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ในห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain) และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของเสีย วัตถุดิบ สินค้าที่หมดอายุ และพลังงาน ให้กลับไปเป็น

ทรัพยากรที่หมุนเวียนอยู่ในระบบด้วยกระบวนการที่เหมาะสม นอกจากเป็นการลดขยะพลาสติก แล้วยังเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนดังกล่าวด้วย

บทสรุป

ขยะพลาสติกเป็นขยะปิโตรเลียมที่เกิดจากทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ที่ถูกทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก โดยขยะเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและเป็นภาระในการกำจัด ขยะพลาสติกโดยมากจะถูกคัดแยกแล้วนำกลับไปใช้ใหม่หรือรีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติกแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ถ้าวิเคราะห์ถึงโครงสร้างของขยะพลาสติก จะมีสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารองค์ประกอบหลักประเภทเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง ถ้าสามารถนำขยะพลาสติกที่มีอยู่มากมายเหล่านี้มาแปรรูปเปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ เราก็จะมีแหล่งวัตถุดิบพลังงานขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนได้ จากการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีขยะพลาสติกทั่วประเทศมากถึง 6,000-7,000 ตัน/วัน ซึ่งมีเพียงน้อยมากที่ถูกนำกลับมาใช้อีกในลักษณะต่างๆ การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นพลังงาน ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นการลดปริมาณขยะพลาสติกที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน การนำขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนจะช่วยลดปัญหาได้หลายด้าน เช่น การจัดหาสถานที่สำหรับการฝังกลบขยะ ซึ่งนับวันจะหาได้ยากยิ่งขึ้นได้เป็นอย่างดี เพราะขยะพลาสติกเป็นขยะที่มีปริมาตรมาก แต่มีความหนาแน่นต่ำทำให้เบลอเนื่องที่ในการฝังกลบ ทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่กำลังจะกำจัดยาก ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเพราะขยะพลาสติกต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานเป็นร้อยปี และยังเป็นวัตถุดิบพลังงานทดแทนช่วยลดปัญหาวิกฤติพลังงานได้

เอกสารอ้างอิง

- กมลรัฐชน กุคำใส. (2563). ความคุ้มค่าการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยกระบวนการไพโรไลซิสของบ่อขยะเขตอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ ฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 พ.ศ. (2566-2570). กรุงเทพมหานคร : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559-2564). กรุงเทพฯ ฯ : อคทีฟพรีนซ์.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). ข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศ. เรียกใช้เมื่อ 24 กรกฎาคม 2567 จาก https://thaimsw.pcd.go.th/report_country.php

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2561-2580 (EEP 2018). กรุงเทพฯ ฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

ธัญรัศม์ ไตรพันธ์รัชตะ และคณะ. (2565). แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนเพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนในเขตอำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (รายงานการศึกษาอบรมหลักสูตรนักปกครองระดับสูง (นปส.) รุ่นที่ 79). กรุงเทพฯ ฯ : สถาบันดำรงราชานุภาพ กระทรวงมหาดไทย.

นیرา วงศ์ทยานวัตร. (2559). การสังเคราะห์เชื้อเพลิงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในกระบวนการไพโรไลซิส (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ ฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รติมา คชนันท์. (2567). เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy). เรียกใช้เมื่อ 1 สิงหาคม 2567 จาก file:///C:/Users/HP/Downloads/เศรษฐกิจหมุนเวียน%20economy%20(3).pdf

วิรุณ โมนะตระกูล และคณะ. (2562). โครงการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกระบวนการไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกชุมชน กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม (รายงานการวิจัยคณะเทคโนโลยีการเกษตร). มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2566). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (2565-2570). กรุงเทพฯ ฯ : สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี)

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง. (2564). คู่มือหรือบ่งชี้การปกครองส่วนท้องถิ่น “การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร”. ลำปาง: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 ลำปาง.

NIRANJAN NADKARNI. (2565). เศรษฐกิจหมุนเวียน : ลด ซ่อม หมุนใช้ และแปรเปลี่ยน. เรียกใช้เมื่อ 1 สิงหาคม 2567 จาก <https://www.tuvsud.com/th-th/resource-centre/blogs/circular-econom>

