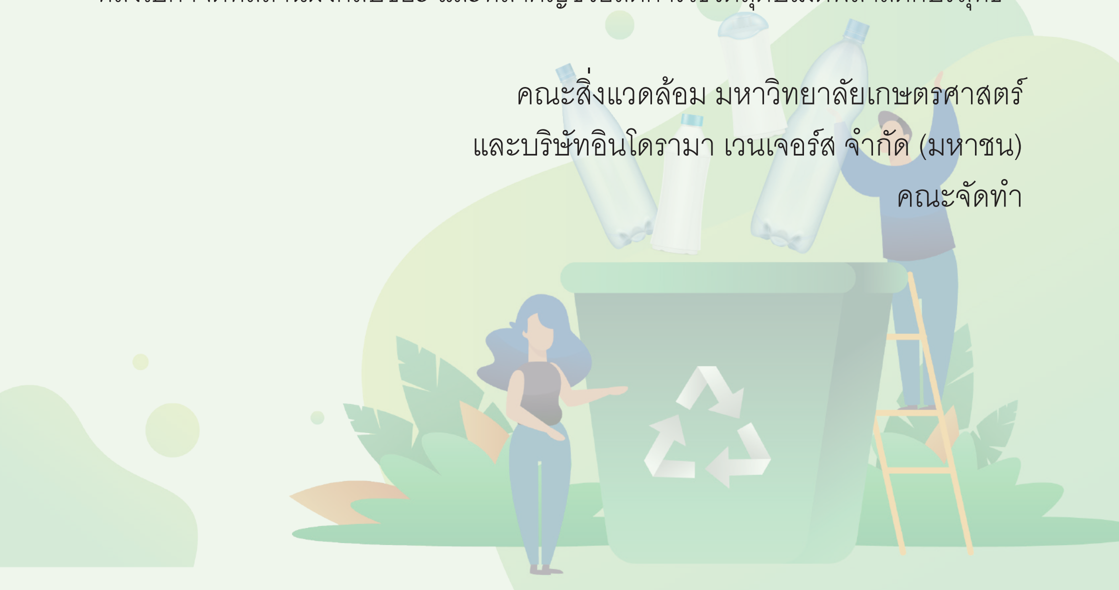
คู่มือ
การคัดแยกขยะชุมชน
และการจัดการขยะพลาสติก

คำนำ

ในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นประมาณ 3% จากปริมาณขยะมูลฝอยในปี พ.ศ. 2561 ในปีพ.ศ. 2562 ประเทศไทยประกาศยกเลิกการให้ถุงพลาสติกเวลาการซื้อของ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี 2563 เมื่อมีการระบาดของโรค COVID 19 เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคและประชาชนมีพฤติกรรมการสั่งซื้อสินค้าและอาหารทางออนไลน์ ทำให้เกิดขยะมูลฝอยโดยเฉพาะขยะพลาสติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทิ้งและการจัดเก็บขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยเป็นการทิ้งขยะมูลฝอยรวม ไม่มีการคัดแยกขยะแต่ละประเภทที่บ้านเรือน นอกจากนี้ขยะพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพยาก จึงมีปริมาณขยะพลาสติกตกค้างในพื้นที่ฝังกลบขยะ ทำให้พื้นที่สถานีฝังกลบขยะไม่เพียงพอกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ บริษัท อินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด มหาชน จึงจัดทำคู่มือ “การคัดแยกขยะชุมชนและการจัดการขยะพลาสติก” เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจการคัดแยกขยะมูลฝอย และการจัดการขยะมูลฝอยแต่ละประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการขยะพลาสติกในรูปแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อส่งผลให้การคัดแยกขยะมูลฝอย มีการใช้ประโยชน์ขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ส่งไปกำจัดที่สถานีฝังกลบขยะ และที่สำคัญช่วยลดการใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์

คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
และบริษัทอินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด (มหาชน)
คณะจัดทำ



สารบัญ

ขยะมูลฝอยชุมชุม
และการจัดการอย่างถูกต้อง

ขยะมูลฝอยชุมชน *(municipal solid waste, MSW)* เป็นของเสียที่อยู่ในรูปแบบของแข็งโดยเกิดขึ้นจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันของชุมชน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นแหล่งกำเนิดต่างๆ เช่น ขยะจากชุมชน สถานศึกษา กิจการการค้า การก่อสร้าง และจากอุตสาหกรรม เป็นต้น ทั้งนี้ ลักษณะของขยะมูลฝอยที่เกิดจากแต่ละแหล่งกำเนิดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของขยะมูลฝอยที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งกำเนิด	ตัวอย่างผู้ผลิตขยะมูลฝอย	ตัวอย่างองค์ประกอบขยะ
ที่พักอาศัย ชุมชน	บ้านเรือน คอนโดมิเนียม	เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก หนัง สิ่งทอ ไม้ แก้ว โลหะ เถ้า อุปกรณ์-อิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่
อุตสาหกรรม	โรงไฟฟ้า พื้นที่ก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม	เศษอาหาร บรรจุภัณฑ์ วัสดุสิ่งก่อสร้าง เถ้า ขยะอันตราย
ธุรกิจ กิจการการค้า สถาบัน	โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ภัตตาคาร สำนักงาน	กระดาษ พลาสติก กระดาษแข็ง ไม้ เศษอาหาร แก้ว โลหะ ขยะอันตราย
เกษตรกรรม	สวน ฟาร์ม ปศุสัตว์	ใบไม้ กิ่งไม้ มูลสัตว์ ขยะอันตราย สารกำจัดศัตรูพืช

ที่มา : ดัดแปลงจาก Luque. R and J.G. Speight (2015)

ทั้งนี้ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) ขยะอินทรีย์ (organic solid waste) เป็นขยะที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย เช่น เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ และใบไม้ เป็นต้น

2) ขยะที่รีไซเคิลได้ (recyclable solid waste) เป็นขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ และมีความคุ้มค่า เช่น แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษ กระป๋องอลูมิเนียม และโลหะ เป็นต้น

3) ขยะทั่วไป (general waste) เป็นขยะที่นอกเหนือจากขยะประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 เป็นขยะที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก หรือไม่คุ้มค่าที่จะนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ซองบรรจุภัณฑ์สินค้าขนาดเล็ก: ซองบะหมี่ ซองกาแฟ

4) ขยะอันตราย (hazardous waste) เป็นขยะที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตราย ขยะอันตรายมีคุณสมบัติดังนี้ วัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัดกร่อน วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุอื่นๆ ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

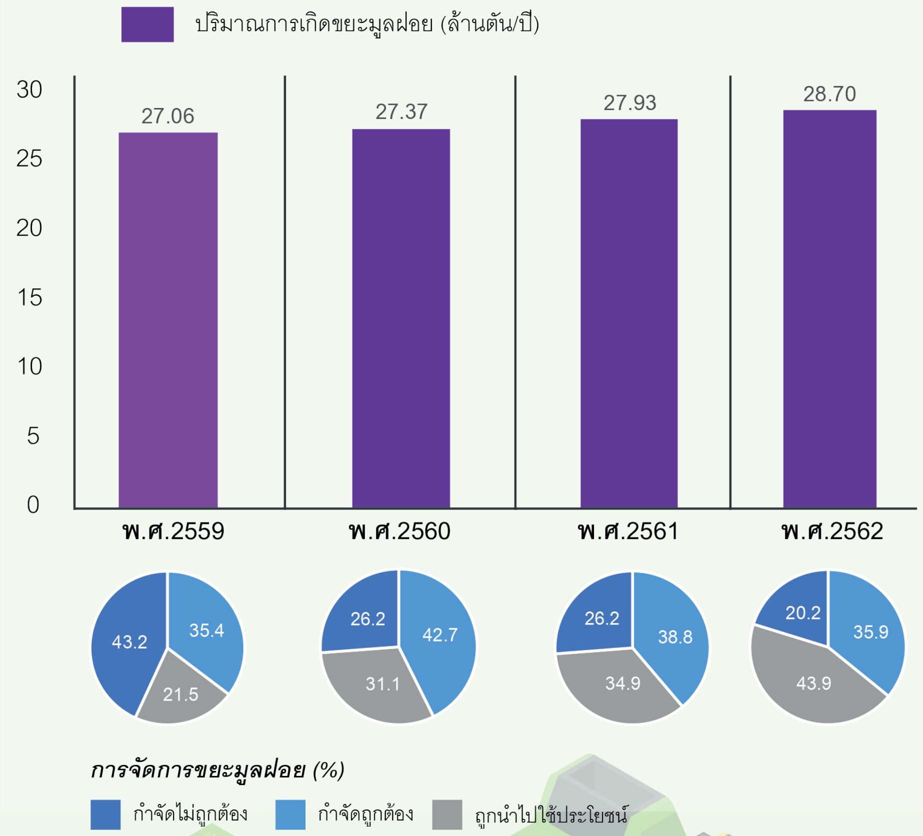
จากลักษณะขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยทั้ง 4 ประเภทดังกล่าว ได้มีการออกประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่องการจัดการมูลฝอย พ.ศ. 2560 เกี่ยวกับการกำหนดสีของถังทิ้งขยะตามประเภทของขยะมูลฝอย ได้แก่ ถังสีเขียวสำหรับขยะอินทรีย์ ถังสีเหลืองสำหรับขยะรีไซเคิล ถังสีน้ำเงินสำหรับขยะทั่วไป และถังสีส้มสำหรับขยะอันตรายจากชุมชน เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ถังขยะและตัวอย่างวิธีการจัดการขยะตามประเภทของขยะ

สถานการณ์และการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย

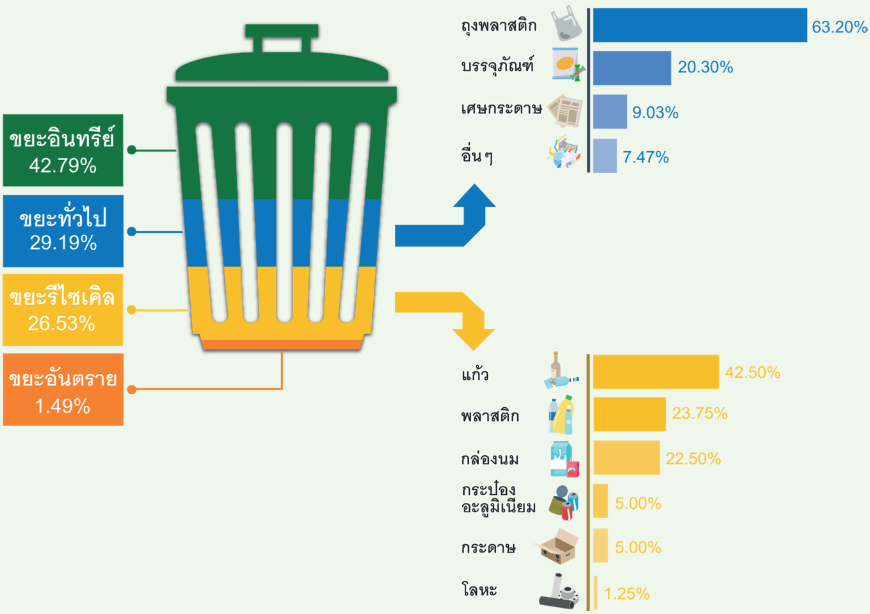
ปริมาณขยะมูลฝอยของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและกิจกรรมต่างๆ โดยในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 28.7 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ประมาณ 3% สาเหตุเนื่องมาจากการขยายตัวของชุมชนเมือง การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรแฝงจากแรงงานต่างด้าวที่เข้ามาทำงานในประเทศไทย การส่งเสริมการท่องเที่ยว และพฤติกรรมการบริโภคของประชาชนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการส่งสินค้าจากบริการสั่งซื้อออนไลน์สินค้าและบริการสั่งอาหาร ทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การจัดการขยะมูลฝอยโดยการนำไปใช้ประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น การรีไซเคิลและการหมักทำปุ๋ยประมาณ 12.6 ล้านตัน (คิดเป็น 43.9%) ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ร้อยละ 11 (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอย สัดส่วนขยะที่กำจัดไม่ถูกต้อง ขยะที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์และขยะที่กำจัดถูกต้องในปี พ.ศ. 2559 - 2562

การรณรงค์ให้ความรู้แก่ประชาชนในการแยกทิ้งขยะในถังขยะให้ถูกต้องตามประเภทของขยะมูลฝอยช่วยให้จัดการขยะมูลฝอยได้ถูกต้อง และสามารถหมุนเวียนมาใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจากการศึกษาของ Suma et al., 2019 เกี่ยวกับองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากตำบลแม่สลองนอก จังหวัดเชียงราย พบว่า ขยะมูลฝอยทั้งหมดประกอบด้วยขยะอินทรีย์ (42.79%) ขยะรีไซเคิล (26.53%) และขยะอันตราย (1.49%) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 องค์ประกอบขยะชุมชนจากตำบลแม่สลองนอก จังหวัดเชียงราย
ที่มา: Suma et al., 2019

ทั้งนี้ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากตำบลแม่สลองนอกที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ประกอบด้วยแก้ว พลาสติก กล่องนม กระป๋องอะลูมิเนียม กระดาษและโลหะ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การแยกทิ้งขยะมูลฝอยให้ถูกประเภทสามารถนำขยะอินทรีย์ไปหมักทำปุ๋ย เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน รวมทั้งการนำขยะรีไซเคิลไปใช้ประโยชน์ใหม่และจัดการขยะอันตรายด้วยวิธีที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถลดปริมาณขยะที่ส่งไปกำจัดที่สถานีฝังกลบขยะอย่างถูกสุขลักษณะเหลือ 29.19%

เมื่อพิจารณาการจัดการขยะมูลฝอยในอดีต พบว่า การทิ้งขยะมูลฝอยโดยไม่มีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง ขยะมูลฝอยทุกประเภทถูกจัดเก็บรวมกันในถังขยะจากบ้านเรือน จึงมีขยะมูลฝอยรีไซเคิลได้บางส่วนที่ตกค้างในถังขยะ สูญเสียขยะที่สามารถใช้ประโยชน์ซ้ำก่อนการทิ้ง อีกทั้งมีการใช้ถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง โดยไม่มีการใช้ซ้ำ ส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่ส่งไปฝังกลบมีมาก ทำให้พื้นที่ฝังกลบที่มีอย่างจำกัดมีไม่เพียงพอกับปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัด

ดังนั้น การจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบันรัฐบาลจึงรณรงค์ให้ประชาชนลดการใช้ เพิ่มการใช้ซ้ำ และการรีไซเคิล ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการจัดการขยะมูลฝอยตามแนวเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อให้การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ลดมลพิษที่อาจจะเกิดขึ้น และเพิ่มศักยภาพการใช้ทรัพยากรของขยะมูลฝอย ตามแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ พ.ศ. 2559 - 2564 ประเทศไทยขับเคลื่อนไปสู่การเป็นสังคมปลอดขยะ (zero waste society) บนแนวความคิด 3Rs (Reduce ลดการใช้ Reuse การใช้ซ้ำ และ Recycle นำกลับมาใช้ใหม่) (สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

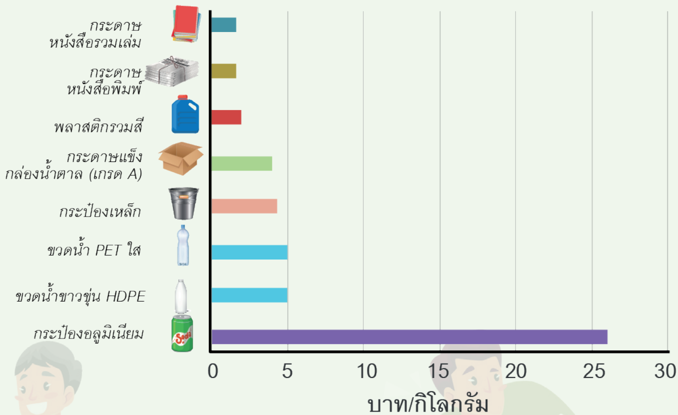
การแยกทิ้งขยะในถังขยะให้ถูกต้องสำหรับขยะแต่ละประเภท เป็นผลให้ปริมาณขยะที่แหล่งกำเนิดลดลง มีการใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยได้เต็มที่และการจัดการขยะในขั้นตอนถัดไปด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมดำเนินการได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายโดยการฝังกลบขยะลดลง (ภาพที่ 4)

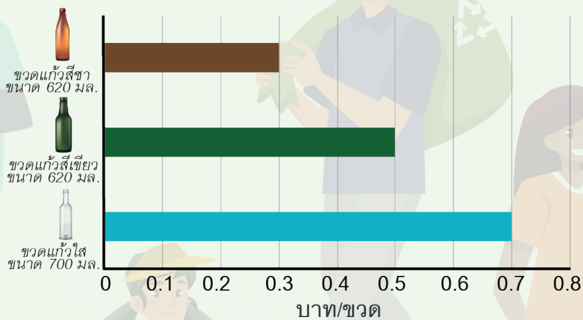
ภาพที่ 4 ลำดับการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบันสำหรับการจัดการขยะเหลือศูนย์ที่อาศัยแนวทางเศรษฐศาสตร์หมุนเวียน

ในปี พ.ศ. 2562 รัฐบาลมีนโยบายลดปริมาณการใช้ถุงพลาสติก เช่น จำกัดและยกเลิกการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (single use plastic) การขอความมือกับผู้ขายงดการบริการให้ถุงบรรจุสินค้า รณรงค์ประชาชนใช้ถุงผ้าหรือใช้ถุงพลาสติกซ้ำ หรือการรณรงค์ให้ประชาชนเตรียมภาชนะสำหรับบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ส่งผลให้ช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยประเภทถุงพลาสติก (ลดการใช้ และการใช้ซ้ำ) นอกจากนี้มีความร่วมมือของประชาชนในการแยกทิ้งขวดน้ำพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกประเภท polyethylene terephthalate (PET) ในถังขยะรีไซเคิลช่วยให้ปริมาณขวด PET ถูกนำไปรีไซเคิลหมุนเวียนกลับเข้าสู่ในอุตสาหกรรมมากขึ้น ปริมาณขยะที่ส่งไปกำจัดที่สถานีฝังกลบขยะมูลฝอยที่ถูกสุขลักษณะลดลง

การจัดการขยะรีไซเคิลก่อนทิ้งในถังขยะ ควรทำความสะอาดขยะก่อนการรวบรวมไปทิ้ง เพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นจากการเน่าเสียของขยะมูลฝอย และสะดวกต่อการนำไปรีไซเคิลในขั้นตอนถัดไป ตัวอย่างเช่น ชาวญี่ปุ่นล้างภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่เปื้อนเศษอาหารและผึ่งแห้ง ก่อนที่จะทิ้งในถังขยะประเภทขยะรีไซเคิล หรือชาวไทยล้างกล่องนมหรือน้ำผลไม้ที่ไม่มีของเหลวตกค้างและผึ่งแห้ง ก่อนรวบรวมไปทิ้งรวมที่ถังรวบรวม (drop box) เพื่อนำไปรีไซเคิลต่อไป ในประเทศสวีเดนมีเครื่องรับขยะรีไซเคิลเช่นขวดพลาสติกประเภท PET และกระป๋องอลูมิเนียม โดยประชาชนนำขยะรีไซเคิลแลกกับคูปองเพื่อใช้ในการแลกซื้ออาหาร

ส่วนในประเทศไทยมีการรับซื้อขยะรีไซเคิลซึ่งราคาของขยะรีไซเคิลจะแตกต่างกันไปในแต่ละวัน เช่นในวันที่ 26 กันยายน 2563 ราคากระป๋องอลูมิเนียม ขวดน้ำขุ่นและขวดน้ำ PET ใสเป็น 26 บาท/กิโลกรัม 5 บาท/กิโลกรัม และ 5 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 5)





ภาพที่ 5 ราคาขยะรีไซเคิลบางชนิดที่ซื้อขายในวันที่ 26 กันยายน 2563
ที่มา: วงษ์พาณิชย์ (2563)

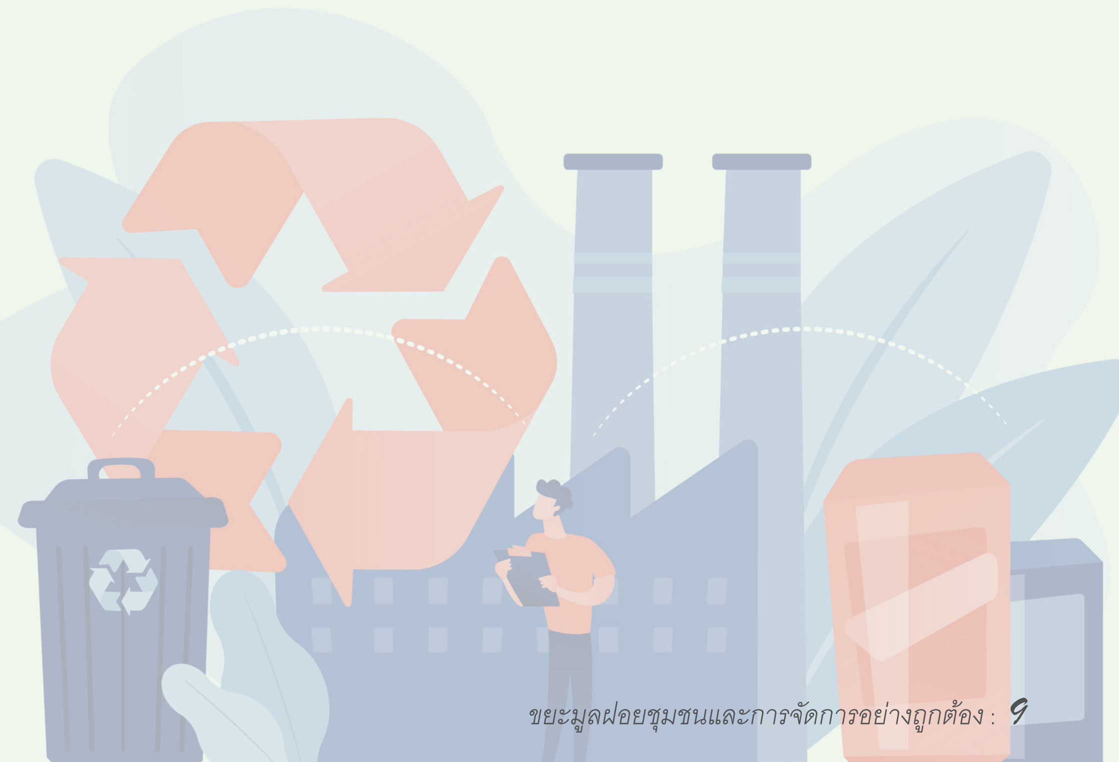
กรณีการทิ้งขยะมูลฝอยรวมขยะรีไซเคิลที่ไม่ได้รับการแยกทิ้งที่แหล่งกำเนิด มีกระบวนการคัดแยกขยะด้วยเครื่องจักรตามคุณสมบัติของขยะ ซึ่งมีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการคัดแยกเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเครื่องจักรในการคัดแยกขยะตามคุณสมบัติของขยะ เช่น

- การคัดแยกตามขนาดที่แตกต่างกัน (screening) โดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องว่างเปิดตามขนาดของขยะที่ต้องการจะคัดแยก

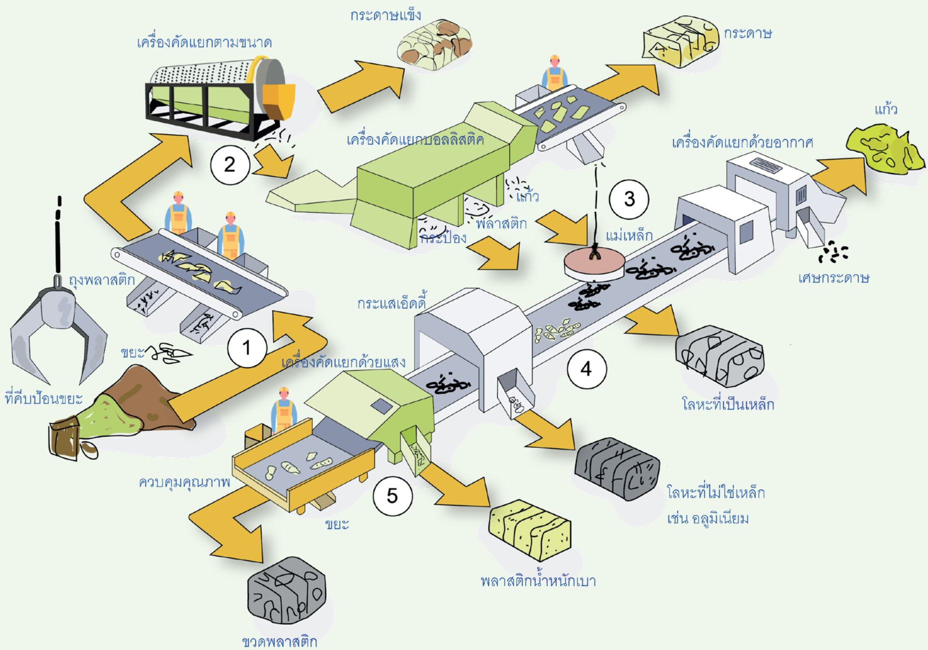
- การแยกโดยอากาศความแตกต่างของความหนาแน่นของขยะโดยใช้น้ำหรืออากาศเป็นตัวกลางในการคัดแยก เช่นการคัดแยกเศษกระดาษออกจากเศษแก้วโดยการใช้ลมเป่า (air classifier)

- การเพิ่มความหนาแน่นของขยะ เช่นการอัดขวดพลาสติกให้เป็นก้อน (bale) หลังจากการคัดแยก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและง่ายต่อการขนส่ง

- การคัดแยกขยะตามคุณสมบัติการเป็นโลหะ โดยใช้แม่เหล็กสำหรับการแยกขยะประเภทเหล็ก (magnetic separator) หรือใช้กระแสไหลวน/แอ็ดดี้ (eddy current) ในการแยกกระป๋องอลูมิเนียม



การคัดแยกขยะรีไซเคิลออกจากขยะมูลฝอยรวม ในขั้นแรกคัดแยกขยะขนาดใหญ่ตามประเภทต่างๆ ด้วยคนงาน หลังจากนั้นคัดแยกขยะตามความแตกต่างของขนาดขยะด้วยเครื่องร่อนคัดแยกขนาด แยกกระดาษแข็งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ถัดไปส่งขยะไปยังเครื่องคัดแยกบอลลิสติค (ballistic separator) โดยการคัดแยกขยะที่มีรูปร่างแตกต่างกันด้วยการเขย่า เช่น แยกขวดพลาสติก แก้ว กระป๋องอลูมิเนียม และกระป๋องโลหะ ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอก (3D) จะถูกแยกออกจากเศษกระดาษที่มีลักษณะเป็นแผ่น (2D) และหลังจากนั้นกระดาษจะถูกบีบอัดเป็นก้อนเพื่อส่งไปจัดการในขั้นตอนต่อไป ในส่วนของการคัดแยกโลหะจะถูกแยกด้วยเครื่องคัดแยกแม่เหล็ก (magnetic separator) และแยกกระป๋องอลูมิเนียมด้วยเครื่องกระแสเอ็ดดี้ (eddy current) สำหรับเศษกระดาษจะถูกแยกออกจากขยะประเภทแก้วโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นด้วยเครื่องคัดแยกด้วยลม (air classifier) และการคัดแยกประเภทขยะพลาสติกด้วยเครื่องคัดแยกด้วยแสง (optical sorter) ขยะที่คัดแยกได้ถูกอัดเป็นก้อนเพิ่มความหนาแน่นเพื่อง่ายต่อการขนส่ง (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การคัดแยกขยะรีไซเคิลได้ด้วยเครื่องมือต่างๆ ในสถานีคัดแยก
ที่มา : ดัดแปลงจาก : SUEZ (n.d.)

เทคโนโลยีที่เหมาะสม ในการจัดการขยะมูลฝอย

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการวางแผนแนวทางจัดการและพิจารณาเทคโนโลยีที่เหมาะสม (โดยวิธีการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยและการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะแสดงในภาคผนวก 1) ทั้งนี้ สามารถแบ่งวิธีการจัดการขยะมูลฝอยตามคุณสมบัติขององค์ประกอบได้ 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 7 วิธีการจัดการขยะมูลฝอยอย่างเหมาะสม

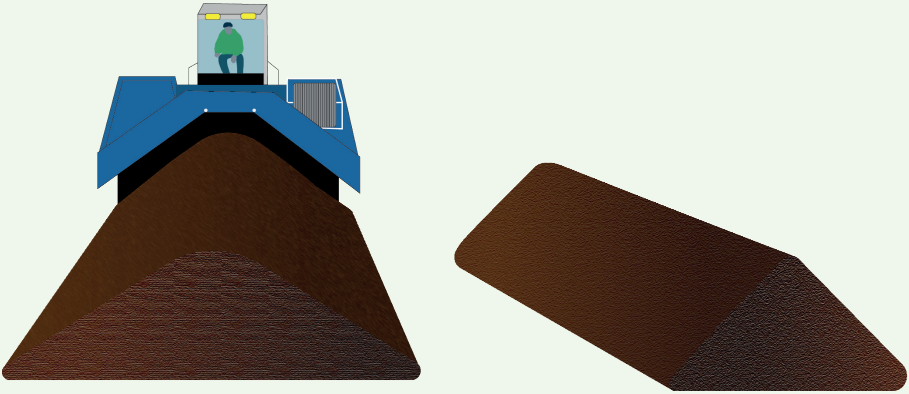
การหมักทำปุ๋ย (composting)

เศษอาหารคือขยะอินทรีย์ประเภทหนึ่งซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้น วิธีการหมักทำปุ๋ยจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการบำบัดเศษอาหาร ซึ่งการหมักขยะอินทรีย์มี 2 แบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการบำบัดและชนิดของจุลินทรีย์ ได้แก่ การหมักแบบใช้อากาศ เพื่อผลิตวัสดุปรับปรุงดิน (compost) และแบบไม่ใช้อากาศ โดยได้ก๊าซชีวภาพ (biogas) เป็นผลพลอยได้ที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมได้

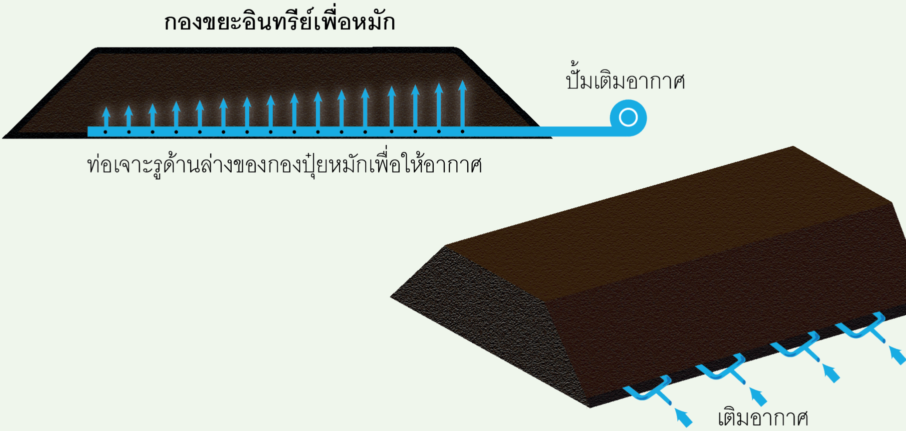
ทั้งนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการหมักแบบใช้อากาศแสดงในตารางที่ 2 และตัวอย่างแนวทางในการให้อากาศในกองปุ๋ยหมักสามารถดำเนินการในรูปของการพลิกกองด้วยวิธี windrow (ภาพที่ 8) หรือมีระบบการให้อากาศใต้กองปุ๋ยหมักด้วยวิธี aerated static pile (ภาพที่ 9) การบำบัดขยะอินทรีย์โดยการหมักส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมสามารถหมุนเวียนคาร์บอนกลับไปยังสิ่งแวดล้อม ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่ส่งไปสถานีฝังกลบลดลง

ตารางที่ 2 สภาวะการหมักขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

ปัจจัย	ช่วงที่เหมาะสม
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	25-35:1
ปริมาณความชื้น	40-60%
การให้อากาศ	10-30%
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่อนข้างเป็นกลาง
ขนาดอนุภาค	10-50 มิลลิเมตร



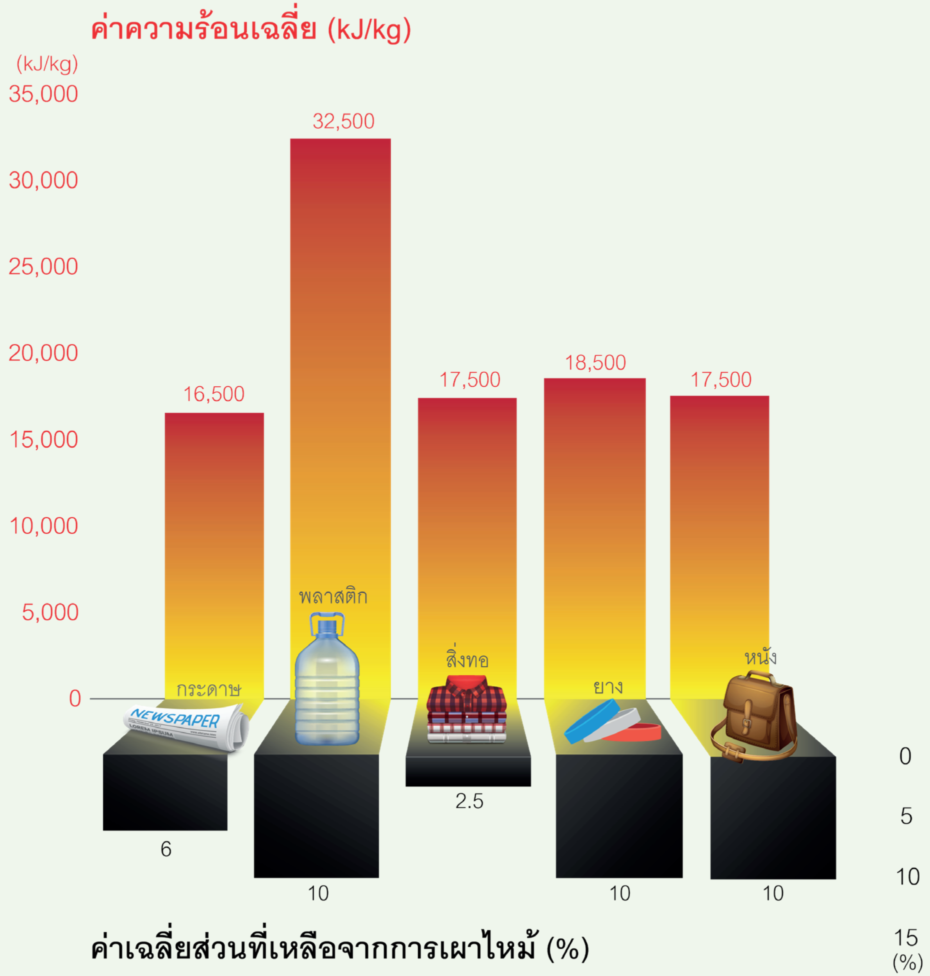
ภาพที่ 8 การหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศด้วยวิธี windrow



ภาพที่ 9 การหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศด้วยวิธี aerated static pile

การเผาไหม้ขยะมูลฝอยในเตาเผา (incineration)

ขยะมูลฝอยทั่วไปที่ไม่สามารถนำไปรีไซเคิล หรือไม่สามารถนำไปหมัก ทำเป็นปุ๋ยได้ เช่น เศษพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์ เศษผ้า เศษไม้ และยาง เป็นต้น ขยะมูลฝอยเหล่านี้มีคุณสมบัติที่มีค่าความร้อนสูง และสามารถเผาไหม้ได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงขยะ (refused derived fuel; RDFs) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่าความร้อนและปริมาณส่วนที่เหลือจากการเผาของขยะมูลฝอยชุมชนชนิดต่างๆ

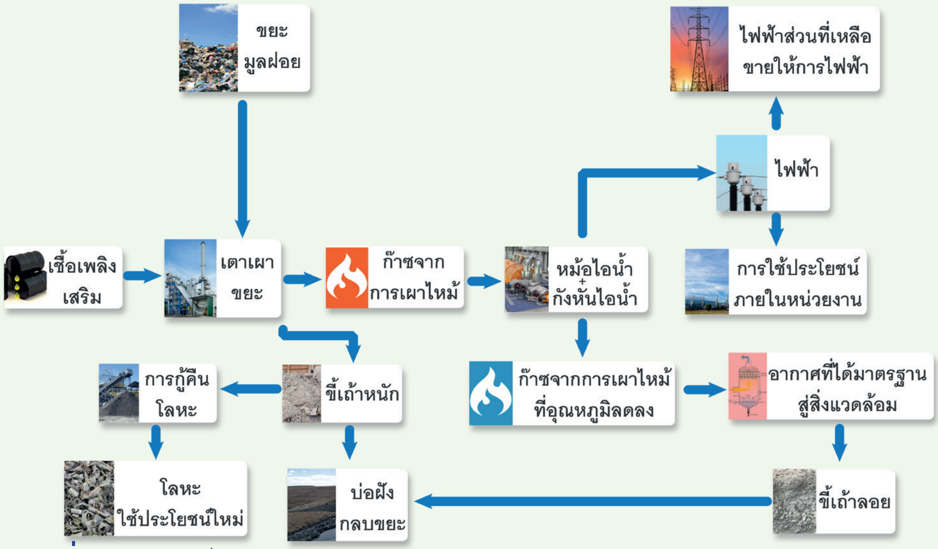
ที่มา : ดัดแปลงจาก Tchobanoglous et al.(1993)

โดยคุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4 และค่าความร้อนจากการเผาไหม้ขยะสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (ภาพที่ 11) โดยการเผาขยะมูลฝอยสามารถแบ่งได้ 3 วิธีตามความแตกต่างของปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าในระบบ (ภาพที่ 12)

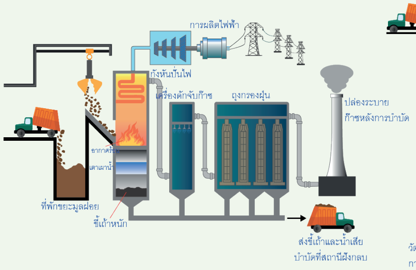
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะที่เหมาะสม

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่า
คุณสมบัติทางกายภาพ		
ปริมาณความร้อนสุทธิ (net calorific value)	เมกะจูล/กิโลกรัม	ไม่น้อยกว่า 6.5
ปริมาณความชื้น (moisture content)	-	ไม่เกินกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก
ความหนาแน่นรวม (bulk density)	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่น้อยกว่า 100
คุณสมบัติทางเคมี		
ปริมาณคลอรีน (Cl2)	ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง	ไม่เกินกว่าร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแห้ง
ปริมาณขี้เถ้า (ash)	ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง	ไม่เกินกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักแห้ง
ความเข้มข้น/ปริมาณของปรอท (Hg)	มิลลิกรัม/เมกกะจูล (ค่ามัธยฐาน)	ไม่เกิน 0.06
ความเข้มข้น/ปริมาณของแคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัม/เมกกะจูล (ค่ามัธยฐาน)	ไม่เกิน 7.5
ความเข้มข้น/ปริมาณของโลหะอื่นๆ รวม ได้แก่ พลวง (Sb) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) โคบอลต์(Co) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) นิเกิล (Ni) และ วาเนเดียม(V)	มิลลิกรัม/เมกกะจูล (ค่ามัธยฐาน)	ไม่เกิน 190

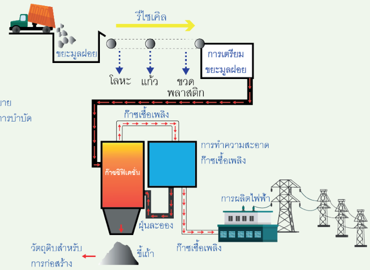
ที่มา : ประกาศกรมควบคุมมลพิษ (2561)



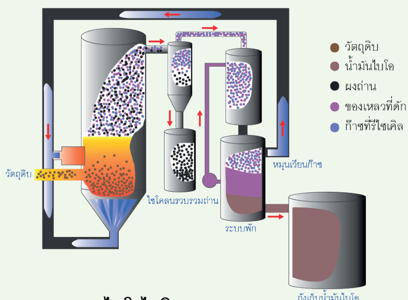
ภาพที่ 11 การเผาไหม้ขยะมูลฝอยชุมชนและการใช้ประโยชน์ความร้อนจากการเผาในการผลิตกระแสไฟฟ้า



อินซินเนอร์เรชั่น (incineration) :
การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์



แก๊สซิฟิเคชั่น (gasification) :
การเผาไหม้ที่เติมอากาศบางส่วน

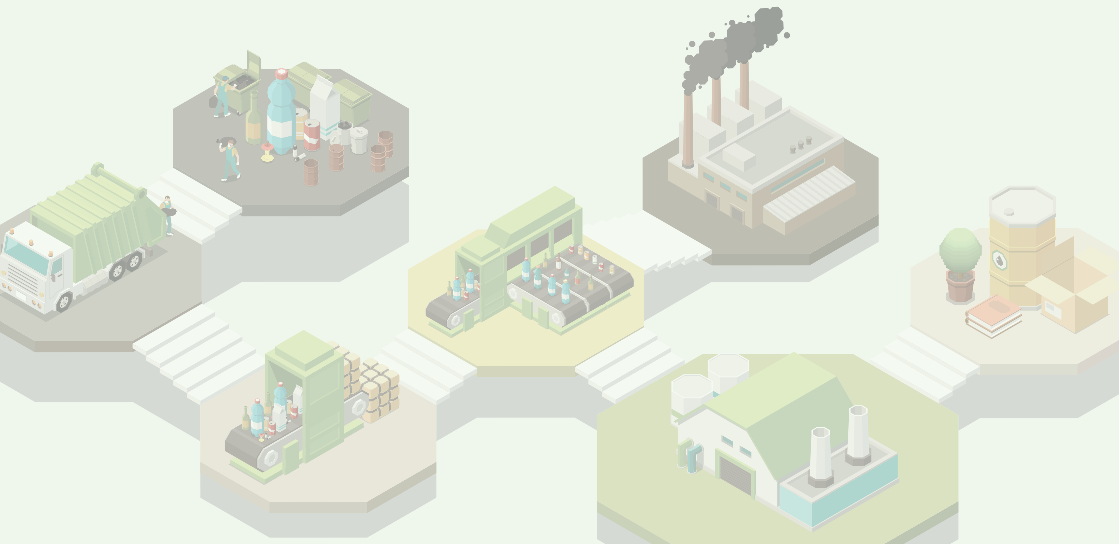


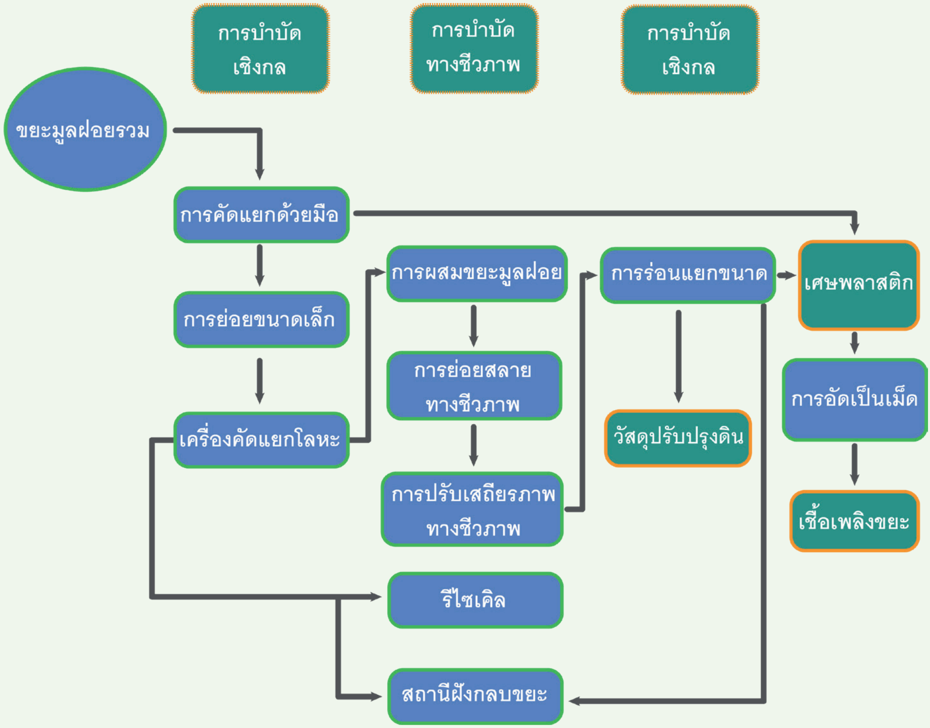
ไพโรไลซิส (pyrolysis) :
การเผาไหม้ที่ไม่เติมอากาศ

ภาพที่ 12 ระบบการเผาไหม้ขยะมูลฝอยในเตาเผา 3 ประเภท

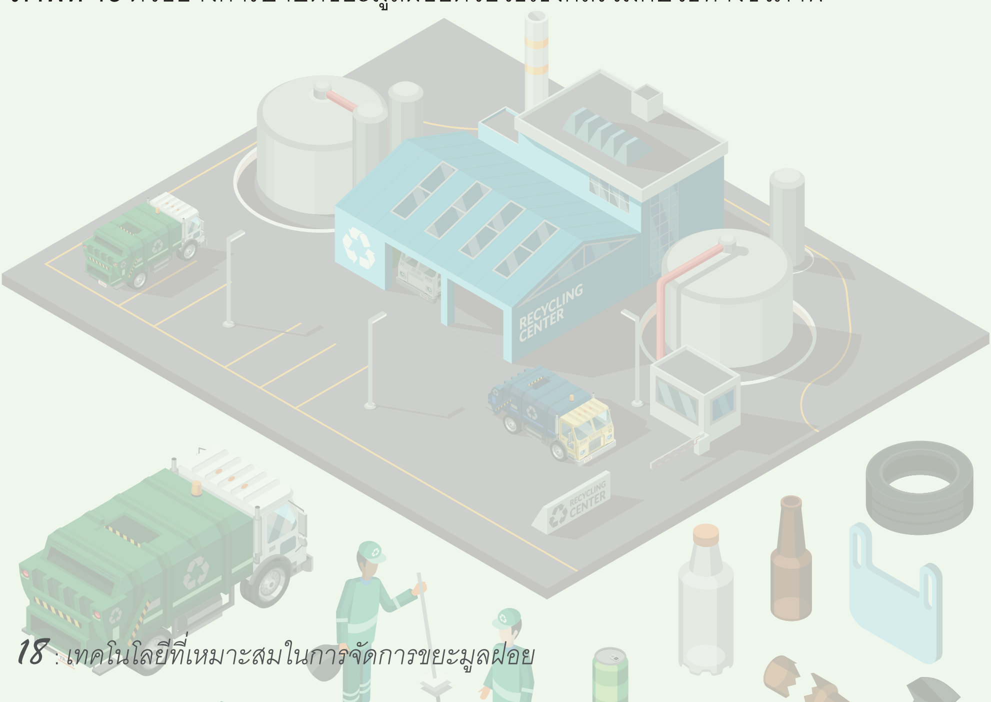
ตัวอย่างเตาเผาขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตที่รองรับการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน 700 ตัน/วัน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 10 เมกกะวัตต์ และเมือง Biscay ประเทศสเปน เกิดปัญหาพื้นที่ฝังกลบและขาดแคลนพลังงาน บริหารจัดการขยะมูลฝอยของเมืองที่มีเป้าหมายในปี พ.ศ. 2563 ในการรีไซเคิลขยะได้ 50% ผ่านกระบวนการให้ความรู้ในการแยกขยะ และการบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจังกับผู้แยกขยะ ส่วนขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลจะนำมาเผาซึ่งสอดคล้องกับหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียนของ EU มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้า Zabalgarbi ที่สามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้ 30 ตันต่อชั่วโมง (ประชาชาติธุรกิจ, 2562)

กรณีที่ขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการแยกทิ้งในถังแต่ละประเภท ซึ่งมีขยะอินทรีย์ทิ้งร่วมกับขยะทั่วไป แนวทางการบำบัดขยะมูลฝอยเหล่านี้ด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับทางชีวภาพ (mechanical biological treatment; MBT) เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ไปฝังกลบ ขั้นตอนแรก คือ การปรับสภาพขยะมูลฝอยชุมชน (municipal solid waste pretreatment) โดยขยะจะถูกคัดแยกโดยพนักงาน เพื่อแยกขยะมูลฝอยขนาดใหญ่ที่รีไซเคิลได้ หลังจากนั้นลดขนาดของขยะมูลฝอย ซึ่งเป็นกระบวนการเชิงกล หมักขยะอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีวภาพเพื่อผลิตวัสดุปรับปรุงดิน และร่อนด้วยตะแกรง วัสดุปรับปรุงดินซึ่งมีขนาดเล็กร่อนผ่านตะแกรง ส่วนที่ค้างบนตะแกรงส่วนใหญ่เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพยากสามารถนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะ หรือนำไปฝังกลบ (ภาพที่ 13)

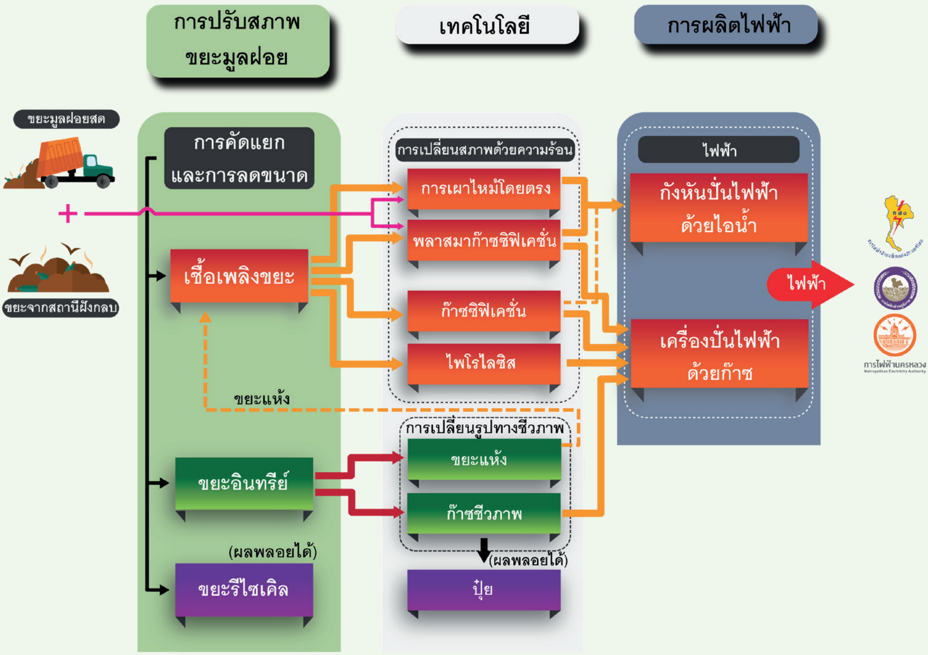




ภาพที่ 13 ตัวอย่างการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ



สำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับทางชีวภาพในประเทศไทยตั้งอยู่ที่จังหวัดพิษณุโลก ระยอง และสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอยอ่อนนุช ขยะมูลฝอยชุมชนของจังหวัดระยองบำบัดด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับทางชีวภาพ มีเทคโนโลยีต่อเนื่องสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพและการผลิตไฟฟ้า (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 การผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ
ที่มา: บริษัท โกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) (2560)

การฝังกลบขยะแบบถูกสุขลักษณะ (sanitary landfill)

การฝังกลบขยะมูลฝอยเป็นการจัดการขยะมูลฝอยในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งในอดีตการจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่มีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง ทำให้มีขยะมูลฝอยไปทิ้งที่สถานีฝังกลบจำนวนมาก ส่งผลให้พื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้เพียงพอ ปัจจุบันจึงมีการรณรงค์ให้ลดการใช้ เพิ่มการใช้ซ้ำ นำมา รีไซเคิล และใช้ประโยชน์จากขยะเพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ส่งไปยังสถานีฝังกลบ

สำหรับกระบวนการฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกสุขลักษณะ ขั้นตอนแรกขยะมูลฝอยที่ส่งเข้ามายังสถานีฝังกลบจะถูกชั่งน้ำหนักเพื่อต้องการทราบปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัด และเนื่องจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขลักษณะอยู่ภายใต้สภาวะไม่มีอากาศ ขยะอินทรีย์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างการฝังกลบ เกิดน้ำชะขยะ ซึ่งเป็นน้ำเสียและก๊าซชีวภาพ ดังนั้น การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขลักษณะจึงมีการออกแบบระบบปูพื้นก้นบ่อ ระบบรวบรวม ระบบการบำบัดและการใช้ประโยชน์น้ำเสียและก๊าซชีวภาพ รวมทั้งมีการตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับชุมชนและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 15)

ภาพที่ 15 การดำเนินการและกระบวนการสำหรับการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขลักษณะ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tchobanoglous et al.(1993)

พลาสติก

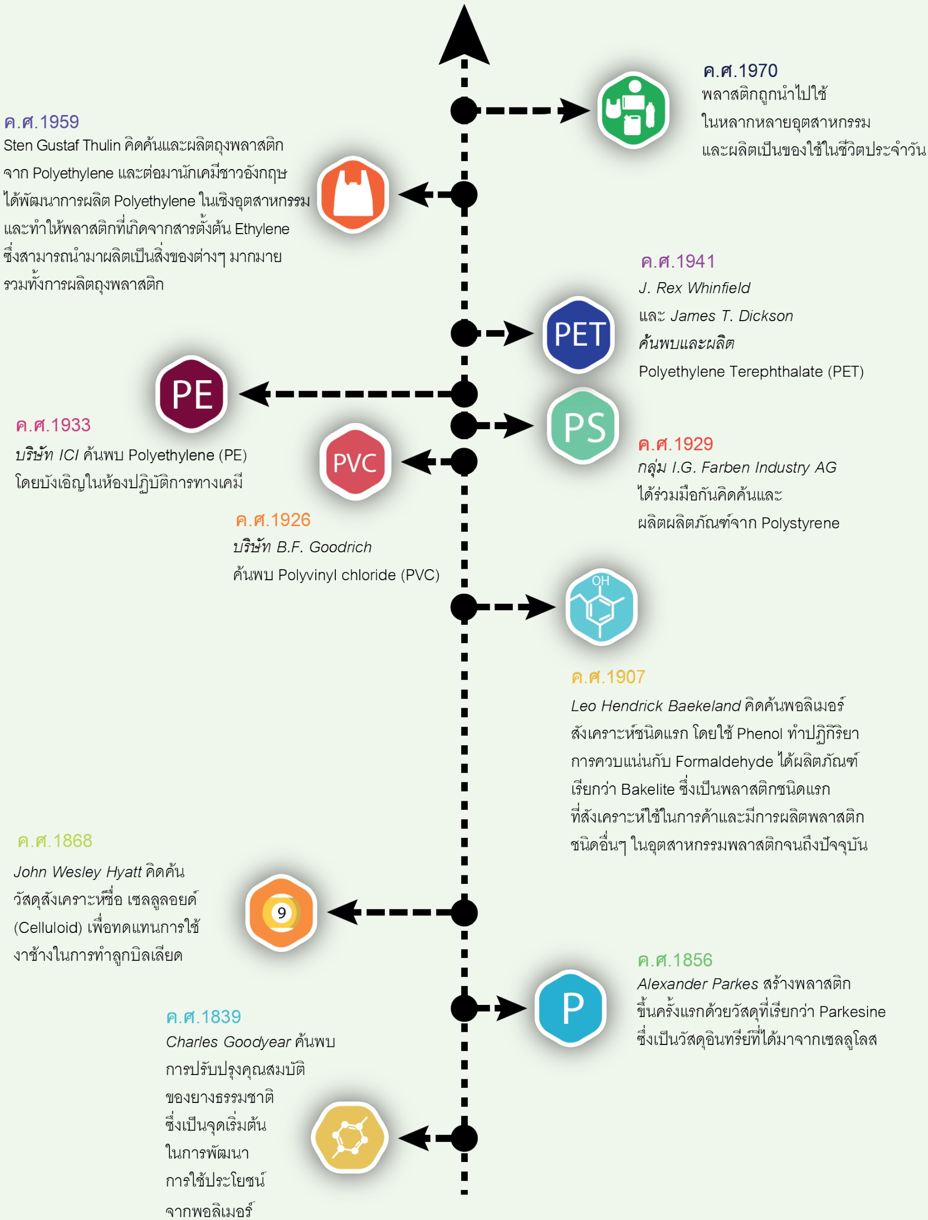
และการรีไซเคิลพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถใช้แทนวัสดุธรรมชาติได้หลายอย่าง ประสิทธิภาพของการใช้งานเป็นที่ยอมรับ สมบัติทั่วไปของพลาสติกจะมีความเสถียรมากในธรรมชาติสลายตัวยากเป็นฉนวนความร้อนและไฟฟ้าที่ดี มีการอ่อนตัวและหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนจึงเปลี่ยนเป็นรูปต่างๆ ได้ตามต้องการ และมีน้ำหนักเบา

นอกจากนี้ พลาสติกยังมีต้นทุนการผลิตต่ำจึงเป็นวัสดุที่มีผลต่อการดำรงชีวิตประจำวันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และมีปริมาณการใช้งานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ พลาสติกจึงกลายเป็นขยะจำนวนมหาศาล และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลาสติกที่พบมากในกองขยะ คือ ถุงพลาสติก รองลงมา คือ หลอด ฝาพลาสติก และภาชนะบรรจุอาหาร เนื่องจากขยะพลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยตัวเอง ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายร้อยปีเพราะเป็นสารสังเคราะห์ ดังนั้น หากไม่มีวิธีการจัดการที่ดีขยะพลาสติกเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อการเสื่อมโทรมของคุณภาพดินและน้ำ สุขภาพอนามัยของมนุษย์ ที่สำคัญคือ การเผาทำลายพลาสติกยังก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซพิษอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนอีกด้วย

กำเนิดพลาสติก

พลาสติก มาจากรากศัพท์ภาษากรีก คำว่า plastikas ซึ่งหมายความว่า หล่อหรือหลอมเป็นรูปร่างได้ง่าย ซึ่งพลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ได้จากปฏิกิริยาสังเคราะห์ทางเคมี โดยใช้แหล่งวัตถุดิบมากกว่าร้อยละ 90 มาจากปิโตรเคมีเป็นหลัก ทั้งน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก่อนที่จะค้นพบวัสดุชนิดนี้ มนุษย์ได้ใช้น้ำยางธรรมชาติจากต้นยางมาใช้ทำเป็นภาชนะรองเท้า ขันน้ำ และของใช้ต่างๆ



ภาพที่ 16 วิวัฒนาการกำเนิดของพลาสติก

จากภาพที่ 16 แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการของการกำเนิดพลาสติก ซึ่งมีจุดเริ่มต้นของแนวคิดในปี ค.ศ. 1839 Charles Goodyear นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน ได้ค้นพบการปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติโดยผสมกำมะถันและให้ความร้อน เรียกวิธีการนี้ว่า วัลคาไนเซชัน (vulcanization) และยังเป็นกระบวนการที่ใช้ในทุกวันนี้ และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์อย่างจริงจัง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1856 พลาสติกถูกสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Alexander Parkes โดยค้นพบวัสดุที่เรียกว่า parkesine เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ได้มาจากเซลลูโลส ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะสามารถขึ้นรูปและคงรูปไว้ได้เมื่อถูกทำให้เย็น จากนั้น ในปี ค.ศ. 1970 Leo Hendrick Baekeland นักเคมีชาวอเมริกันที่เกิดในเบลเยียม ได้ประสบความสำเร็จในการทำพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแรก โดยใช้ phenol ทำปฏิกิริยาการควบแน่นกับ formaldehyde ได้ผลิตภัณฑ์ เรียกว่า bakelite ถือเป็นพลาสติกสังเคราะห์ชนิดแรกของโลก จากนั้นจึงมีการพัฒนาพลาสติกชนิดอื่นๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จนถึงปัจจุบัน และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา พลาสติกถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม และผลิตเป็นของใช้ในชีวิตประจำวัน จนทำให้ในแต่ละปีพลาสติกถูกผลิตขึ้นมาใช้ประโยชน์มากกว่า 300 ล้านตัน

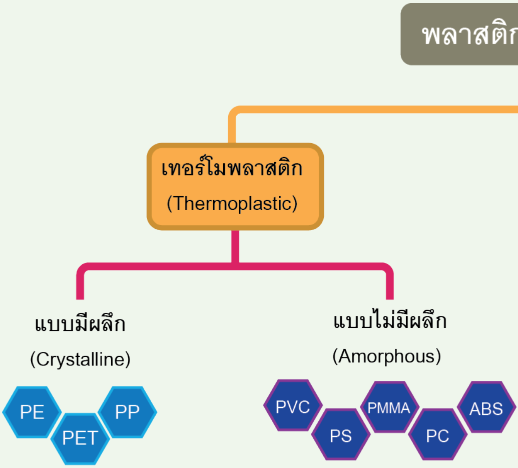
ประเภทพลาสติก

พลาสติกสามารถแบ่งประเภทตามคุณสมบัติทางความร้อนออกเป็น 2 ประเภท (ดังแสดงในภาพที่ 17) คือ

1. Thermoplastic (เทอร์โมพลาสติก) เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลก พลาสติกประเภทนี้เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง สามารถทำให้กลับเป็นรูปเดิม หรือเปลี่ยนเป็นรูปอื่นได้ โดยพลาสติกยังคงสมบัติเหมือนเดิม มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ด้วยเทคนิคพื้นฐาน เช่น การฉีด การอัดรีด หรือการปั่นเป็นเส้นใย

2. Thermosetting plastics (เทอร์โมเซตติงพลาสติก) เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจ คือ มีการหดตัวน้อย ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดัน และทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดี จึงทำให้เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก มีความคงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นลงจะแข็งมาก

และเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ หากอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ เทอร์โมเซตติงพลาสติกต้องการเวลาเพื่อการแข็งตัวมากกว่าเทอร์โมพลาสติก รวมทั้งอาจต้องมีการตกแต่งหลังจากขึ้นรูป



ภาพที่ 17 ประเภทของพลาสติก

ตารางที่ 5 ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต

thermoplastic (เทอร์โมพลาสติก)	thermosetting plastics (เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก)
1. เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกิ่ง	1. เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
2. จะอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	2. จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
3. ต้องทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ มิฉะนั้นจะเสียรูปทรงได้	3. ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ
4. ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์	4.เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์
5. นำมารีไซเคิลโดยการหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้	5.ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้

ชนิดของพลาสติกแบ่งประเภทตามคุณสมบัติทางความร้อน

1 Thermoplastic (เทอร์โมพลาสติก) พลาสติกประเภทนี้ มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว โดยมีการจัดเรียงโมเลกุล 2 รูปแบบ (ดังแสดงในภาพที่ 20) ซึ่งแต่ละรูปแบบจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ การทนความร้อน และการนำไฟฟ้าที่ต่างกัน รายละเอียดดังนี้

1.1 แบบมีผลึก (partial crystalline thermoplastics หรือ crystalline) การเรียงตัวของโมเลกุลเป็นระเบียบและอยู่ใกล้ชิดกัน ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี แต่เนื้อพลาสติกจะมีความขุ่น ตัวอย่างของพลาสติกที่จัดเรียงโมเลกุลแบบมีผลึก มีดังนี้

1.1.1 Polyethylene หรือ PE เป็นพลาสติกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ มีความใส เหนียว และยืดหยุ่นได้ดี PE คือสารที่เป็นส่วนผสมของการขึ้นรูปพลาสติก สามารถขึ้นรูปได้ทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ความหนาแน่นของ PE มี 3 ระดับคือ ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ความหนาแน่นกลาง (MDPE) และความหนาแน่นสูง (HDPE)

1.1.2 Polyethylene terephthalate หรือ PET เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง ไม่มีสี มีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และสามารถรับแรงกระแทกได้ดี มีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซ และสลายตัวยาก และเป็นพลาสติกชนิดเดียวที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ 100% นิยมนำมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ขวดน้ำดื่ม แผ่นฟิล์ม ขวดบรรจุน้ำมันพืช เส้นใยสังเคราะห์ ขวดพลาสติก และภาชนะบรรจุ

1.1.3 Polypropylene หรือ PP เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ ขึ้นรูปได้ง่าย เนื้อพลาสติกมีความโปร่งและเบา มีความแข็ง เหนียว ทนทานต่อสารเคมี คงรูปได้ดี ทนต่อการหักงอได้ปานกลาง และทนความร้อนได้แต่น้อยกว่า PE นิยมนำไปผลิตหลอดพลาสติก ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร (ถุงร้อน) และบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร เพราะเป็นเม็ดพลาสติกที่เป็น food grade มีความปลอดภัย ช่วยป้องกันความชื้นไม่ให้ทะลุผ่านถึงอาหารได้ ข้อจำกัดคือ ไม่ทนต่อความเย็นจึงไม่เหมาะกับการทำบรรจุภัณฑ์อาหารแช่แข็ง และไม่ควรใช้เป็นวัสดุเชื่อมตามข้อต่อต่างๆ

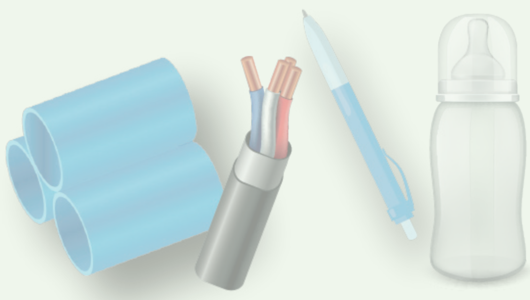
1.2 แบบไม่มีผลึก (amorphous thermoplastic) การเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบและอยู่ห่างกัน ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงที่น้อยกว่า ทนความร้อนได้น้อยว่า แต่เนื้อพลาสติกจะใสกว่า เมื่อเทียบกับแบบมีผลึก ตัวอย่างของพลาสติกที่จัดเรียงโมเลกุลแบบไม่มีผลึก มีดังนี้

1.2.1 Polyvinyl chloride หรือ PVC เป็นพลาสติกแข็ง เปราะ ใส ไม่มีสี ทนต่อสารเคมี สามารถละลายตัวง่ายเมื่อถูกได้รับร้อน ดังนั้น จึงต้องใส่สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ทนต่อแสงได้ดี นิยมนำไปผลิตเป็นข้อต่อท่อ ท่อน้ำ กรอบประตูหน้าต่าง หนังเทียม สายยาง เบาะรถ เสื้อกันฝน ฉนวนหุ้มสายไฟ

1.2.2 Polystyrene หรือ PS เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจาก styrene monomer มีลักษณะแข็ง ใส เปราะ และแตกหักง่าย ทนต่อแรงกระแทกต่ำ ทนต่อด่างและกรด ส่วนใหญ่ถูกนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนในรถยนต์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน ไม้บรรทัดพลาสติก ด้ามปากกา ถังขยะและขวดพลาสติก

1.2.3 Polymethyl methacrylate หรือ PMMA หรือที่เรียกว่า อะคริลิค เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว มีความต้านทานแรงดึง แข็งแรงทนทาน ทนต่อรังสี UV มีความโปร่งใสเหมือนแก้วแต่มีน้ำหนักเบากว่าแก้ว อะคริลิกจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้แทนแก้วในหลายอุตสาหกรรม นอกจากนี้นิยมนำไปผลิตเป็นพลาสติกหุ้มไฟท้ายไฟหน้า หน้าปัดเข็มต่างๆ ในรถยนต์ ใช้ทำเลนส์ โคมไฟ ป้ายร้าน ป้ายโฆษณา

1.2.4 Polycarbonate หรือ PC ถือเป็นพลาสติกวิศวกรรมซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ทำให้ PC ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรม เป็นพลาสติกแข็งมาก โปร่งใส มีความเหนียวสูง ทนกรดไม่ทนด่าง ทนต่อแรงยืดและแรงกระแทก ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส เป็นพลาสติกที่มีราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้ทำวัสดุก่อสร้างและกระจกกันกระสุน ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ฝาครอบฟิวส์ไฟฟ้า ขวดนมเด็ก

1.2.5 Acrylonitrile-butadiene-styrene หรือ ABS เป็นพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการทนแรงกระแทกได้ดี เป็นพลาสติกที่ทนต่อสารเคมี มีความเหนียว มีความโปร่งใสแต่ทึบแสง นิยมใช้สำหรับผลิตสิ่งของที่ต้องใช้งานกลางแจ้ง และงานตกแต่ง เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์กีฬา ท่อส่งก๊าซ วัสดุสำหรับทำเคส (case) หรือตัวห่อหุ้มสินค้าภายนอก เครื่องโทรศัพท์ คีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ ของเล่นเด็กเล่น เช่น ตัวต่อเลโก้ (lego) และเหมาะสำหรับผลิตจาน ชาม โครงพัดลม หมวกกันน็อค และสวิตซ์ไฟฟ้า

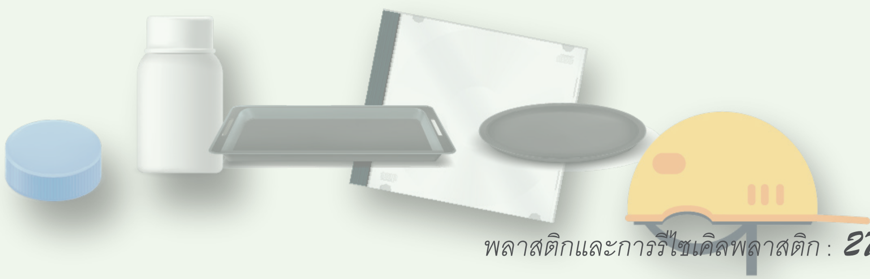
2. Thermosetting plastics (เทอร์โมเซตติ้ง) พลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นร่างแห ทำให้มีความคงรูป สามารถหลอมเหลวขึ้นรูปได้เพียงครั้งเดียว ไม่สามารถคืนสภาพได้หลังจากการขึ้นรูปภายหลังจากการผ่านความร้อนหรือแรงดัน ตลอดจนปฏิกิริยาเคมีได้ (โดยทั่วไปสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส) เมื่อได้รับความร้อนสูงอีกครั้งพลาสติกจะเสื่อมสภาพและสลายตัวไปเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกทำลายจากความร้อน จึงไม่สามารถนำมารีไซเคิลหรือหลอมเหลวได้อีก พลาสติกประเภทนี้ประกอบด้วย

2.1 Phenol formaldehype หรือ PF เป็นพลาสติกที่มีความแข็งมาก ไม่ยืดหยุ่น ไม่หลอมหรือละลายในตัวทำละลายใดๆ ทนความร้อนสูงถึง 200°C นิยมนำมาผลิตเป็นด้ามจับหม้อกระทะ ฝาครอบจานจ่ายรถยนต์ และถาดบรรจุสารเคมี

2.2 Melamine-formaldehyde หรือ MF เป็นพลาสติกที่ทนความร้อนได้ถึง 110 °C มีความแข็งแกร่งมาก นิยมนำไปผลิตเป็นชามพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ และวัสดุผิวโต๊ะ

2.3 Urea-formaldehyde หรือ UF มีความแข็งใกล้เคียงกับชนิด Melamine-Formaldehyde มาก นิยมนำมาผลิตเป็นสวิตซ์ ปลั๊กไฟ

2.4 Polyurethane หรือ PUR เป็นพลาสติกแข็ง ที่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น โฟมโพลียูรีเทนอ่อน ใช้ในการทำเบาะ ฟูก และหีบห่อ ส่วนโฟมโพลียูรีเทนแข็งใช้เป็นฉนวนในตู้เย็น เครื่องแช่แข็ง



การรีไซเคิล พลาสติก

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดจากการใช้พลาสติก คือ การที่ผู้บริโภคใช้พลาสติกเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง ทั้งที่จริงแล้วพลาสติกหลายชนิดสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ โดยเฉพาะพลาสติกในกลุ่ม thermoplastic ที่นำมาผ่านกระบวนการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก การนำมาหลอมใหม่และขึ้นรูปซ้ำทำให้เกิดประโยชน์จากการของเสีย แต่มีข้อควรระวังคือพลาสติกที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลหลายครั้งอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ ดังนั้น การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ควรใช้ผสมเศษพลาสติกในสัดส่วนที่พอเหมาะเท่านั้น สำหรับผลิตภัณฑ์บางประเภทที่ต้องการสมบัติพิเศษควรระวังเรื่องความสะอาดของวัตถุดิบและสิ่งเจือปน อย่างไรก็ตาม พลาสติกรีไซเคิลมักมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือไม่ทนต่อความร้อนหรืออุณหภูมิสูงได้ เพราะจะเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป

ทั้งนี้ พลาสติกรีไซเคิล แบ่งออกเป็น 7 ประเภท (ดังแสดงในภาพที่ 18) ซึ่งสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งสหรัฐอเมริกา (The Society of the Plastics Industry Inc.) ได้กำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานของพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวันที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ โดยใช้สัญลักษณ์ลูกศร 3 ตัว วนไปในทางเดียวกันเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าหรือ เรียกว่า mobius loop เมื่อปรากฏสัญลักษณ์นี้ที่สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ใดหมายถึงว่าผลิตภัณฑ์นั้นสามารถรีไซเคิลได้หรือ ผลิตภัณฑ์นั้นทำมาจากวัสดุรีไซเคิล ส่วนหมายเลขกำกับตรงกลางรูปสามเหลี่ยม และมีอักษรภาษาอังกฤษที่ฐานสามเหลี่ยม คือ การจัดประเภทหรือชนิดพลาสติกที่จะนำมารีไซเคิลได้

7 ประเภทพลาสติก
ควร แยก ก่อนทิ้ง รีไซเคิล ต่อได้

สัญลักษณ์	ชื่อเต็ม	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	คุณสมบัติ
1 PETE	**พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต** (Polyethylene Terephthalate)	ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำมันพืช	พลาสติกพอลิเมอร์ใส เนื้อเหนียวมีความทนทานต่อแรงกระแทก และมีคุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดี
2 HDPE	**พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง** (High-density Polyethylene)	ขวดแชมพู ถุงพลาสติก ถังขยะ	พลาสติกมีความหนาแน่นสูงทำให้แข็งแรง แต่โปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำทนกรดและด่างทั้งยังป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี
3 PVC	**พอลิไวนิลคลอไรด์** (Polyvinyl Chloride)	ท่อน้ำประปา ฉนวนหุ้มสายไฟ	เป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงมาก ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอสมควรแต่ป้องกันไขมันได้ดี
4 LDPE	**พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ** (Low-density Polyethylene)	ถุงใส่ของ ถุงบรรจุอาหารแช่แข็ง	เป็นพลาสติกโปร่งแสงที่มีปริมาตรสูง แต่ความหนาแน่นต่ำ
5 PP	**พอลิโพรพิลีน** (Polypropylene)	ฝาขวด ขวดยา	เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาที่สุด แต่มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกระแทก และความร้อนสูง
6 PS	**พอลิสไตรีน** (Polystyrene)	ถ้วย จาน กล่องใส่ CD	เป็นพลาสติกที่มีความโปร่งใส เปราะบาง แต่ทนต่อกรดและด่าง ผลิตเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย ไอน้ำ และอากาศซึมผ่านได้พอสมควร
7 OTHER	**พลาสติกอื่น ๆ** (Other)	ปากกา ขวดนมเด็ก หมวกนิรภัย	ยังมีพลาสติกอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาหลอมใหม่หรือรีไซเคิล ดังนั้น ถ้าไม่ใช่พลาสติก 6 ชนิดแรก จะถูกนำมาจัดอยู่ในพลาสติกชนิดที่ 7

วิธีแยกก่อนทิ้ง

- แยกทิ้งตามประเภทพลาสติกโดยสังเกตจากสัญลักษณ์บนบรรจุภัณฑ์
- ทำความสะอาดด้วยน้ำเล็กน้อย
- ไม่เขี่ยบุหรี่หรือทิ้งสิ่งสกปรกไว้ในขวดพลาสติก
- แยกทิ้งระหว่างฝากับขวดเพราะเป็นพลาสติกต่างชนิดกัน

ภาพที่ 18 พลาสติกที่ควรแยกก่อนทิ้งเพื่อนำไปรีไซเคิล

กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก

การรีไซเคิลพลาสติก คือ กระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ หรือการนำพลาสติกมาแปรรูปใช้ใหม่ (recycled plastic) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถช่วยลดปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตพลาสติกบริสุทธิ์และลดขยะอันตรายในกระบวนการผลิตพลาสติกบริสุทธิ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุรีไซเคิลนั้นจะมีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ เช่น การนำขวดพลาสติกมาหลอมและฉีดขึ้นรูปใหม่เป็นภาชนะบรรจุ เป็นต้น

ในกระบวนการรีไซเคิลนั้น สิ่งสำคัญคือ ต้องทำการคัดแยกประเภทพลาสติกก่อน เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีน้ำหนักและความซับซ้อนทางโครงสร้างโมเลกุลสูง ทำให้พลาสติกแต่ละชนิดไม่สามารถผสมเข้าด้วยกันได้เหมือนวัสดุชนิดอื่น เช่น แก้ว หรือโลหะ ซึ่งการรีไซเคิลนั้นแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก (ภาพที่ 19)

ภาพที่ 19 การรีไซเคิลพลาสติก 4 ประเภท

1 การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (primary recycling) เป็นการนำขวด หรือพลาสติกประเภทเดียวกัน และไม่มีสิ่งอื่นเจือปน ที่เกิดในกระบวนการผลิต หรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมด หรือเติมผสมกับพลาสติกใหม่ที่อัตราส่วนต่างๆ

2 การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (secondary recycling) หรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอม และขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง สามารถแบ่งได้เป็นหลายเทคนิค คือ

2.1 การรีไซเคิลเชิงกล (mechanical recycling) ทำโดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว คัดแยกตามประเภท และสี ล้างทำความสะอาด ก่อนนำมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรด 2 หรือเม็ดพลาสติก รีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือนำมาผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการก่อนนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป

2.2 การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (chemical modification) คือ การทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกใหม่ การปรับปรุงทางเคมีนี้สามารถใช้ได้กับทั้งพลาสติกชนิดเดียวหรือพลาสติกผสม ถ้าเป็นพลาสติกชนิดเดียวก็จะใช้การเติมสารเคมีหรือใช้วิธีการผ่านด้วยรังสี แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากันที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า compatibilizer

2.3 การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (co-extrusion and co-injection molding) เหมาะสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆ เหมือนแซนด์วิช โดยที่ผิวหน้าเป็นชั้นที่ผลิตจากพลาสติกใหม่ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดี และมีสีสันน่าใช้ ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

3 การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (tertiary recycling) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

3.1 การรีไซเคิลทางเคมี (chemical recycling) เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก (depolymerisation) ได้มอนอเมอร์ (monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นและตกผลึกได้เป็นสารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงซึ่ง นิยมใช้ในการรีไซเคิลพลาสติก PET

3.2 การรีไซเคิลทางความร้อน (thermolysis) โครงสร้างของพลาสติกสามารถเกิดการแตกหรือขาดได้โดยใช้ความร้อน เรียกว่า thermolysis แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

(1) แบบไม่ใช้ออกซิเจน (pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นเป็น ของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบสังเคราะห์ (synthetic crude oil) สามารถนำกลับไปใช้ในโรงกลั่นและส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนภายในกระบวนการ

(2) แบบใช้ออกซิเจนบางส่วน (gasification) เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบจำกัดการใช้ออกซิเจนในการเข้าทำปฏิกิริยา กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า pyrolysis ผลลัพธ์ที่ได้คือ syngas ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง แต่ถ้าทำการแยกก่อนนำมาใช้ในรูปของสารเคมีจะมีมูลค่าสูงขึ้น 2 – 3 เท่า

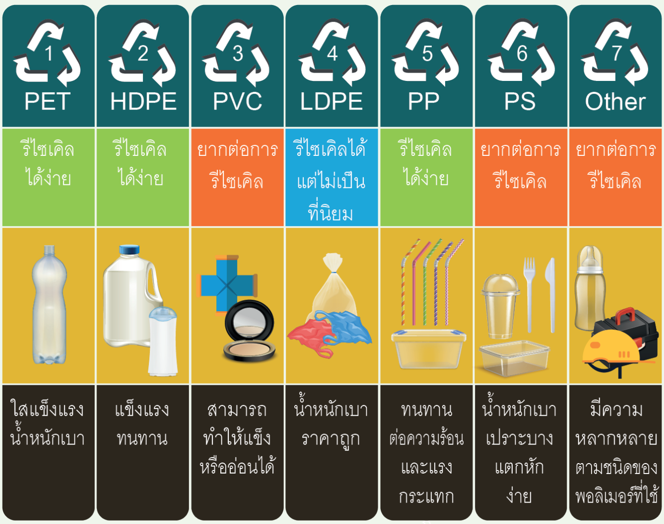
(3) การเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงมาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสายโซ่พอลิเมอร์จะถูกทำให้แตกหรือขาดออกจากกันด้วยความร้อนและสัมผัสกับไฮโดรเจนที่มากเกินพอที่ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ จนเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (cracking) และเกิดการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือดีเซล

กระบวนการรีไซเคิลทางความร้อนถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมีเพราะสามารถจัดการขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลาสติกได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูงและมีการผสมหรือปนเปื้อนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูง อย่างไรก็ตามพลาสติกที่จะนำมารีไซเคิลทางความร้อนก็ควรมีการคัดขนาดหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกบ้าง

4 การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (quaternary recycling) พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 22 - 46 MJ/kg ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านหิน (29 MJ/kg) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ

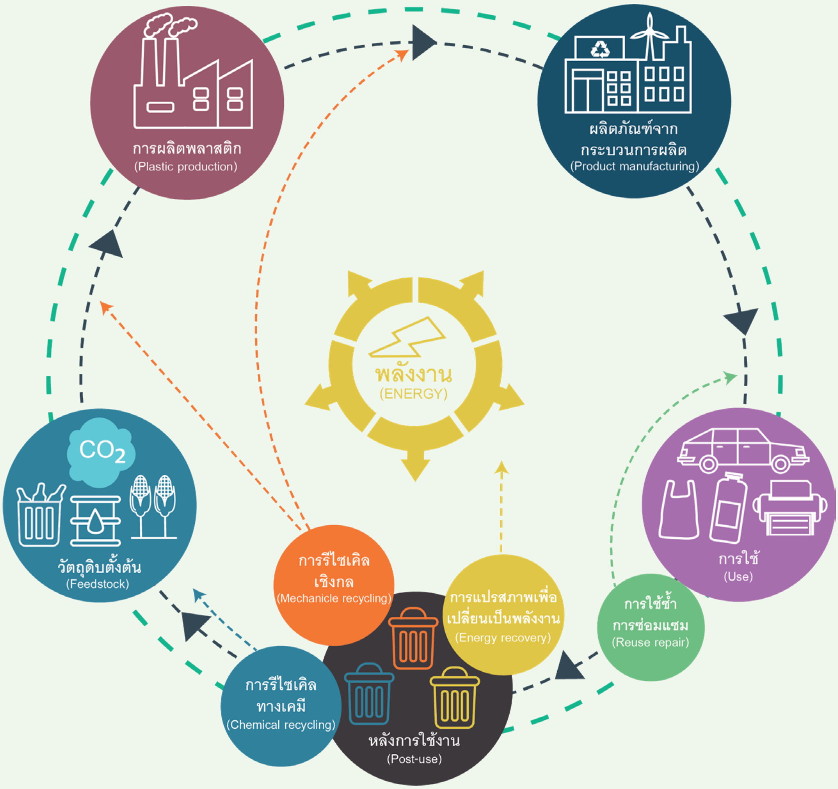
ประเภทของพลาสติกกับการรีไซเคิล

พลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ได้ทั้งหมดเกือบทุกประเภท ยกเว้นพลาสติกบางชนิดที่มีข้อจำกัดบางประการในการรีไซเคิล เช่น พลาสติกพีวีซี เมลามีน พลาสติกที่มีน้ำหนักเบารวบรวมได้ยาก หรือ บรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกหลายชนิด เหล่านี้ไม่เป็นที่นิยมในการนำกลับมารีไซเคิลได้ ทั้งนี้ ประเภทของพลาสติกที่นิยมนำกลับมารีไซเคิล ได้แก่



ภาพที่ 20 ประเภทของพลาสติกที่นิยมนำกลับมารีไซเคิล

เมื่อพิจารณากระบวนการรีไซเคิลพลาสติกดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า การรีไซเคิลพลาสติกเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้การใช้ทรัพยากรเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเริ่มตั้งแต่กระบวนการจัดการวัตถุดิบ การผลิต รวมทั้งการแปรสภาพให้อยู่ในรูปของพลังงาน โดยภาพที่ 21 สะท้อนให้เห็นภาพรวมของปรากฏการณ์ดังกล่าวได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 21 วงจรชีวิตของพลาสติก

ที่มา : Woldemar (2019)

โดยปัจจุบัน ขวดพลาสติก PET ขนาด 1.5 ลิตรมีน้ำหนักเพียง 26.8 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักลดลงจากเดิม เกิดจากการใช้วัสดุอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ใช้วัตถุดิบลดลง 66% ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ทำให้รถบรรทุก 1 คันสามารถขนส่งได้มากขึ้น ส่งผลต่อการลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษอย่างมีนัยสำคัญ (Stadler, 2020)

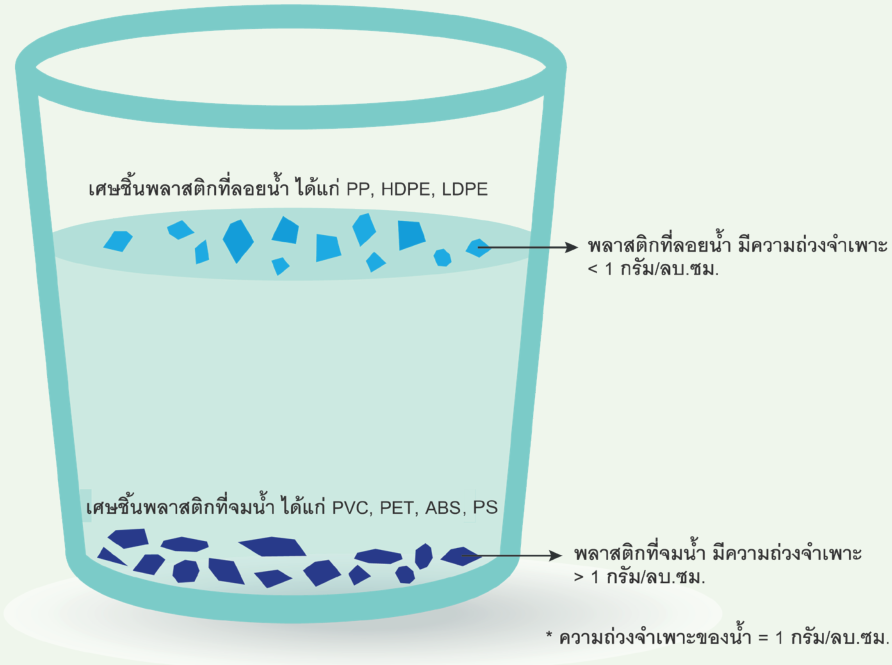
ขั้นตอนการรีไซเคิลพลาสติก

การรีไซเคิลพลาสติกมีขั้นตอนดังนี้

1 ขั้นตอนการตรวจสอบ (inspection) ขั้นตอนแรกเป็นการตรวจสอบและแยกสิ่งที่ปะปนออกจากขยะพลาสติก เช่น ก้อนหิน แก้ว รวมถึงพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้

2 ขั้นตอนการตัดบดและการทำความสะอาด (chopping and washing) ขั้นตอนที่สองเป็นการนำพลาสติกมาล้างทำความสะอาด

3 ขั้นตอนคัดแยกประเภทพลาสติกโดยการลอยน้ำ (floatation tank) เนื่องจากพลาสติกแต่ละประเภทมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ดังนั้น เมื่อนำมาลอยน้ำพลาสติกบางประเภทจะจม เช่น PS PVC PET ABS ส่วนพลาสติก PP HDPE LDPE จะลอย วิธีนี้ถือเป็นการคัดแยกอย่างง่าย (ภาพที่ 22)



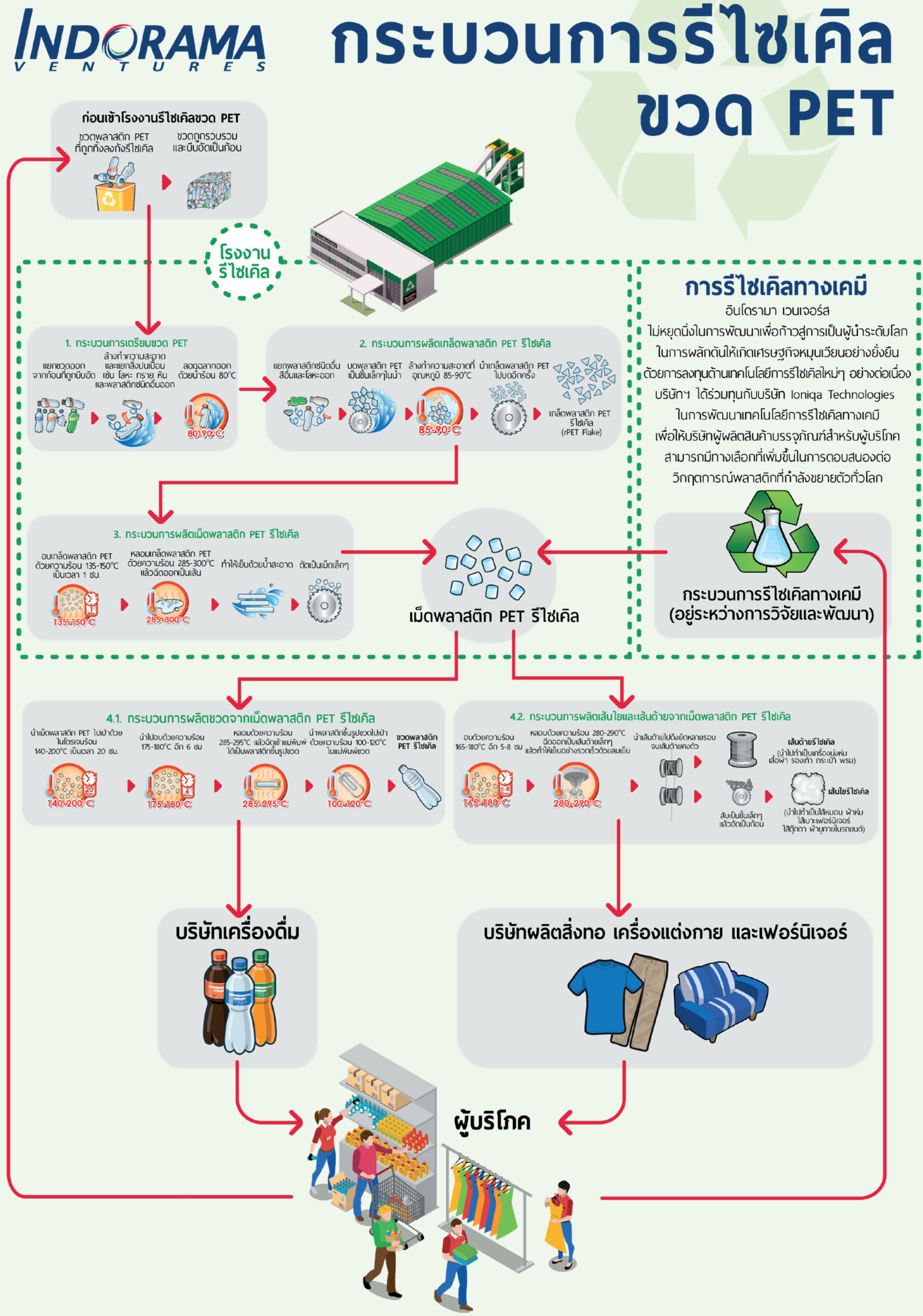
ภาพที่ 22 การคัดแยกประเภทพลาสติกโดยการลอยน้ำ
ที่มา : S. Serranti & G. Bonifazi (2019)

4 ขั้นตอนการทำให้แห้ง (drying) นำพลาสติกที่คัดแยกประเภทพลาสติกโดยการลอยน้ำมาทำให้แห้งผ่านเครื่องอบแห้ง (tumble dryer)

5 ขั้นตอนการหลอมตัวด้วยความร้อนและความดัน (melting) พลาสติกจะถูกนำไปหลอมที่เครื่องอัดรีด (extruder) ทั้งนี้อุณหภูมิและความดันที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของพลาสติก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกัน

6 ขั้นตอนการกรอง (filtering) พลาสติกที่ถูกหลอมแล้วจะต้องผ่านการกรองอย่างละเอียดอีกครั้งเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออก จากนั้นพลาสติกที่หลอมจะไหลผ่านเครื่องอัดรีด (extrusion) เพื่อทำให้พลาสติกออกมาเป็นเส้น

7 ขั้นตอนการทำเม็ดพลาสติก (pelletizing หรือ granulation) เมื่อได้เส้นพลาสติกแล้วนำมาลดอุณหภูมิให้เย็นโดยการแช่น้ำแล้วจึงนำมาตัดเป็นเม็ดเล็กๆ และส่งไปโรงงานผลิตพลาสติกเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

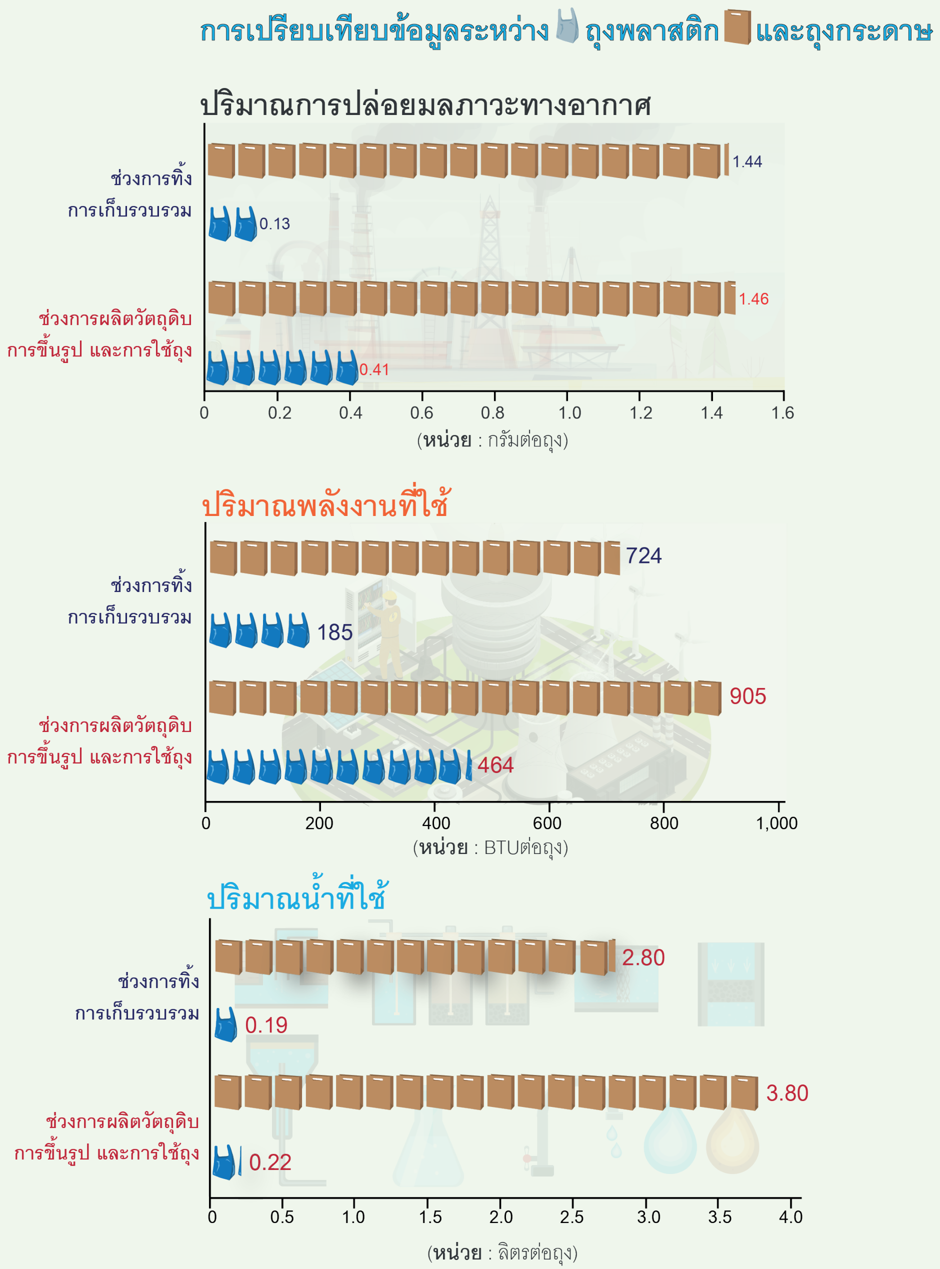


ภาพที่ 23 กระบวนการรีไซเคิลพลาสติกของบริษัท อินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด (มหาชน)

อีกหนึ่งมุมมองเกี่ยวกับ
การรีไซเคิลพลาสติก

ในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่อาจเข้าใจว่า พลาสติกนั้นเป็นสาเหตุสำคัญของการทำลายสิ่งแวดล้อม แต่ในอีกมุมหนึ่งพลาสติกก็มีข้อดีหลายด้าน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ กับพลาสติก พบว่า พลาสติกมีส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เช่น เมื่อเปรียบเทียบทั้งวงจรชีวิตระหว่างถุงพลาสติกและ ถุงกระดาษ พบว่าถุงพลาสติกปล่อยมลภาวะทางอากาศน้อยกว่าถุงกระดาษ และยังใช้พลังงานและน้ำสะอาดน้อยกว่าถุงกระดาษเป็นจำนวนมาก จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่าในปริมาณการผลิตที่เท่ากัน ถุงกระดาษสร้างมลภาวะทางอากาศมากกว่า 6.6 เท่า ใช้พลังงานมากกว่า 2.5 เท่า และใช้น้ำสะอาดมากกว่าถึง 16.1 เท่า

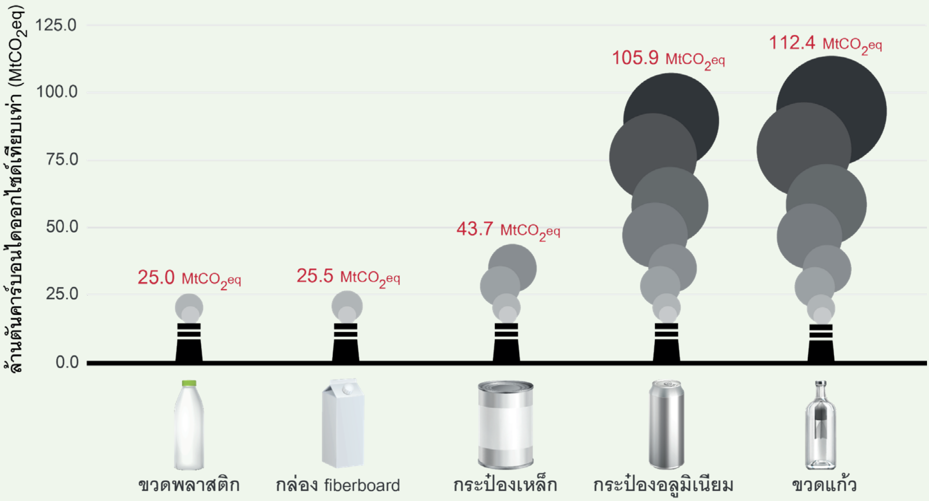
จากข้อมูลดังกล่าวสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า ทั้งการผลิตถุงพลาสติกและถุงกระดาษมีความจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรธรรมชาติ โดยพลาสติกได้จากสารตั้งต้น คือ แก๊สธรรมชาติ หรือน้ำมันดิบ ส่วนกระดาษนั้นได้จากเส้นใยเซลลูโลสของต้นไม้ เมื่อได้วัตถุดิบแล้วกระบวนการผลิตจนถึงขึ้นตอนการขนส่งจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ สุดท้ายจะถูกทิ้งและมีผู้รวบรวมกลับมาใหม่ ซึ่งในทุกๆ ขั้นตอนมีการปล่อยมลภาวะทางอากาศ (ในที่นี้คิดเฉพาะก๊าสเรือนกระจก) การใช้พลังงาน ตลอดจนปริมาณน้ำสะอาดที่ต้องใช้ เมื่อพิจารณาบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ กับการปลดปล่อยคาร์บอน ผลิตภัณฑ์พลาสติกใช้ทรัพยากรก๊าซธรรมชาติและปิโตรเลียมเพียง 5% ของการใช้ก๊าซธรรมชาติและปิโตรเลียมทั้งหมดของประเทศไทย ดังนั้น พลาสติกจึงไม่ได้เป็นต้นเหตุสำคัญในการทำให้ทรัพยากรก๊าซธรรมชาติและปิโตรเลียมลดน้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้ในกิจกรรมอื่น



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างถุงพลาสติกและถุงกระดาษ

ที่มา : Franklin Associates, A Division of Eastern Research Group (ERG)

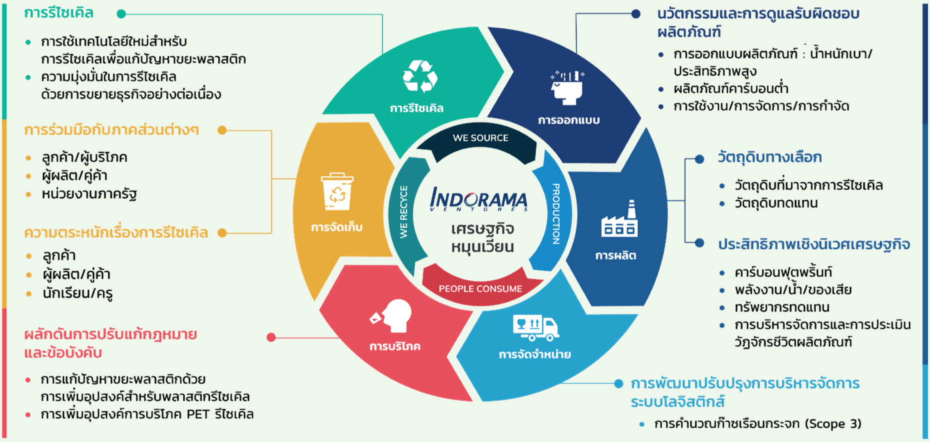
นอกจากนี้ จากข้อมูลของ Voulvoulis N. *et al.* (2019) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) ของบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มที่ผลิตจากวัสดุต่าง ๆ ซึ่งพบว่า การผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุไม่ว่าจะเป็นพลาสติกหรือวัสดุอื่นล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตขวด PET ปริมาตร 500 มล. กับวัสดุทางเลือกอื่น ๆ ในปริมาตรเท่ากัน กลับพบว่า การผลิตขวดพลาสติกมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มที่ผลิตด้วยกล่อง fiberboard กระป๋องเหล็ก กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้ว ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มปริมาตร 500 มล. จากวัสดุต่าง ๆ
ที่มา : Voulvoulis N. *et al.* (2019)

เศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy)
กับอุตสาหกรรมพลาสติก

เศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ Circular Economy เป็นโมเดลการดำเนินธุรกิจที่เปลี่ยนระบบการผลิตแบบเส้นตรง (Linear Economy) take-make-use-dispose ที่เน้นการผลิตและบริโภคที่ก่อให้เกิดขยะจำนวนมากมาเป็นระบบการผลิตที่ให้ความสำคัญกับการจัดการขยะและสินค้าหลังจากการบริโภค มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและนำสินค้าที่ใช้แล้วกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตได้อีก (Make-Use-Return) ส่งเสริมให้เกิดความสมดุลของธุรกิจ คุณภาพชีวิต และอนาคตโลกที่ยั่งยืน



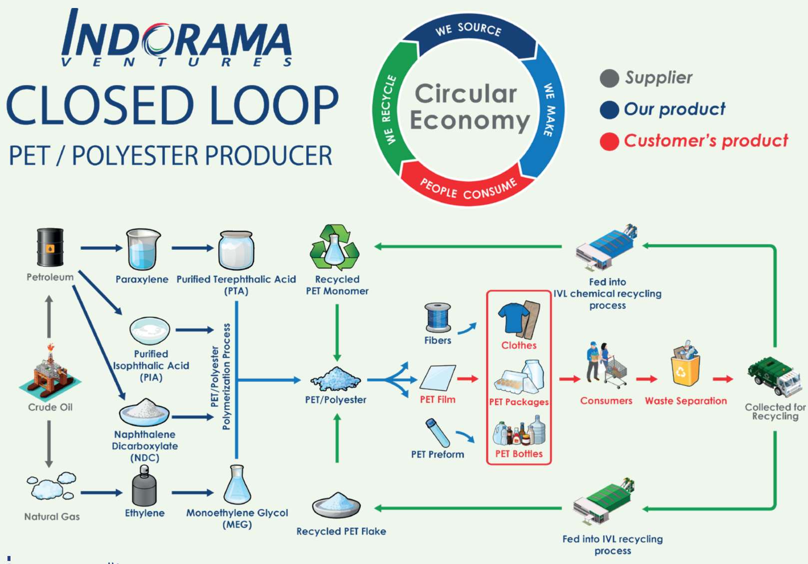
ภาพที่ 26 ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน
ที่มา : บริษัท อินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด มหาชน

ทั้งนี้ การนำ circular economy มาใช้ในการจัดการของเสียต้องเริ่มต้นจากการออกแบบกระบวนก ารผลิตให้ประหยัดทรัพ ยากรมากที่สุด และผู้บริโภคสามารถใช้งานได้คุ้มค่า ที่สุด หรือสามารถนำก ลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุด โดยต้องมีการคัดแยกจัดเก็บอย่างเป็นระบบจากผู้ใช้งาน แต่หากไม่สามารถนำมาใช้ต่อในรูปแบบเดิมได้อย่างน้อยที่สุดก็ต้องสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงต่อได้ ซึ่งการตื่นตัวเกี่ยวกับการนำแนวคิด circular economy ในหลายอุตสาหกรรม ส่งผลให้ผู้ผลิตสินค้าต่างๆ มีการนำวัสดุเหลือใช้มาสร้างมูลค่าด้วยการออกแบบ รวมทั้งการนำของเก่ากลับมาใช้ใหม่ และการออกแบบให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ต้น

การรีไซเคิลพลาสติก
ตามแนวคิด circular economy

ในหลายประเทศทั่วโลกได้มีการนำแนวคิด circular economy มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศและองค์กรของตนเอง โดยอุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่นำหลักการ circular economy มาประยุกต์ได้อย่างเป็นรูปธรรมช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน ซึ่งขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นถ้าปล่อยให้อยู่ในรูปแบบเดิม take-make-use-dispose และไม่มีการเอาไปใช้ประโยชน์ หรือกำจัดทิ้งจะสามารถเพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณภายในระยะเวลาอันสั้น ด้วยเหตุนี้ ขยะพลาสติกถูกมองว่าเป็นปัญหาระดับโลก ที่ควรได้รับการจัดการอย่างจริงจัง

อย่างไรก็ตาม สหภาพยุโรปได้ออกกฎระเบียบใหม่ที่ระบุว่าภายในปี พ.ศ. 2568 ขวดเครื่องดื่มต้อ งมีส่วนผสมของพลาสติกรีไซเคิล 25% และเพิ่มเป็น 30% ภายในปี พ.ศ. 2573 จากข้อกำหนดดังกล่าวร่วมกับการปรับพฤติกรรมของผู้บริโภคจะทำให้อัตราการรีไซเคิลพลาสติกเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (Stadler, 2020)



ภาพที่ 27 การรีไซเคิลพลาสติกตามแนวคิด circular economy

ที่มา : บริษัท อินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด มหาชน

The United Nations (UN) ได้กำหนดปัญหาขยะพลาสติกไว้ประเด็นสำคัญของวาระระดับโลก และระบุไว้ใน sustainable development goals (SDGs) ที่ได้รับการรับรองโดย 193 ประเทศสมาชิกสหประชาชาติเมื่อเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2558 ประกอบด้วยเป้าหมายหลายประการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรและการจัดการขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากเป้าหมาย 17 ข้อการบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน (SDG 12) และการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนของทะเลและทรัพยากรทางทะเล (SDG 14) มีความเกี่ยวข้องมากที่สุดกับขยะพลาสติกและพลาสติก โดยในปี พ.ศ. 2559 สมัชชาสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEA-2) ได้มีมติที่ 2/11 ซึ่งเรียกร้องให้มีการพิจารณาเรื่องขยะพลาสติกและการรีไซเคิล

ในปัจจุบันภาครัฐได้เตรียมตัวเพื่อตอบรับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนภายใต้ข้อตกลง ASEAN-UN Plan of Action 2016 – 2020 โดยการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ที่เน้นการขับเคลื่อนประเทศสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งกระทรวงอุตสาหกรรมมีบทบาทสำคัญในด้านการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมพลาสติก โดยมีแผนมุ่งปรับโครงสร้างการผลิตในประเทศไทยให้เป็นแบบหมุนเวียน เพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปกับการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ ส่งเสริมการปรับรูปแบบธุรกิจให้สร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ใหม่จากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ในประเทศ

สำหรับสถานการณ์ในปัจจุบัน จากรายงานของสถาบันพลาสติก พบว่า ประเทศไทยผลิตขยะพลาสติกจำนวน 2,000,000 ตันต่อปี แต่มีเพียงหนึ่งในสี่ส่วนเท่านั้น ซึ่งส่วนมากจะเป็นพลาสติก PET ที่มีการนำไปรีไซเคิลอย่างถูกต้อง เนื่องจากในปัจจุบันยังขาดการบริหารจัดการ ขาดมาตรการส่งเสริมการคัดแยกขยะที่เป็นระบบโดยรวม ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนเศษพลาสติกที่สะอาด จึงมีต้นทุนในการรีไซเคิลสูงและไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงผู้ประกอบการรายย่อยที่เทคโนโลยีการผลิตยังไม่ได้รับการพัฒนา ขาดมาตรฐานการรับรอง ไม่ได้อยู่ในระบบที่ทางภาครัฐจะสามารถตรวจสอบให้ความสนับสนุนได้ จึงต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วนที่จะต้องมาพูดคุยกันหาทางออกที่เหมาะสมกับทุกฝ่าย ทั้งนี้ ประเทศไทยได้ประกาศว่าในปี พ.ศ. 2564 จะยกเลิกการนำเข้าขยะพลาสติกอย่างเด็ดขาด จึงเป็นโอกาสที่ดีที่สุดที่จะได้ทบทวนและวางแผนการบริหารจัดการขยะพลาสติกของประเทศที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก 20 ปี ของประเทศไทยได้กำหนดแผนเลิกใช้พลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวทิ้งทั้ง 7 ชนิดภายในปี พ.ศ. 2568 (ภาพที่ 28)

ภาพที่ 28 พลาสติก 7 ชนิดที่จะถูกเลิกใช้ในประเทศไทย
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

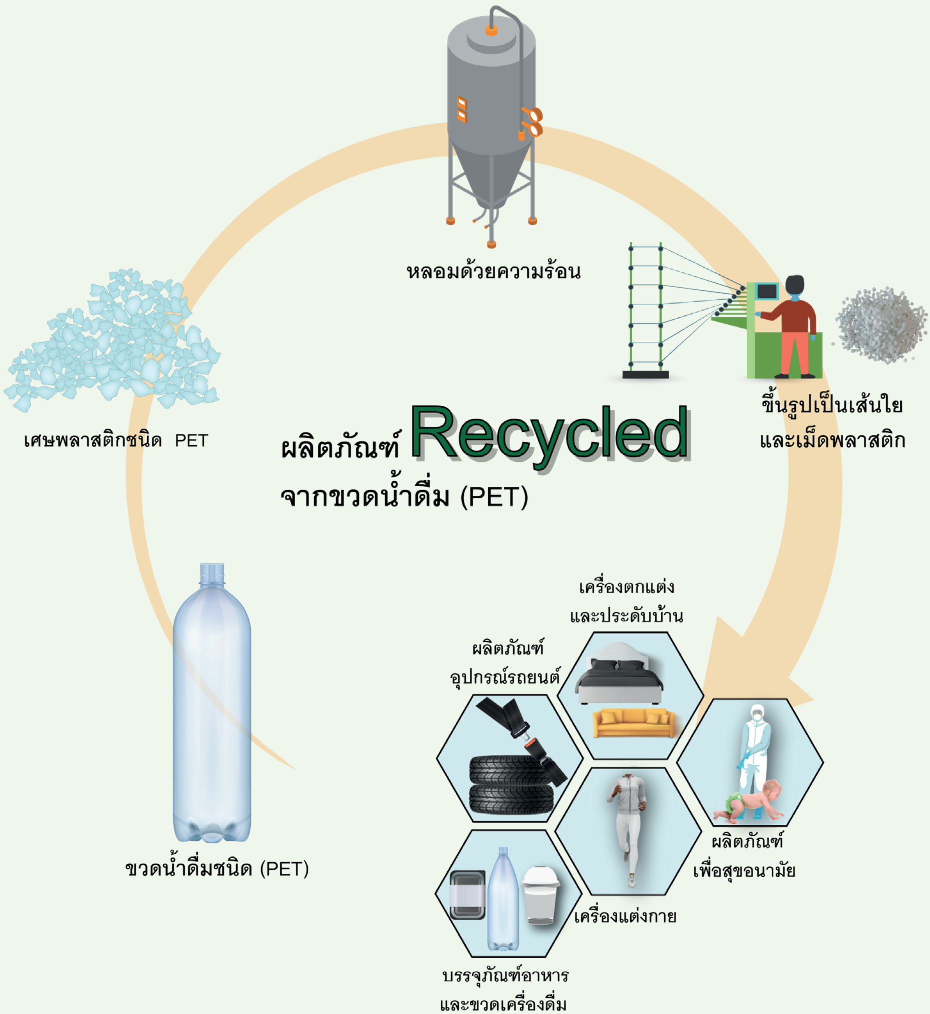
จากมาตรการดังกล่าว นับว่าเป็นการยกระดับการจัดการปัญหาขยะ โดยการนำระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมพลาสติกที่จะทำให้ผู้ประกอบการ เจ้าของโรงงานพลาสติกทั้งหลายได้พัฒนาตนเองไปสู่การสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์พลาสติกใหม่ๆ ที่ใช้ได้นาน และนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้จนคุ้มค่า

ความรู้ฝากท้ายเล่ม

กิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันล้วนก่อให้เกิดขยะอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะขยะจากบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น แม้ว่าผู้ผลิตพยายามเปลี่ยนวัสดุบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกเป็นภาชนะที่ย่อยสลายได้หรือเป็นพลาสติกรีไซเคิลแล้วก็ตาม สิ่งสำคัญอยู่ที่เมื่อใช้บรรจุภัณฑ์เสร็จสิ้นแล้วควรจัดการให้ถูกวิธีและทิ้งขยะให้เป็นที่ ไม่ควรทิ้งขยะตามท้องถนนและตามที่สาธารณะ ซึ่งหากทิ้งขยะมูลฝอยตามประเภทของถังขยะที่กำหนดไว้อย่างน้อยขยะเหล่านี้ก็จะถูกนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี โดยเฉพาะขยะพลาสติก หากคัดแยกดีแล้วก็สามารถนำไปรีไซเคิลกลับเป็นเม็ดพลาสติกนำมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ ยังมีเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนพลาสติกให้เป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้

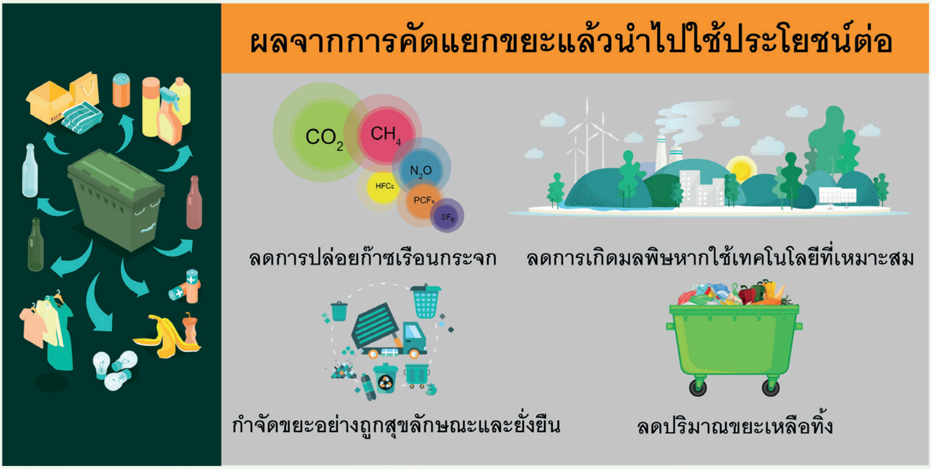
สำหรับการ Recycle นั้น เป็นการนำวัสดุที่ไม่สามารถใช้งานซ้ำได้แล้ว หรือวัสดุที่อยู่ในสภาพแตกหัก เสียหาย เข้าสู่กระบวนการแปรรูปเพื่อผลิตเป็นวัสดุชนิดเดิม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้วัตถุดิบให้น้อยลงแทนการใช้วัสดุใหม่ทั้งหมด อย่างเช่น ขวดพลาสติกใช้แล้วเมื่อผ่านการรีไซเคิลแล้วจะได้ขวดพลาสติกใหม่ ส่วนการ Upcycle นั้นเป็นการนำวัสดุเก่ามาเพิ่มมูลค่า แปรเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อใช้ประโยชน์ในรูปแบบใหม่ ซึ่งการ Recycle และ Upcycle นี้แม้เป็นการนำวัสดุเก่ากลับมาใช้แต่ยังต้องใช้พลังงานหรือสารเคมีในการแปรสภาพเช่นกัน

โดยรวม Upcycle อาจดูคล้ายคลึงกับ Recycle แต่สองกระบวนการนี้มีวิธีการและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันในการจัดการขยะมูลฝอย ข้อดีที่เหมือนกันคือ ช่วยในการนำขยะกลับคืนสู่วงจร ทั้งสองกระบวนการนี้จึงเป็นวิธีการจัดการปัญหาขยะที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 29 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการ Recycle และ Upcycle จากขวดพลาสติก PET



ภาพที่ 29 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการ Recycle และ Upcycle จากขวดพลาสติก PET

อย่างไรก็ตาม ทั้งกระบวนการ upcycle และ recycle เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอย ซึ่งหากมีการคัดแยกขยะที่ถูกต้องตั้งแต่ต้นทางและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป จะส่งผลที่สำคัญ 4 ประการ ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ผลจากการคัดแยกขยะแล้วนำไปใช้ประโยชน์ต่อ

สุดท้ายนี้ แม้ว่าการ Recycling และ Upcycling จะช่วยในการจัดการขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดภาระการกำจัดที่ปลายทาง โดยการนำขยะกลับคืนสู่วงจร แต่ทั้งหมดนี้อาจจะยังไม่เพียงพอต่อการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม สิ่งที่ดีที่สุดคือ ลดการสร้างขยะ ลดการสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เมื่อกลายเป็นขยะแล้วสามารถส่งคืนกลับสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่สร้างปัญหาให้สิ่งแวดล้อม และที่สำคัญคือ ควรทิ้งขยะให้ถูกที่ และทิ้งขยะให้ถูกถังเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาจัดการ ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

แบบทดสอบท้ายเล่ม

1 โยงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขยะมูลฝอย ประเภทมูลฝอย และเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอย　ประเภทขยะมูลฝอย　เทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอย

2 ให้จับคู่ชนิดของขยะ กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ recycle และ upcycle

เอกสารอ้างอิง

องค์กรธุรกิจเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. 2562. TBCSD Sustainable Development 2019. มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. นนทบุรี. 178 หน้า

Voulvoulis, N., R. Kirkman, T. Giakoumis, P. Metivie, C. Kyle and V. Midgley. 2019. EXAMINING MATERIAL EVIDENCE THE CARBON FINGERPRINT. Centre for Environmental Policy, Imperial College London.

Franklin Associates, A Division of Eastern Research Group (ERG). 2018. LIFE CYCLE IMPACTS OF PLASTIC PACKAGING COMPARED TO SUBSTITUTES IN THE UNITED STATES AND CANADA Theoretical

Luque, R. and J.G. Speight. 2015. Gasification for Synthetic Fuel Production: Fundamentals, Processes and Applications. Elsevier Ltd. United Kingdom.

Suma, Y., N. Pasukphun, A. Hongtong, V. Keawdunglek, P. Laor and T. Apidechkul. 2019. Waste composition evaluation for solid waste management guideline in highland rural tourist area in Thailand. Applied Environmental Research 41(2): 13-26.

S. Serranti and G. Bonifazi. 2019. Chapter 2 - Techniques for separation of plastic wastes. Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. Pages 9-37. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00002-5

Stadler. 2020. PET recycling: towards a circular economy. source : https:/www.recycling-magazine.com/2020/06/08/pet-recycling-towards-a-circular-economy

Substitution Analysis: source: https://www.plasticpackagingfacts.org/wp-content/uploads/2018/11/Life-Cycle-Impacts-of-Plastic-Packaging-Compared-to-Substitutes-in-the-United-States-and-Canada.pdf

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993, Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill Inc., US.

The inventory of Carbon & Energy (ICE) database, Circular ecology. DEFRA, Fraunhofer Institute. 2011. A BSRIA Guide: Embodied Carbon The inventory of Carbon and Energy (ICE). Source: https://greenbuildingencyclopaedia.uk/wp-content/uploads/2014/07/Full-BSRIA-ICE-guide.pdf

ภาคผนวก :

การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

(Composition of solid waste)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยของแหล่งกำเนิดที่ศึกษา

หลักการ

ขยะมูลฝอยชุมชนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอยเหล่านี้ในการคาดการณ์แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในขั้นตอนต่อไป องค์ประกอบของขยะที่รวมอยู่ในขยะมูลฝอยสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

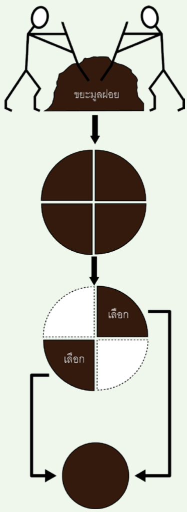
- เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ (garbage)
- กระดาษ (paper)
- พลาสติกและโฟม (plastic and foam)
- ยาง (rubber)
- หนัง (leather)
- ผ้า (textile)
- ไม้ (wood)
- แก้ว (glass)
- โลหะ (metal)
- หิน กระเบื้อง (stone and ceramic)
- ขยะอันตราย เช่นถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ กระป๋องบรรจุสารเคมี
- อื่นๆตามที่สังเกตได้จากกองขยะ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ผ้ายาง พลาสติกปูโต๊ะ หรือพื้น สำหรับแยกประเภทขยะ
2. ถุงมือยาง
3. หน้ากากกันฝุ่นและกลิ่น
4. ถาดอลูมิเนียม หรือถุงพลาสติก
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. ปากคีบ
7. เตาอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. กรณีแหล่งกำเนิดที่มีปริมาณขยะมูลฝอยมาก ปรับกองขยะมูลฝอยและสุ่มตัวอย่างแบบ quartering กระทำซ้ำจนกระทั่งเหลือน้ำหนักของขยะมูลฝอยประมาณ 10% ของน้ำหนักขยะมูลฝอยเริ่มต้น เพื่อได้ตัวอย่างขยะมูลฝอยที่เป็นตัวแทนของขยะมูลฝอยทั้งหมดในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป และมีปริมาณเพียงพอในการวิเคราะห์คุณสมบัติ กรณีที่แหล่งกำเนิดมีปริมาณขยะมูลฝอยน้อยใช้ขยะมูลฝอยทั้งหมดในการวิเคราะห์



ปรับกองขยะมูลฝอยและสุ่มตัวอย่างแบบ quartering

2. กรณีที่แสดงข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอยเปรียบเทียบด้วยน้ำหนักสด
   a. คัดแยกขยะแต่ละประเภท (ตารางที่ 1)
   b. คำนวณสัดส่วนของขยะมูลฝอยแต่ละประเภทดังสมการที่ 1
3. กรณีที่แสดงข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอยโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นแห้ง
   a. คัดแยกองค์ประกอบออกตามประเภทต่างๆ
   b. ชั่งน้ำหนักของขยะแต่ละประเภท
   c. อบตัวอย่างขยะที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 4-5 วัน จนน้ำหนักขยะคงที่
   d. ชั่งน้ำหนักแห้งของขยะในแต่ละประเภท
   e. คำนวณสัดส่วนของขยะมูลฝอยเปรียบเทียบด้วยน้ำหนักแห้งแต่ละประเภท ดังสมการที่ 1

$$Ci = \frac{W_i}{W} 100 \qquad (1)$$

เมื่อ

C_i = ร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยประเภท i

W_i = น้ำหนักขยะมูลฝอยประเภท i

W = น้ำหนักขยะรวม

รายงานผลปฏิบัติการ
การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ชื่อผู้รายงาน..

วันที่ทำการทดสอบ..

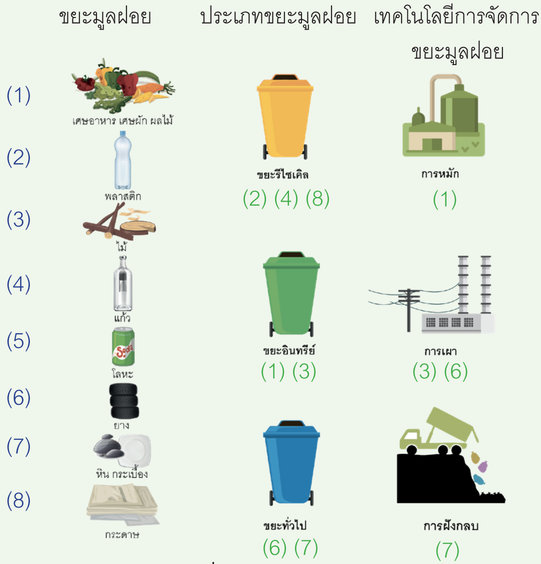
ผลการวิเคราะห์

แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย ....

ประเภทขยะมูลฝอย	น้ำหนักขยะมูลฝอย		สัดส่วนขยะมูลฝอย (%)	
	เริ่มต้น (g)	หลังอบ (g)	โดยน้ำหนักเริ่มต้น	โดยน้ำหนักแห้ง
เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้				
กระดาษ				
พลาสติกและโฟม				
ยาง				
หนัง				
ผ้า				
ไม้				
แก้ว				
โลหะ				
หิน กระเบื้อง				
ขยะอันตราย				
อื่นๆ				
รวมทั้งหมด				

เฉลยแบบทดสอบท้ายเล่ม

1 โยงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขยะมูลฝอย ประเภทมูลฝอย และเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอย



2 ให้จับคู่ชนิดของขยะ กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ recycle และ upcycle