ข้อเท็จจริง “พลาสติกที่ย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ” (Environmentally Degradable Plastics: EDP) และ “พลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ” (Compostable Plastics)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ดร.สุจิตรา วาสนาดำรงดี
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เมษายน 2562

- พลาสติกย่อยสลายได้แบบ “EDP” ที่แท้จริงต้องได้มาตรฐาน compostable plastics ตามข้อกำหนดพลาสติกสลายตัวได้ เช่น ISO 17088 (สากล) หรือ ASTM D6400 (สหรัฐอเมริกา) หรือ EN 13432 (ยุโรป) หรือ มอก.17088-2555 (ไทย)
- การผสมสารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น สารกลุ่มแป้ง ลงในพลาสติกที่ใช้ทั่วไป (PE, PP, PS, PET, PVC) เป็นการทำให้เกิดการแตกตัวออกเป็นชิ้น หรือการผสมสารประเภทออกโซ (Oxo) เพื่อเร่งให้เกิดการแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ ในระยะเวลาสั้น หรือพลาสติกทั่วไปที่ผสมทั้งแป้งและออกโซไปด้วยกัน เหล่านี้ล้วนสร้างความเสี่ยงในการเพิ่มและสะสมไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

ปฏิเสธไม่ได้ว่าในทศวรรษนี้เป็นช่วงเวลาของการเปลี่ยนผ่าน (transition) จากเศรษฐศาสตร์แบบเชิงเส้น (linear economy) เป็นเศรษฐศาสตร์หมุนเวียน (circular economy) เศรษฐศาสตร์แบบเชิงเส้นนั้นมุ่งเน้นไปในการนำทรัพยากรจากธรรมชาติเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์เหล่านั้นถูกใช้งานและสิ้นสุดการใช้งานก็จะกลายเป็นของเสีย หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Take-Make-Waste (Ellen MacArthur Foundation, 2019) ในขณะที่เศรษฐศาสตร์หมุนเวียนจะสนใจการออกแบบผลิตภัณฑ์ตลอดช่วงชีวิต (Ellen MacArthur Foundation, 2017) ตั้งแต่การแทนที่ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปด้วยทรัพยากรที่เกิดทดแทนได้ (renewable resources) ไปจนถึงทางเลือกในการจัดการหลังการใช้งาน (End-of-life option) ไม่ว่าจะเป็นการรีไซเคิลหรือการนำส่วนประกอบต่างๆ หมุนเวียนคืนสู่ธรรมชาติอย่างสมดุลและปลอดภัย ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกก็เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่กำลังอยู่ในระหว่างการเปลี่ยนผ่าน การออกแบบนั้นก็ควรต้องคำนึงถึงผลกระทบอย่างครบถ้วน รวมทั้งมีระบบจัดการที่รองรับกับพลาสติกหลังการใช้งาน **พลาสติกที่แตกสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable plastics) หรือที่คนทั่วไปเข้าใจในชื่อ “พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ”** (โดยผู้เขียนจะใช้คำนี้ตลอดบทความนี้เพื่อให้ผู้อ่านทั่วไปเข้าใจได้ง่าย) เป็นตัวแปรสำคัญในการเปลี่ยนผ่านนี้เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบนั้นมาจากทรัพยากรที่เกิดทดแทนได้เอง ในขณะที่จะต้องเพิ่มการรีไซเคิลของพลาสติกทั่วไป การออกแบบให้การใช้งานมีอายุนานขึ้นและการจัดการหลังการใช้ ดังนั้น เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องสำหรับผู้ใช้และผู้บริโภค ผู้เขียนจึงได้อธิบายเกี่ยวกับ “พลาสติกที่ย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ” (Environmentally Degradable Plastics: EDP) ที่เป็นคำที่กำลังถูกนำมาใช้กันในบางประเทศ

ปัจจุบัน มีการใช้ศัพท์ที่เกี่ยวข้อง 2 คำ คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) และพลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ (compostable plastic) ทั้งสองคำนี้มีความหมายแตกต่างกัน กล่าวคือ “พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic)” หมายถึง การที่พลาสติกแตกออกโดยกิจกรรมของ

จุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิต โดยทั่วไป ถ้าจะให้เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ (น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์หรือมีเทนและชีวมวล) จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม (เช่น จุลินทรีย์ ความชื้น และความร้อน เป็นต้น) ถ้าพลาสติกนี้ถูกทิ้งในสภาวะแวดล้อมทั่วไป ไม่ว่าจะในหลุมฝังกลบ หรือรั่วไหลลงทะเล ก็จะแตกออกเป็นชิ้นเล็กได้และอาจจะเล็กลงไปเป็นไมโครพลาสติกซึ่งจะสะสมในธรรมชาติมากขึ้นและเป็นระยะเวลานานได้ ในขณะที่ “พลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ (compostable plastic)” หมายถึงพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เป็นแร่ธาตุและสารประกอบในธรรมชาติ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวล พลาสติกชนิดนี้สามารถสลายตัวทางชีวภาพในสภาวะควบคุมที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยระดับอุตสาหกรรมหรือเครื่องหมักปุ๋ยจากเศษอินทรีย์ เมื่อพลาสติกประเภทนี้อยู่ในธรรมชาติปกติก็จะไม่สามารถสลายตัวได้ ดังนั้น พลาสติกที่มีการติดป้าย “compostable” (โดยนัยยะว่าเป็นพลาสติกที่ควรผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดสากล ISO 17088, EN13432 หรือ ASTM 6400) จะช่วยทำให้การจัดเก็บรวบรวมนำไปจัดการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การนำไปผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่มีแร่ธาตุหรือได้ฮิวมัส สามารถนำไปปลูกพืชต่อไป ในขณะที่พลาสติกที่ติดป้าย “biodegradable” จะไม่สามารถบอกถึงการนำไปกำจัดหรือจัดการได้

ตั้งแต่อดีต อุตสาหกรรมพลาสติกพยายามแก้ปัญหาพลาสติกที่มีคุณสมบัติคงทนมาก ย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติด้วยการเติมสารเติมแต่งประเภทแป้งหรือสารอินทรีย์อื่นๆ เมื่อแป้งถูกจุลินทรีย์ย่อยแล้ว เศษชิ้นส่วนพลาสติกก็จะแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งในช่วงปีทศวรรษ 1980s ผู้ผลิตเรียกพลาสติกในลักษณะนี้ว่า เป็น “พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ” (biodegradable plastics) ต่อมาในปีค.ศ. 1994 Narayan et al. ได้ออกมาบ่งชี้ว่า การเติมแป้ง (ร้อยละ 6-15) ในพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีน (PE) โพลิโพรพิลีน (PP) ในความเป็นจริง เป็นกระบวนการทำให้พลาสติกแตกตัว (disintegration หรือ fragmentation) เท่านั้น มิได้ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ มีข้อมูลที่ชี้ให้เห็นว่า ส่วนผสมที่เป็นแป้งหรือสารอินทรีย์เท่านั้นที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่พลาสติก PE หรือ PP ที่มีคุณสมบัติย่อยสลายยากยังคงอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Rudnik, 2012; Bioplastics Division of Plastics Industry Association, 2018) ทั้งนี้ พลาสติกที่มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเร่งให้พลาสติกแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ เร็วนั้นถูกเรียกว่าเป็นพลาสติกชนิดออกโซ (Oxo-degradable) ในหลายกรณี ผู้ผลิตเลี่ยงไปใช้คำว่า Oxo-biodegradable เพื่อให้ดูว่าย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่แท้ที่จริงก็เป็นพลาสติกประเภทเดียวกัน (European Commission, 2018) สารเติมแต่งในกลุ่มนี้จะช่วยทำให้พลาสติกทั่วไป เช่น PE, PP, PS, PET, PVC แตกตัวเป็นชิ้นเล็กลง และมีจำนวนมากขึ้น โดยจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีแสง ความชื้นหรือความร้อน หรือสภาวะทางกายภาพ (สภาวะอากาศ)

จากความสับสนเกี่ยวกับ “พลาสติกที่ย่อยสลายได้” ดังกล่าว ทำให้หน่วยงานระหว่างประเทศที่รับผิดชอบเรื่องมาตรฐาน อาทิ International Organization for Standardization (ISO), American Organization for Standardization (ASTM), European Organization for Standardization (EN) ได้พัฒนาคำจำกัดความและมาตรฐานเกี่ยวกับการย่อยสลายได้ของพลาสติกซึ่งจะต้องไม่เพียงแต่ “ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ” (biodegradable) แต่จะต้องแปรสภาพเป็นปุ๋ยได้หรือสลายตัวได้ทางชีวภาพ (compostable plastic) (compostable) ด้วย โดยในปัจจุบันมาตรฐานสากลที่รับรองว่าเป็น “พลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ” (compostable plastics) ได้แก่ ISO 17088 (สากล) ASTM D6400 (สหรัฐอเมริกา) EN 13432 (ยุโรป) มอก. 17088-2555 (ไทย)[1]

ตัวชี้วัดสำคัญที่แสดงว่า พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นดัชนีแสดงกิจกรรมจุลินทรีย์ในดิน โดยมาตรฐาน มอก.17088-2555 และมาตรฐานพลาสติกที่สลายตัวได้ทาง

[1] กำลังปรับปรุงตาม ISO 17088

ชีวภาพ (compostable plastic standards) ต่าง ๆ กำหนดให้คาร์บอนต้องเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90** ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี **ภายในระยะเวลาไม่เกิน 180 วัน**

ส่วนพลาสติกชนิดออกโซ (Oxo-degradable plastic) นั้น นักวิชาการ หน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ตรวจสอบระดับการย่อยสลายได้ทางชีวภาพและความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่บ่งชี้ว่าพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการ oxidation หรือกระบวนการย่อยสลายได้ด้วยแสง ความร้อน ฯลฯ แล้ว พลาสติกที่แตกตัวเป็นชิ้นเล็กก็ยังไม่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ชี้ชัดว่า ชิ้นส่วนที่แตกออกนี้จะสามารถถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ได้ โดยกระบวนการย่อยสลายได้ทางชีวภาพต้องอาศัยระยะเวลาที่ยาวนานเกินกว่าระยะเวลาที่ผู้ผลิตพลาสติกออกโซกล่าวอ้าง ซึ่งกระบวนการนี้ย่อมจะทำให้เกิดปัญหาไมโครพลาสติกสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความเสี่ยงของการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ (รายละเอียดดูใน EU Report 2016; Bioplastics Division of Plastics Industry Association, 2018) ด้วยเหตุนี้ ในช่วงปลายปี 2560 องค์กรต่างๆ ทั้งภาคธุรกิจ กลุ่มพลาสติก เอ็นจีโอ นักวิทยาศาสตร์ นักวิชาการและมหาวิทยาลัยกว่า 150 องค์กรได้ร่วมกันออกแถลงการณ์เพื่อเรียกร้องให้รัฐบาลทั่วโลกแบนพลาสติกชนิดออกโซ (Ellen McArthur Foundation's New Plastics Economy, 2017) นอกจากนี้ พลาสติกทั่วไป (PE, PP, PS, PET, PVC) ที่เติมสารชนิดออกโซยังไม่เหมาะกับการใช้ซ้ำ (เพราะอาจแตกเป็นชิ้นในระหว่างเก็บ) การรีไซเคิล (เมื่อปะปนกับพลาสติกทั่วไปจะทำให้กระบวนการพลาสติกรีไซเคิลมีคุณภาพที่ควบคุมไม่ได้หรือแย่ลง) หรือการทำปุ๋ย (European Commission, 2018) ทั้งนี้ สหภาพยุโรปอยู่ในระหว่างการออกกฎหมายเพื่อห้ามผลิตและใช้พลาสติกชนิดออกโซและพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งอื่น ๆ (Aljazeera, 28 March 2019) เช่นเดียวกับกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้ประกาศเป้าหมายที่จะยกเลิกการใช้พลาสติกชนิดออกโซและพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งอื่น ๆ รวม 7 ชนิด (รูปที่ 1) ภายใต้ร่าง Roadmap การจัดการขยะพลาสติกและร่างแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 17 เมษายน 2562 (สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, 2562)

รูปที่ 1 พลาสติกที่ผสมสารออกโซเป็น 1 ใน 7 ชนิดพลาสติกที่จะถูกยกเลิกใช้ในประเทศไทย
(ที่มา: Facebook กรมควบคุมมลพิษ และ Wjiarn Simachaya 7 มกราคม 2562)

ในประเทศไทย ผู้ประกอบการมีการใช้สารเติมออกโซมามากกว่า 10 ปีและได้มีการสื่อสารว่าเป็น “พลาสติกที่ย่อยสลายได้” (degradable plastics) และยังบอกว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีสารพิษตกค้าง นอกจากนี้ ยังมีการสื่อสารว่า ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ของบริษัทมิได้เป็นพลาสติกชนิดออกโซ (ทั้งๆ ที่เป็นกระบวนการเติมสารเติมแต่งในพลาสติกประเภท PE, PP) โดยอ้างว่าเป็น “พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ” (Environmentally Degradable Plastics: EDP) แต่ไม่มีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 17088-2555 ตามที่กล่าวข้างต้น อีกทั้งผู้ประกอบการยังระบุในสื่อว่าผลิตภัณฑ์เหล่านั้นใช้หลายกระบวนการในการทำให้พลาสติกแตกตัวและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่เติมสารเติมแต่งประเภทออกโซและกลุ่มที่เติมแป้งลงไป แต่ข้อกล่าวอ้างดังกล่าวขัดแย้งกับรายงานของ UNIDO ที่เป็นหน่วยงานเดียวที่อธิบายคำว่า “EDP” ไว้อย่างเป็นระบบที่ระบุว่า **EDP ก็คือกลุ่มพลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพนั่นเอง** (UNIDO, 2003 และ 2007) ในรายงาน UNIDO ยังกล่าวถึงประเภทพลาสติกที่ใช้ สามารถแบ่งเป็นพลาสติกธรรมชาติ เช่น แป้ง เพคติน และพลาสติกที่มาจากการสังเคราะห์ เช่น พอลิแลคติคแอซิด (PLA) พอลิคาร์โปแลคโตน (PCL) เป็นต้น (UNIDO, 2007) นอกจากนี้ ในรายงานของ UNIDO ยังระบุว่า EDP เป็นกลุ่มสารโพลีเมอร์ธรรมชาติและโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีจะต้องตามด้วยการย่อยสลายและการดูดซึมของจุลินทรีย์จนได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ **การย่อยสลายและการดูดซึมนี้ต้องเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมของสารในสภาวะแวดล้อม** (UNIDO, 2003) ทั้งนี้ UNIDO ได้เน้นย้ำว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นสิ่งสำคัญที่จะแยก EDP ออกจากโพลีเมอร์ เช่น PE ที่ไม่ย่อยสลายได้ และอัตราการย่อยสลายของ EDP จะอิงกับมาตรฐานการรับรองผลิตภัณฑ์ว่าสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและสลายตัวได้ทางชีวภาพ (UNIDO, 2003)

ในประเทศกำลังพัฒนา มีการนำแนวคิด EDP ไปใช้อย่างไม่ถูกต้อง โดยใช้วิธีการอย่างง่าย ด้วยการเติมสารเติมแต่งที่ย่อยสลายได้ (ส่วนใหญ่เป็นแป้ง) ลงไปในพลาสติก (เช่น PE, PP) อ้างว่าเป็น “พลาติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ” ซึ่งไม่ถูกต้อง เนื่องจากส่วนประกอบที่เป็นพลาสติกไม่ย่อยสลาย พลาสติกเพียงแค่แตกตัวเป็นชิ้นเล็กสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำให้ปัญหามลพิษที่มองเห็นได้กลายเป็นมลพิษที่มองไม่เห็นหรือเห็นได้ยาก (UNIDO, 2003)

จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบของพลาสติกที่ย่อยสลายในสภาวะแวดล้อมธรรมชาตินั้น ควรมีการใช้วัตถุดิบในการผลิตและสารเติมแต่งที่เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับ ในขณะที่การทดสอบเพื่อขอใบรับรองนั้นก็สามารถทำได้ซึ่งในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยจะมีตราสัญลักษณ์บ่งบอกถึงการได้รับรองมาตรฐานการทดสอบ (อ่านเพิ่มเติม http://www.tbia.or.th/download.php) ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนและเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ผู้บริโภคที่ต้องการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจริงๆ ก็ควรตรวจสอบก่อนว่า **ผลิตภัณฑ์นั้นได้มาตรฐานพลาสติกสลายตัวได้ทางชีวภาพ (compostable plastic) หรือไม่** ตามข้อกำหนด ISO 17088 หรือในเมืองไทย คือ มอก. 17088-2555 (ปรับมาจาก ISO 17088:2008) หรือ ASTM D6400 หรือ EN13432 และให้ดูสัญลักษณ์ที่รับรองผลิตภัณฑ์ เช่นในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ตัวอย่างสัญลักษณ์รับรองพลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพและเป็นปุ๋ยได้ (ที่มา: UNIDO 2003)

หากผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานเหล่านี้หรืออ้างมาตรฐานอื่นๆ[2] แต่กระบวนการผลิตมีลักษณะเติมสารเติมแต่ง (additives) ในพลาสติกทั่วไป เช่น PE, PP, PS, PET, PVC ให้คาดการณ์ได้ว่าน่าจะเป็นพลาสติกชนิดออกโซหรือที่เติมสารเติมแต่งซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มและสะสมของไมโครพลาสติก

สุดท้ายนี้ พลาสติกที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ (compostable plastics) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นยังคงมีราคาค่อนข้างแพงกว่าพลาสติกธรรมดา 2-3 เท่าซึ่งจะต้องอาศัยการสนับสนุนของภาครัฐ อีกทั้งยังต้องสร้างระบบการจัดการปลายทางหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ด้วย กล่าวคือ ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรต้องสร้างระบบการเก็บรวบรวมพลาสติกประเภทนี้เป็นการเฉพาะและจัดให้มีโรงปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม (ถ้าเป็นชนิด PLA) หรือโรงปุ๋ยหมักทั่วไป (ถ้าเป็นชนิด PBS) และควบคุมสภาวะที่เหมาะสมกับพลาสติกชีวภาพเพื่อให้สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพกลายเป็นปุ๋ยได้จริงๆ มิเช่นนั้น พลาสติกที่สลายตัวได้ทางชีวภาพก็อาจจะไม่ได้ย่อยสลายได้ในระยะเวลาที่รวดเร็วตามที่ระบุมาตรฐานกำหนด (180 วัน) เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

Aljazeera, 28 March 2019. EU parliament approves ban on single-use plastics. Retrieved from https://www.aljazeera.com/news/2019/03/eu-parliament-approves-ban-single-plastics-190327182018338.html?, accessed on 15 April 2019.

Bioplastics Division of Plastics Industry Association (PLASTICS) (2018). Position Paper on Degradable Additives. 13 pages. Retrieved from https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/2018%20PLASTICS%20-%20Position%20Paper%20on%20Degradable%20Additives.pdf, accessed on 15 April 2019.

Ellen McArthur Foundation's New Plastics Economy (2017). Oxo-degradable plastic packaging is not a solution to plastic pollution, and does not fit in a circular economy. Retrieved from http://ecostandard.org/wp-content/uploads/oxo-statement.pdf, accessed on 15 April 2019.

[2] มาตรฐานอื่นๆ เช่น ASTM D5338, ASTM D5511, ASTM D5988, ASTM D6691, ASTM D6866 เป็นเพียงระเบียบวิธีการทดสอบ (Test Methodologies) มิใช่มาตรฐานข้อกำหนดพลาสติกสลายตัวได้ซึ่งจะมีการบ่งชี้ว่า ผ่าน/ไม่ผ่านตามข้อกำหนด รายละเอียดดูใน Bioplastics Division of Plastics Industry Association (PLASTICS) (2018)

Ellen McArthur Foundation website (2019) Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy, accessed on 15 April 2019.

European Commission (2018). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the impact of the use of oxo-degradable plastic, including oxo-degradable plastic carrier bags, on the environment

European Union (2016). The Impact of the Use of "Oxo-degradable" Plastic on the Environment.

Rudnik, E. (2012). "Compostable polymer materials: definitions, structures, and methods of preparation." in Ebnesajjad, S. (ed). *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*. 189-211.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2003). Brief Guidelines on Environmentally Degradable Plastics (EDP). Retrieved from http://capacitydevelopment.unido.org/wp-content/uploads/2014/11/81.-EDP-Environmentally-Degradable-Polymeric-Materials-and-Plastics-Brief-Guidelines.pdf accessed on 15 April 2019.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2007). EDP Environmentally degradable Polymeric Materials and Plastics Retrieved from http://capacitydevelopment.unido.org/wp-content/uploads/2014/11/41.-Environmentally-Degradable-Polymeric-Materials-and-Plastics-Guidelines.pdf, accessed on 15 April 2019.

สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี. (2562). *สรุปข่าวการประชุมคณะรัฐมนตรี 17 เมษายน 2562*. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2562, จาก สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี เว็บไซต์: https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/19914

ตัวย่อที่ใช้

PE = Polyethylene

PP = Polypropylene

PS = Polystyrene

PET = Polyethylene terephthalate

PVC = Polyvinyl Chloride

PLA = Polylactic acid

PBS = Polybutylene succinate

PCL = Polycaprolactone

UNIDO = United Nations Industrial Development Organization