P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : *http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj*
ปีที่ 30 ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2565) หน้า [19-33]

เทคโนโลยีและนโยบายการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน กรณีศึกษาประเทศไทย อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา

Technology and Policy of Converting Waste into Energy: A Case Study of Thailand, the UK and the United States

ฐิติกา มณีกูล, จารุวรรณ วงค์ทะเนตร*
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170
Titika Maneekul, Jaruwan Wongthanate*
Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170

Received 4 June 2022; Received in revised 25 August 2022; Accepted 1 November 2022

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัญหาขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและปริมาณขยะที่ไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องและไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ยังคงมีปริมาณสูง การแปรรูปขยะเป็นพลังงานจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ ในการนำขยะที่ไม่มีคุณค่ามาทำให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดและเพื่อลดปริมาณขยะก่อนนำไปฝังกลบซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต นอกจากนี้การแปรรูปขยะเป็นพลังงานยังเป็นหนึ่งในการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน อีกทั้งยังสามารถนำไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) โดยบทความนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานที่แบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ เทคโนโลยีทางความร้อน เทคโนโลยีทางชีวเคมี และเทคโนโลยีทางกายภาพ รวมถึงการเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยของแต่ละเทคโนโลยีและการศึกษานโยบายและแนวทางในการจัดการการแปรรูปขยะเป็นพลังงานของ 3 ประเทศ ได้แก่ ประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา เพื่อนำไปสู่แนวทางการแปรรูปขยะเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพ โดยเทคโนโลยีที่สำคัญมากที่สุดที่ทั้งสามประเทศใช้ในการแปรรูปขยะคือเทคโนโลยีความร้อน และวิธีการจัดการขยะที่สำคัญที่ใช้ในแต่ละประเทศคือ การแปรรูปขยะเป็นพลังงาน นโยบายของทั้ง 3 ประเทศได้มีการสนับสนุนการแปรรูปขยะเป็นพลังงานอย่างชัดเจนซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศไทยควรมีการผลักดันในด้านการพัฒนานโยบายที่มีแนวคิดคล้ายกับ Renewable Obligation (RO) ที่สนับสนุนการผลิตไฟฟ้าหมุนเวียนเพื่อสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจมากยิ่งขึ้น เพื่อลดปริมาณขยะก่อนนำไปฝังกลบและเพื่อหาพลังงานที่สามารถทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ รวมทั้งการเพิ่มศักยภาพของการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการลดขยะลงได้ 1 กิโลกรัม จะสามารถลดได้ประมาณ 6.3 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี นอกจากนี้ยังส่งผลดีต่อการพัฒนาทั้งในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: เทคโนโลยีและนโยบายการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน; พลังงานทดแทน; การจัดการขยะ; การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** jaruwan.won@mahidol.ac.th **doi:**

Abstract

From the constantly increasing volumes of waste problem situation and the amount of the waste that is not proper disposal and cannot be utilized for benefit in the high volume, waste-to-energy is an interesting alternative to bring non-valuable wastes for the maximum benefit and waste reduction before dumping into landfills that affect an environment in the future. Furthermore, the waste-to-energy is one of the most efficient and sustainable waste management and can be a circular economy system. This review article focuses on the three types of waste-to-energy technologies; thermal technology, biochemical technology, and physical technology, including a comparison of the benefits and drawbacks of each technology and a study of policies and guidelines in waste-to-energy management of three countries; Thailand, the United Kingdom, and the United States for leading to waste-to-energy efficiency. Thermal technology is the most crucial technology for converting waste in three countries, and waste-to-energy is vital for waste management in each country. Policies of three countries have explicitly supported the waste into energy that there is a trend towards increasing and continuing technology development. Thailand should promote a section of policy development in the concept like the renewable obligation (RO) that encourages a generation of renewable energy to increase financial incentives for the amount of waste reduction before dumping into landfill and to find the energy that can replace fossil fuel as well as increasing efficiency of CO_2 reduction; 1 kg of waste reduction will be able to reduce 6.3 kgCO_2e per year. Moreover, it positively impacts on economic, social, and environmental development.

Keywords: Technology and policy of converting waste into energy; Alternative energy; Waste management; CO_2 reduction

1. บทนำ

ปัจจุบันทุกประเทศทั่วโลกกำลังเผชิญกับวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน เนื่องจากพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของคนบนโลกคือพลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ประกอบกับจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มสูงมากยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณขยะของเสียเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี พ.ศ.2564 พบว่า ขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้น 24.98 ล้านตัน หรือ 68,434 ตัน/วัน หรือคนไทยโดยเฉลี่ยผลิตขยะ 1.15 กก./คน โดยสามารถแบ่งออกเป็นขยะที่ถูกคัดแยกและนำกลับไปใช้ประโยชน์ 7.89 ล้านตัน (32%) ขยะที่กำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ 9.28 ล้านตัน (37%) และขยะที่ได้รับการกำจัดแบบไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล 7.81 ล้านตัน (31%) [1] ซึ่งทำให้ทราบว่าปริมาณขยะที่ไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องและไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ยังคงมีปริมาณสูง ดังนั้นการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน (Waste to Energy) จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดปริมาณขยะก่อนที่นำไปฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีประเภทแหล่งกำจัดขยะที่สามารถแปรรูปเป็นพลังงาน ได้แก่ การฝังกลบถูกหลัก

วิชาการ 70 แห่ง การหมักทำปุ๋ย 5 แห่ง เตาเผาผลิตพลังงาน 8 แห่ง และการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) 7 แห่ง [2] สำหรับเทคโนโลยีของการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ เทคโนโลยีทางความร้อน เทคโนโลยีทางชีวเคมี และเทคโนโลยีทางกายภาพ [3] อย่างไรก็ตามการนำขยะมาผลิตเป็นพลังงานต้องอาศัยการจัดการที่เป็นระบบ ได้รับความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนทุกคน ในการแยกประเภทขยะและใช้เทคโนโลยีในการจัดการที่เหมาะสม [4] จากนโยบายของทางภาครัฐในประเทศไทยได้มีการขับเคลื่อนและส่งเสริมการนำขยะมูลฝอยไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า [5] ที่สามารถลดปริมาณขยะก่อนนำไปฝังกลบและยังสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และการเปลี่ยนเส้นทางการกำจัดขยะจากการฝังกลบเป็นการนำขยะมาใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนของสหราชอาณาจักร เนื่องจากนโยบายที่เข้มงวดมากยิ่งขึ้น [6] ทำให้สหราชอาณาจักรมีปริมาณขยะที่นำมาแปรรูปเป็นพลังงานมากถึง 7.3 ล้านตันในปี 2561 ซึ่งเพิ่มขึ้น 4 เท่าจากปี 2559 [7] นอกจากนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกายังมีการสนับสนุนการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน ในขณะเดียวกันได้มีการกำหนดภาษีพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มมากยิ่งขึ้น เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล [8] ดังนั้นนโยบายในการจัดการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นแนวทางในการปฏิบัติการแปรรูปขยะเป็นพลังงานได้อย่างเหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานทั้ง 3 ประเภท และศึกษากรณีตัวอย่างนโยบายและแนวทางในการจัดการขยะเพื่อนำมาแปรรูปเป็นพลังงานของประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา ซึ่งทั้ง 3 ประเทศมีความแตกต่างขององค์ประกอบขยะอย่างชัดเจน โดยองค์ประกอบขยะของสหราชอาณาจักรมีขยะรีไซเคิล ขยะย่อยสลายได้ และขยะเบ็ดเตล็ดอื่นๆ อยู่ที่ 50%, 34% และ 16% ตามลำดับ [6] ส่วนองค์ประกอบขยะของสหรัฐอเมริกามีขยะรีไซเคิล ขยะย่อยสลายได้ และขยะเบ็ดเตล็ดอื่นๆ อยู่ที่ 57.16%, 39.89% และ 2.95% ตามลำดับ [9] และประเทศไทยมีขยะรีไซเคิลและขยะย่อยสลายได้ อยู่ที่ 36% และ 64% ตามลำดับ [10] นอกจากนี้ทั้ง 3 ประเทศยังมีความแตกต่างของระบบเศรษฐกิจที่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจในการเลือกความเหมาะสมของเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ดังนั้นจึงได้ยกกรณีศึกษาของแต่ละประเทศมาเปรียบเทียบ เพื่อเป็นแนวทางที่สามารถนำไปสู่การจัดการของเสียอย่างยั่งยืนและสามารถแก้ไขปัญหาทั้งด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การแปรรูปขยะเป็นพลังงาน

การแปรรูปขยะเป็นพลังงาน (Waste to Energy) คือ การจัดการของเสียที่ไม่สามารถรีไซเคิลหรือของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยจะเปลี่ยนของเสียเหล่านั้นให้กลายเป็นพลังงานหรือวัสดุที่กลับมาใช้ได้อีกครั้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการนำไปฝังกลบซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการกำจัดของเสีย [11] ในการป้องกันการสร้างของเสีย (Prevention) การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycling) เป็นการลดปริมาณขยะของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ตั้งแต่ต้นทางเพื่อไม่ให้ก่อมลพิษที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งการลดขยะลงไปได้ 1 กิโลกรัม จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ประมาณ 6.3 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี [12] อีกทั้งยังเป็นจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำให้เกิดความยั่งยืนตามหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะ (Waste Management Hierarchy) (Figure 1) อย่างไรก็ตามของเสียบางประเภทอาจไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้ ยกตัวอย่าง เช่น ของเสียที่มีการปนเปื้อนสารเคมี ของเสียที่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากมีการรีไซเคิลหลายครั้ง เป็นต้น ดังนั้นการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งถือว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากขยะก่อนที่จะนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่สามารถสนับสนุน

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) [11] ที่เป็นเศรษฐกิจแบบใหม่โดยมุ่งเน้นการออกแบบที่ช่วยให้ทรัพยากรในกระบวนการและกิจกรรมต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม สามารถรักษาคุณค่าได้นานที่สุด ซึ่งช่วยลดการใช้วัสดุ มีการออกแบบวัสดุใหม่เพื่อให้ใช้ทรัพยากรน้อยลง และนำของเสียกลับมาเป็นทรัพยากรในการผลิตวัสดุและผลิตภัณฑ์ใหม่ [13] เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเกิดสมดุลระหว่างมนุษย์และธรรมชาติ [14] ในปี พ.ศ. 2562 โรงงานผลิตพลังงานจากของเสียภายในยุโรปสามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 40 พันล้านกิโลวัตต์/ชั่วโมง และความร้อนได้ถึง 90 พันล้านกิโลวัตต์/ชั่วโมง โดยการนำของเสียจากบ้านเรือน สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงเรียน โรงพยาบาล และอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำขยะมาผลิตเป็นพลังงานได้จริง อีกทั้งยังสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าและความร้อนให้แก่ประชาชนได้ [15]

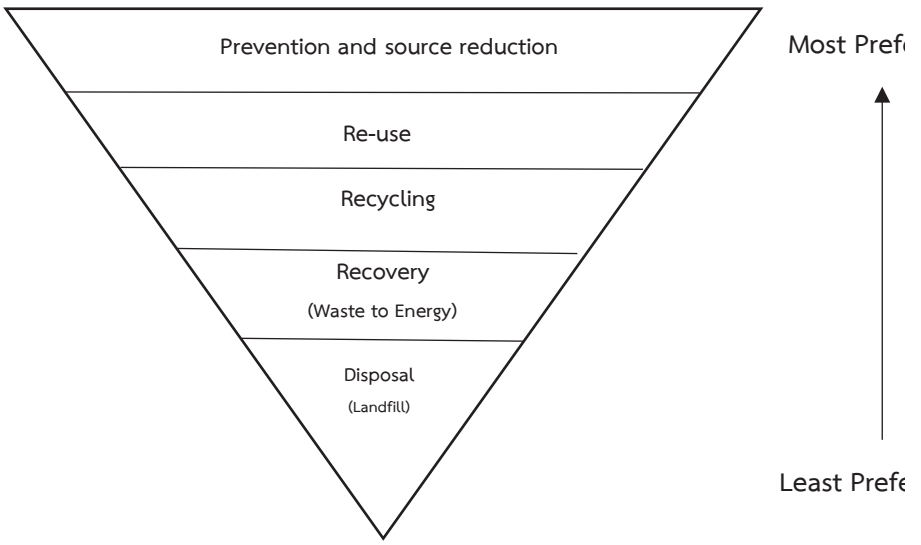

Figure 1 Waste management hierarchy [16].

3. เทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงาน

ประเภทของเทคโนโลยีของการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

3.1 เทคโนโลยีทางความร้อน

เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงทำให้ขยะอินทรีย์หรือขยะที่สามารถเผาไหม้ได้เป็นหลักเกิดการสลายตัวและเกิดพลังงานไปพร้อมๆ กัน

3.1.1 เตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator)

ใช้หลักการเผาไหม้ (Combustion) เพื่อเปลี่ยนสภาพขยะจากรูปของแข็งให้กลายเป็นก๊าซ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ (H_2O) เป็นต้น และของแข็งที่ไม่สามารถติดไฟได้อีก เช่น เถ้าหนัก (Bottom Ash) เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นต้น [17] อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณของเสียได้ถึง 70-90% จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 750-1,000 องศาเซลเซียส [18] โดยของเสียประมาณ 65-80% จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบของพลังงานความร้อน [19] เพื่อใช้ในการนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป (Figure 2) ส่วนระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) เป็นเทคโนโลยีเตาเผาขยะที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากระบบไม่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ [20] ซึ่งหากแบ่งประเภทเตาเผาตามลักษณะการทำงานสามารถแบ่งได้ ดังนี้ 1) เตาเผาแบบตะกรับที่เคลื่อนที่ได้ (Moving Grate) 2) เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) และ 3) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

(Fluidized Bed) [3] [19] อย่างไรก็ตามการใช้เตาเผาขยะสามารถสร้างมลพิษทางอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศเพื่อลดการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ

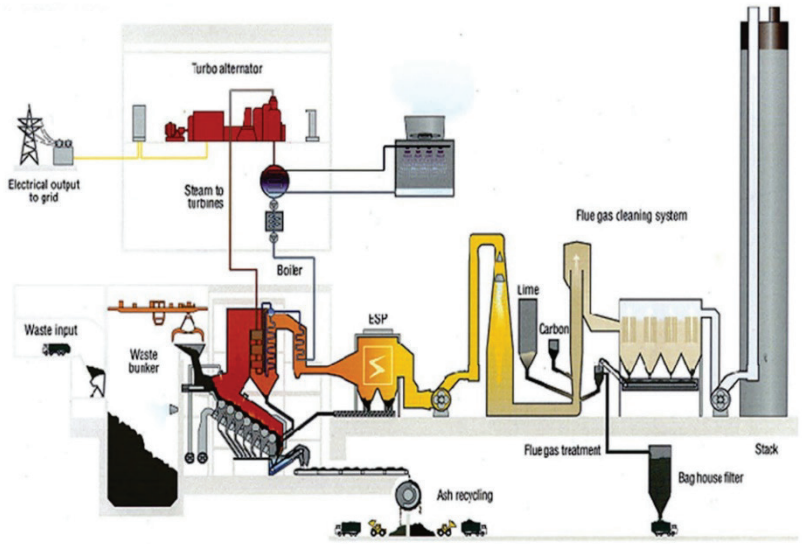

Figure 2 Waste incineration plant using heat to generate electricity [3].

3.1.2 ก๊าซซิฟิเคชั่น (Gasification)

ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเทอร์มอเคมิคอล (Thermochemical reaction) ที่สามารถเปลี่ยนวัสดุอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะในครัวเรือน และของเสียจากอุตสาหกรรมให้กลายเป็นก๊าซ ที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซจะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH_4) และไฮโดรเจน (H_2) ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก รวมถึงก๊าซที่ไม่ต้องการอย่างไนโตรเจน (N_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) [20] ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของระบบที่เลือกใช้ องค์ประกอบของขยะ และการทำงานของระบบ โดยเฉพาะองค์ประกอบของขยะที่จะต้องมีการวิจัยและทดสอบปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น ระบบนี้สามารถเผาขยะรวมได้ แต่ต้องมีการคัดแยกพร้อมกับจัดการเบื้องต้น โดยลดขนาดของขยะ ลดความชื้น และผสมขยะให้องค์ประกอบมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้ [2] โดยผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยกตัวอย่างเช่น การผลิตไฟฟ้า และเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เคมีอื่นๆ [21]

3.1.3 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาเทอร์มอเคมิคอล (Thermochemical Reaction) ที่เปลี่ยนรูปชีวมวล พลาสติก หรือยาง ที่อุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ ถ่าน (Charcoal) น้ำมัน (Bio-oil) และก๊าซไม่กลั่นตัว (Non-condensable gas) ซึ่งก๊าซจากกระบวนการไพโรไลซิสจะประกอบไปด้วยก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้และเผาไหม้ไม่ได้ โดยก๊าซที่เผาไหม้ได้หลักๆ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ มีก๊าซจำพวก Light Hydrocarbon ปะปนออกมาด้วยแต่น้อย ในสัดส่วนที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

สภาวะในการทำปฏิกิริยา ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และชนิดของเครื่องปฏิกิกรณ์ เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อน ไอน้ำ และไฟฟ้าได้ [22]

3.1.4 เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)

เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่เผาขยะด้วยอุณหภูมิสูงมากประมาณ 5,000-15,000 องศาเซลเซียส จนสามารถแยกอะตอมของธาตุในองค์ประกอบขยะออกมาและถูกเผาทำลายจนหมดไป นอกจากนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ [17] เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คสามารถนำมาประยุกต์ร่วมกันกับระบบก๊าซซิฟิเคชั่นได้ เรียกว่า Plasma-assisted Gasification (Figure 3) ที่ใช้ได้กับของเสียหลายประเภททั้งขยะชุมชน ยางรถ และขยะเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม [8] เพื่อนำกลับมาเป็นพลังงานทางเลือก

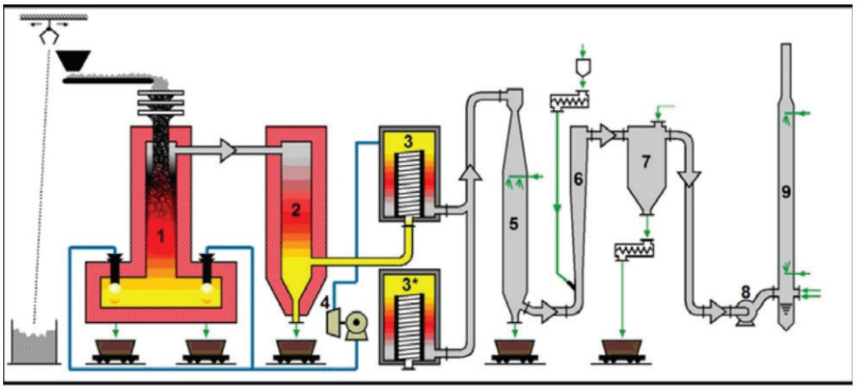

Figure 3 Illustration of the plasma gasification melting plant [23]

3.2 เทคโนโลยีทางชีวเคมี

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของขยะด้วยจุลินทรีย์ [17] และเป็นวิธีการที่เหมาะกับของเสียที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น เศษอาหาร ไม้ เศษวัสดุทางการเกษตร และกากตะกอนน้ำเสีย [8] ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก คือ

3.2.2 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ซึ่งเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อนำก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักกลับมาใช้อีกครั้ง ซึ่งก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) [8] ซึ่งอาจจะมีก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ (H_2O) ปะปนออกมาด้วย ในการนำไปใช้เป็นพลังงานจะต้องทำความสะอาดก๊าซให้บริสุทธิ์เหลือเพียงก๊าซมีเทนที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 70-80% [17] จึงจะสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าความร้อนสูง

3.2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

วิธีการจัดการของเสียโดยการนำมาฝังกลบเป็นวิธีที่นิยมในหลายๆ ประเทศ ซึ่งปฏิกิริยาการย่อยสลายในช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน แต่เมื่ออากาศภายในหลุมฝังกลบหมดลงจะเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามลำดับ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas, LFG) ที่ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) [17] โดยหนึ่งในข้อกำหนดของหลุมฝังกลบที่จะทำให้เกิดการจัดการขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การลดกลิ่นและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [8] ดังนั้นจึงต้องนำก๊าซชีวภาพมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3.3 เทคโนโลยีทางกายภาพ

การผลิตเชื้อเพลิงขยะเป็นการแปรรูปขยะโดยการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีจนกลายเป็นแท่งเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel, RDF) ที่สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้ ในขั้นตอนการผลิตจะต้องมีการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากระบบ หลังจากนั้นนำขยะเหล่านั้นมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ และลดความชื้น เพื่อทำให้เชื้อเพลิงขยะมีค่าความร้อนสูงและมีคุณภาพดีมากยิ่งขึ้น [17] วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาทำแท่งเชื้อเพลิงขยะ ได้แก่ กระดาษ กระดาษแข็ง พลาสติก ไม้ และผ้า [17]

เทคโนโลยีของการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันไป แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยและการนำเทคโนโลยีต่างๆ ไปใช้ในประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา (Table 1) [7] [8] [17]

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of Waste-to-Energy technology in Thailand, United Kingdom and United State.

Technology	Advantages	Disadvantages	Country
Thermal Technology			
Incinerator	-Capability of various types of waste disposal. -Capability of waste disposal up to 90% -Capability of energy utilization from waste combustion.	-High cost due to the requirement to install the air and water pollution control systems. -Some incinerators require waste to be dried first. -An expertise is required to operate.	-Thailand -United Kingdom -United States
Gasification	-Obtaining a clean thermal energy is better than that's of combustion. -Preventing the formation of dioxins, furans, and NO_x.	-Installation of a syngas treatment and cleaning kit. -High operation and maintenance cost. -Suitability for the same waste characteristics.	-Thailand -United Kingdom -United States

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of Waste-to-Energy technology in Thailand, United Kingdom and United State (Conts)

Technology	Advantages	Disadvantages	Country
Thermal Technology			
Pyrolysis	-High calorific value. -Capability of usage in a large scale industry. -Capability of the conversion of plastic waste into liquid fuels.	-Need to be efficient waste sorting system. -Catalytic requirement of charcoal, zeolite, and dolomite to be increasing cost. -Conversion of plastic waste into liquid fuels, especially some plastic types such as polyethylene (PE), polypropylene (PP), and polystyrene (PS).	-Thailand -United Kingdom -United States
Plasma Arc/ Plasma-assisted Gasification	-High efficiency of waste disposal. -Suitability for industrial waste. -Low syngas generation is less than the gasification system.	-High energy in operation. -High construction and operation cost. -Usage in the industrial sector.	-United States
Biochemical Technology			
Biogas production by anaerobic digestion	-Reuse of organic waste into biogas production. -Capability of remaining waste to be used as a soil conditioner.	-Need to be efficient waste sorting system. -High construction cost. -Odor problem by a degradation. -Need to be a safety system due to prevention of gas leakage. -Requirement of a heating system in a suitable digestion in cold countries.	-Thailand -United Kingdom -United States

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of Waste-to-Energy technology in Thailand, United Kingdom and United State (Conts)

Technology	Advantages	Disadvantages	Country
Thermal Technology			
Biogas production by landfill site	-Elimination of all waste types within the landfill site. -More cost-effective than other technologies.	-Requirement of a large area and a far away from the community. -In a methane gas generation system, a small proportion of methane may be obtained due to the presence of other waste types in the landfill site.	-Thailand -United Kingdom -United States
Physical Technology			
Refuse Derived Fuel (RDF)	-High calorific value and good thermal energy production. -Easy to store and transport. -Compatible with gasification and pyrolysis technology.	-Need to be efficient waste sorting system. -Effect on an equipment using a heat production more than other fuel types.	-Thailand -United Kingdom -United States

จากตารางการเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยและการนำเทคโนโลยีต่างๆ ของการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน จะเห็นได้ว่าในการนำขยะเข้าระบบจะต้องผ่านการคัดแยกขยะก่อน เพื่อให้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด และบางเทคโนโลยียังคงมีต้นทุนในการติดตั้งและการบำรุงรักษาสูง อีกทั้งประเทศที่มีการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ได้ดีที่สุดในโลกคือ เกาหลีใต้ นอกจากนี้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma-assisted Gasification) ได้มีการใช้งานเพียงในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น เนื่องจากเป็นประเทศแห่งอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาใช้แล้วเกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในเรื่องของการลงทุนและประสิทธิภาพในการจัดการขยะอุตสาหกรรม ในส่วนของประเทศไทย เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คยังคงอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา ซึ่งยังต้องมีการคำนวณถึงความคุ้มค่าในการลงทุนเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังแสดงข้อมูลการจัดการขยะในภาพรวมของ สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา และประเทศไทย (Table 2)

Table 2 Waste management in UK, USA and Thailand (unit: percent)

Country	Landfilling	Incineration	Composting	Recycling
UK	49	12	14	25
USA	54	12	8	26
Thai	53	10	16	21

4. กรณีศึกษานโยบายและแนวทางในการจัดการการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษานโยบายและแนวทางในการจัดการการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน 3 ประเทศ (Table 3) ได้แก่

4.1 ประเทศไทย

จากนโยบายของทางภาครัฐที่มีการขับเคลื่อนประเด็นปฏิรูปประเทศด้านพลังงาน ได้มีแนวทางส่งเสริมและขจัดอุปสรรคในการนำขยะไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า [5] นอกจากนี้ประเทศไทยมีปริมาณขยะที่มีจำนวนมากและมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้หันมาให้ความสนใจกับการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานมากยิ่งขึ้น เพื่อลดพื้นที่การฝังกลบขยะ ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีโรงงานไฟฟ้าขยะทั้งหมด 38 โรงงาน ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 328 เมกะวัตต์ (MW) [24] โดยการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานในประเทศไทยมี 4 วิธีหลัก ได้แก่ 1) การเผาในเตาเผา (Incinerators) 2) แท่งเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel, RDF) 3) การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Biogas Production by Anaerobic Digestion) 4) การแปรรูปขยะประเภทพลาสติกเป็นน้ำมัน [17] ในการเลือกเทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานแต่ละวิธีสามารถพิจารณาได้หลายประการขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เหมาะสมภายในองค์กรที่บริหารในพื้นที่นั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณขยะมูลฝอย องค์ประกอบของขยะ การคัดแยกขยะ จำนวนเงินลงทุน บุคลากร และพื้นที่จัดเตรียม เป็นต้น [17] ประเทศไทยมีนโยบายและมาตรการในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากขยะเพื่อสามารถนำขยะมาทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า ในกรณีที่ผู้ประกอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดเล็กมากเมื่อขายไฟฟ้าให้กับไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายราคาจะเพิ่มขึ้น 2.50 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 7 ปี การยกเว้นภาษีอากรขาเข้าสำหรับเครื่องจักรและเทคโนโลยีผลิตพลังงานทดแทนจากขยะและยกเว้นภาษีเงินได้เป็นเวลา 8 ปี นอกจากนี้ยังมีการสนับสนุนโครงการผลิตพลังงานจากขยะให้พัฒนาเป็นโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism, CDM) เพื่อเพิ่มราคาจากการขายคาร์บอนเครดิตและเพิ่มศักยภาพให้กับการพัฒนาพลังงานทดแทนภายในประเทศ [3] และมีการส่งเสริมในรูปแบบของความร่วมมือระหว่างรัฐ เอกชน และประชาชน (Public-Private-People Partnership, 4P) ที่เข้ามาช่วยในการจัดการพลังงานไฟฟ้าจากขยะ ตั้งแต่การรวบรวม ขนส่ง และกำจัดขยะโดยการเผาหรือการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เพื่อสามารถดึงค่าความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [25] นอกจากนี้ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยการรับซื้อไฟฟ้าจากขยะชุมชน พ.ศ. 2565 ได้ระบุถึงการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนในรูปแบบ Feed-in Tariff (FiT) ซึ่งเป็นมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีการกำหนดราคาอย่างชัดเจนและมีเกิดความเป็นธรรม เพื่อจูงใจให้ผู้ประกอบการเอกชนเข้ามาลงทุนในธุรกิจไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน [26] รวมทั้งการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และส่งเสริมเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยด้วย [27]

4.2 สหราชอาณาจักร

กฎหมายของสหภาพยุโรป ได้กำหนดว่าของเสียที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพภายในหลุมฝังกลบจะต้องลดลง 35% ภายในปี พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดแรงผลักดันการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณของเสีย การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่และการนำมาผลิตไฟฟ้า [7] ซึ่งภายในสหราชอาณาจักรมีโรงงานขนาดเล็กที่สามารถรองรับขยะและเปลี่ยนพลังงานจากการเผาขยะได้ประมาณ 25,000 ตันต่อปี และโรงงานขนาดใหญ่สามารถรองรับได้ถึง 600,000 ตันต่อปี ซึ่งขนาดของโรงงานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประกาย เช่น ต้นทุน พื้นที่กักเก็บขยะ และระยะห่างจากสถานที่เก็บรวมรวบขยะ เป็นต้น [28] โดยเทคโนโลยีการแปรรูป

ขยะเป็นพลังงานมีการเผาโดยใช้เตาเผา ก๊าซซิฟิเคชั่น ไพโรไลซิส การผลิตแท่งเชื้อเพลิงขยะ การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน และไฮโดรเทอร์มอลเหลว (Hydrothermal Liquefaction, HTL) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นน้ำมันชีวภาพ จากนั้นนำไปกลั่นเป็นเชื้อเพลิง [7] และในปี พ.ศ. 2550 กรมสิ่งแวดล้อมอาหารและกิจการชนบท (Department for Environment, Food and Rural Affairs) ของสหราชอาณาจักร ได้มีการแนะนำให้ประเทศอังกฤษและเวลส์ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อแปรรูปขยะให้เป็นพลังงาน เนื่องจากต้นทุนไม่สูงมากนักและยังเป็นกระบวนการที่สำคัญในการบรรลุเป้าหมายในเรื่องของเศรษฐกิจหมุนเวียน [7] ซึ่งการแปรรูปขยะเป็นพลังงานจะสำเร็จได้ต้องมีนโยบายในด้านพลังงานและการจัดการของเสียอย่างยั่งยืน ในปัจจุบัน สหราชอาณาจักรมีนโยบาย Renewable Obligation (RO) ในการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าหมุนเวียน ซึ่งเป็นข้อปฏิบัติของผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าที่จะมีการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าจากการหมุนเวียนทรัพยากรในแต่ละปี และมี Renewable Obligation Certificates (ROCs) จากหน่วยงานที่วางข้อกำหนดตลาดพลังงานก๊าซและไฟฟ้าของสหราชอาณาจักร (Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem) [28]

4.3 ประเทศสหรัฐอเมริกา

รัฐบาลของประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการตั้งเป้าหมายที่จะเพิ่มการผลิตพลังงานหมุนเวียนจาก 12.6% เป็น 25% ภายในปี พ.ศ.2568 [8] ซึ่งทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการนำของเสียมาผลิตเป็นพลังงานหมุนเวียน และในปี พ.ศ.2563 โรงไฟฟ้าจำนวน 65 แห่งภายในประเทศ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 13.5 พันล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงจากขยะมูลฝอยชุมชนประมาณ 25 ล้านตัน [29] โดยปริมาณขยะจะแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและฤดูกาล การเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการแปรรูปขยะเป็นพลังงานสามารถพิจารณาองค์ประกอบของขยะ โดยถ้าเป็นขยะแบบแห้งจะเหมาะกับวิธีการเผาโดยใช้เตาเผา ก๊าซซิฟิเคชั่น และไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนและสามารถลดการเกิดมลพิษทางอากาศ ในส่วนของขยะเปียกหรือขยะอินทรีย์นั้นเหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูง นอกจากนี้ยังมีการนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม [8] ซึ่งเทคโนโลยีที่นิยม คือ เตาเผาขยะระบบการเผาไหม้มวล (Mass Brun System) โดยสามารถรองรับขยะจำนวนมหาศาลในแต่ละวันและผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับประชาชนในพื้นที่ [8]

ในปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกามีปริมาณขยะที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น พื้นที่ฝังกลบขยะเริ่มลดลงและใกล้พื้นที่ชุมชน ดังนั้นการแปรรูปขยะเป็นพลังงานจึงเป็นตัวเลือกที่ดีแต่การดำเนินโครงการเป็นเรื่องที่ยากลำบาก เนื่องจากกระบวนการประเมินผลกระทบของโครงการและการคัดค้านของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งทำให้การแปรรูปขยะเป็นพลังงานเกิดขึ้นเพียง 34 รัฐ เท่านั้น ดังนั้นผู้กำหนดนโยบายจึงได้มีการสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจ โดยมี Renewable Obligation Certificates (ROCs) ซึ่งเป็นใบรับรองที่สามารถลดหย่อนภาษีได้ในลักษณะเดียวกันกับนโยบายของสหราชอาณาจักร มีการเพิ่มนโยบายส่งเสริมการรักษามาตรฐานระดับการปลดปล่อยมลพิษอย่างเข้มงวดโดยการเก็บภาษีที่สูงขึ้น นอกจากนี้มีการจ่ายไฟฟ้าที่ได้มาจากการแปรรูปขยะในราคาที่ต่ำกว่าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อสร้างการยอมรับทางสังคมให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น [8] ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการผลักดันนโยบายและก่อให้เกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

Table 3 Policy to support the waste-to-energy in Thailand, United Kingdom and United State

Country	Policy to support the waste-to-energy	Reference
ประเทศไทย	-Increasing the purchase price of electricity -Exemption of import duty on machinery and renewable energy production technology. -Supporting energy generation projects from waste to develop into Clean Development Mechanism (CDM) project. -Public-Private-People partnership (4P). -The purchase of electricity from municipal waste generation project in the form of Feed-in Tariff (FiT).	[4] [25]
United Kingdom	-Renewables Obligation (RO) scheme. -Renewable Obligation Certificates (ROCs) trading.	[28]
United States	-Renewables Obligation (RO) scheme. -Policies promote maintaining strict environmental emission level standards. -Renewable electricity production is cheaper than fossil fuel-generated electricity.	[8]

จากการศึกษานโยบายและแนวทางในการจัดการการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานของทั้ง 3 ประเทศที่แสดงให้เห็นถึงจุดร่วมเดียวกันในเรื่องของการสร้างแรงจูงใจของทางภาครัฐในการผลิตพลังงานจากขยะซึ่งเป็นของเสียที่ไม่มีใครสนใจ จากรายงานการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบ [30] ทำให้ทราบว่าประเทศไทยมีแนวโน้มในการนำขยะมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากนโยบายและการสร้างแรงจูงใจ ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการยกเว้นภาษีอากรขาเข้าสำหรับเครื่องจักรและเทคโนโลยีผลิตพลังงานทดแทน ดังนั้นควรมีการผลักดันในด้านการพัฒนานโยบายที่มีแนวคิดคล้ายกับ Renewable Obligation (RO) ที่สนับสนุนการผลิตไฟฟ้าหมุนเวียนเพื่อสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกา รวมทั้งเป็นการส่งเสริมการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 20 ตามแผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ.2564-2573 สาขาพลังงาน [31] ในส่วนของการเลือกเทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานในแต่ละประเทศจะเลือกตามความเหมาะสมทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกามีเทคโนโลยีที่ทันสมัยและต้นทุนที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาณของเสียที่มีจำนวนมาก ลักษณะทางเศรษฐกิจสังคมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด

5. สรุป

เทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อสามารถรองรับปริมาณขยะที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นในอนาคต อีกทั้งยังส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทนเพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถตอบโจทย์ของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนได้เป็นอย่างดี การเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับบริบทของแต่ละประเทศที่ทำการศึกษา ซึ่งเทคโนโลยีและนโยบายที่สำคัญในการจัดการขยะในแต่ละประเทศคือ เทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน โดยในการแปรรูปขยะเป็นพลังงานจะต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ซึ่งแนวทางในการดำเนินการของทางภาครัฐจะช่วยอำนวยความสะดวกมากยิ่งขึ้น สนับสนุนและกระตุ้นการลงทุนด้วยการกำหนดนโยบายที่สามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจการแปรรูปขยะและส่งเสริมองค์ความรู้ความเข้าใจให้กับประชาชน การพัฒนาเทคโนโลยีและการสนับสนุนนโยบายการแปรรูปขยะเป็นพลังงานควรเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เหลือน้อยที่สุด อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรค กลิ่น และทัศนียภาพที่ดีขึ้นให้แก่สังคมโดยรอบ สนับสนุนให้เกิดการจัดการของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

There's no such thing as being "good" or "bad" for environment only "better alternative"

6. References

[1] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand State of Pollution Report 2021, Available Source: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2022/08/pcd new-2022-08-08_08-30-05_795080.pdf, August 21, 2022. (In Thai)

[2] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Situation of Municipal Solid Waste in Thailand, Available Source: https://thaimsw.pcd.go.th/report_country.php, August 24, 2022. (In Thai)

[3] Ministry of Energy, 2011, Guidebook for Development and Investment in Renewable Energy Production: Waste-to-Energy, Bangkok, 106 p. (In Thai)

[4] Ministry of Energy, Promoting the Production and Use of Energy from Waste, Available Source: https://bit.ly/389jq2k, April 20, 2022. (In Thai)

[5] Ministry of Energy, 2021, Annual Report 2020, Bangkok, 200 p. (In Thai)

[6] Yap, H.Y. and Nixon, J.D., 2019, A Multi-criteria Analysis of Options for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in India and the UK, J. Waste Manag. 46:265-277.

[7] Foster, W., Azimov, U., Maradei, P.G., Molano, L.C., Combrinck, M., Munoz, J., Esteves, J.J. and Patino, L., 2021, Waste-to-Energy Conversion Technologies in the UK: Processes and Barriers – A Review, Renew. Sust. Energ. Rev. 135:1-20.

[8] Mukherjee, C., Denney, J., Mbonimpa, E.G., Slagley, J. and Bhowmik, R., 2020, A Review on Municipal Solid Waste-to-Energy Trends in the USA, Renew. Sust. Energ. Rev. 119:1-17.

[9] United States Environmental Protection Agency, National Overview: Facts and

Figures on Materials, Wastes and Recycling, Available Source: https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials, August 23, 2022.]

[10] United Nations Environment Programme, Waste Management in ASEAN Countries: Summary Report, Available Source: https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/21134, August 23, 2022.

[11] European Suppliers of Waste-to-Energy Technology, 2021, Activity Report 2020, Belgium, 32 p.

[12] Sanvong C., 2021, A Study on Reducing Green House Gas Emissions from Household Waste Sorting for Recycling under The Low Emission Support Scheme (LESS). Case Study: Chulachomklao Royal Military Academy, CRMA Journal, 19: 57-64. (In Thai)

[13] United States Environmental Protection Agency, What is a Circular Economy?, Available Source: https://www.epa.gov/recyclingstrategy/what-circular-economy, April 15, 2022.

[14] Ministry of Science and Technology, 2019, Circular Economy, Pathum Thani, 48 p. (In Thai)

[15] European Suppliers of Waste-to-Energy Technology, Energy, Heat, Steam and Materials from Waste, Available Source: https://eswet.eu/documents/energy-heat-steam-and-materials-from-waste/, April 19, 2022.

[16] European Commission, Waste Framework Directive, Available Source: https://ec.europa.eu/ environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en, May 4, 2022.

[17] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Guideline of Waste Management and Waste-to-Energy Technologies for Municipalities, Available Source: https:// www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-24_04-23-52_719736.pdf, April 15, 2022. (In Thai)

[18] Sharma, S., Basu, S., Shetti, N.P., Kamali, M., Walvakar, P. and Aminabhavi, T.M., 2020, Waste-to-Energy Nexus: A sustainable Development, Environ. Pollut. 267:1-20.

[19] AlQattan, N., Acheampong, M., Jaward, F.M., Ertem, F.C., Vijayakumar, N. and Bello, T., 2018, Reviewing the Potential of Waste-to-Energy (WTE) Technologies for Sustainable Development Goal (SDG) Number Seven and Eleven, Renew. Energy Focus. 27:97-110.

[20] Sriring, S. and Sornin, V., 2015, Model for Appropriate Development of Incinerator to Produce Electricity from Solid Waste in Udon Thani Provice, KU Engineering Journal. 28(94):47-56. (In Thai)

[21] Kushwas, A., Reina, T.R. and Short, M. 2022. Modelling Approaches for Biomass Gasifiers: A Comprehensive Overview. Sci. Total Environ. 834:1-17.

[22] Veerarongkorn, K. and Arpornwichanop, A. Pyrolysis, Available Source: https://

www.tpa.or.th/ publisher/pdfFileDownloadS/tn241_p61-64.pdf, August 20,2022. (In Thai)

[23] Zhang, Q., Dor, L., Fenigshtein, D., Yang, W. and Blasiak, W., 2012, Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process, Appl. Energy. 90:106-112.

[24] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Map of Waste Power Plants in Thailand, Available Source: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=47310, May 4, 2022. (In Thai)

[25] Thailand Environment Institute, Handbook for the Development of Cooperation in the Management of Electric Power from Waste, Available Source: https://www.tei.or.th/file/publica tion/Book-Executive-4PW2E_85.pdf, May 4, 2022. (In Thai)

[26] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, policy for obtaining electricity from renewable sources, Available Source: http://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/plan-buy-renewenergy, April 20, 2022. (In Thai)

[27] Rodseanglung, T. and Paksamut, J., 2018, Carbon Credits Another Role of Biomass Energy, J. Ind. Technol. 14(1):86-101. (In Thai)

[28] Department for Environment Food & Rural Affairs, Energy from Waste A guide to the debate, Available Source: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads /attachment_data/file/284612/pb14130-energy-waste-201402.pdf, April 19, 2022.

[29] Energy Information Administration, Biomass explained Waste-to-energy (Municipal Solid Waste), Available Source: https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/waste-to-energy.php#:~:text=In%202020%2C%2065%20U.S.%20power,45%25%20of%20the%20electricity%20generated, April 19, 2022.

[30] The Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Energy Balance of Thailand 2020 Report, Available Source: https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Energy_ Balance_of_Thailand_2563_for_web.pdf, August 21, 2022. (In Thai)

[31] [Ministry of Energy, Power Development Plan B.E. 2561-2580 (PDP2018), Available Source: http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/PDP2018.pdf, August 24, 2022. (In Thai)]