การจัดการขยะเป็นแหล่งพลังงานด้วยการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

MUNICIPAL WASTE DISPOSAL MANAGEMENT TO BECOME ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES BY CONVERTING WASTE PLASTIC INTO LIQUID FUELS

วิชชากร จารุศิริ
Witchakorn Charusiri

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University.

บทคัดย่อ

สภาพการบริโภคในสังคมที่มีการเจริญเติบโตอย่างก้าวกระโดดเช่นปัจจุบัน แสดงให้เห็นถึงปัญหาขยะที่มีทวีความรุนแรงขึ้นจากผลพวงของการบริโภคไร้ขีดจำกัด การจัดการขยะโดยทั่วไป ได้แก่ การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) การคัดแยกเพื่อแปรสภาพขยะอินทรีเป็นปุ๋ยหมัก (Organic Fertilizer) การคัดแยกเพื่อแปรสภาพขยะเป็นเชื้อเพลิง (Turn Waste into Energy) การคัดแยกเพื่อนำวัสดุไปแปรรูปในกระบวนการรีไซเคิล (Recycle) และการใช้เตาเผา (Incineration) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อจำกัดต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมด้านต่างๆ อาทิ ประเภทของขยะ สถานที่ที่ใช้ในการจัดการขยะ ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และความพร้อมด้านการลงทุน อย่างไรก็ตามกระบวนการจัดการขยะที่เป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันคือ วิธีการฝังกลบ ทำให้มีขยะพลาสติกตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากและก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการ ในปัจจุบันขยะพลาสติกสามารถนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้แล้ว และมีความแพร่หลายด้วยวิธีการที่มีความหลากหลายแต่ส่วนที่สำคัญคือ การให้อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและส่งผลต่อการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปนอกจากจะใช้เป็นแหล่งพลังงานที่มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปแล้ว ยังสามารถให้ประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในเชิงการบริหารจัดการขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดผลดีที่จะสามารถลดปริมาณขยะสะสมในแหล่งฝังกลบซึ่งจะสามารถคืนพื้นที่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สาธารณะอื่นต่อไป

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอย ขยะพลาสติก พลังงานทดแทน น้ำมันดีเซล

Abstract

Sharp growth of consumption condition in the society at present represents problems on waste that becomes more serious due to unlimited consumption. Common management of waste are sanitary landfill, sorting waste and converting into organic fertilizer, sorting waste and converting into energy, sorting waste and converting through recycling process and incineration. There are pros and cons for each method, depending on appropriate features such as categories of waste, venues of waste management, impact on environment, society, and investment readiness. However, landfill is the common process of waste management nowadays. As a result, a great number of wastes remain, causing problem in management. At present, plastic waste can be processed and converted into liquid fuels with well-known and various processes. The important part is setting temperature and time of reaction, which are the important factors and cause impacts on the conversion of plastic waste into liquid fuels. The processed products do not serve only as energy sources, equivalent to common fuels, but they are also beneficial to the environment in the management of waste for maximum benefit, reducing the remaining landfill that can be used for other public purposes in the future.

Keywords: Municipal Waste, Waste Plastic, Renewable energy, Diesel oil

บทนำ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันได้ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่และการอุปโภค บริโภคของผู้คนในสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการผลิต อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขนส่ง ย่อมได้รับผลกระทบจากการพัฒนาการทางเศรษฐกิจซึ่ง “พลังงาน” นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำลังกลายเป็นวิกฤตการณ์ขาดแคลนจากการบริโภคจนเกิดพอดีในสังคมยุคโลกาภิวัตน์เช่นปัจจุบัน จึงมีการแสวงหาแนวทางการพัฒนาพลังงานประเภทใหม่เพื่อนำมาใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลที่คาดว่าจะหมดลงในไม่ช้า

ปรากฏการณ์บริโภคจนเกินพอดีไม่เพียงกระทบต่อภาคการผลิตเท่านั้น ขยะที่เกิดขึ้นจากการบริโภคและเป็นสิ่งเหลือใช้จากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ก็เป็นปัญหาที่จำเป็นเร่งด่วนต้องได้รับการกำจัดอย่างถูกสุขวิธี เมื่อพิจารณาถึงแนวทางการบริหารจัดการขยะให้เกิดประโยชน์ต่อการนำส่วนที่ยังเป็นประโยชน์กลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล (recycle) รวมถึงการนำขยะที่มีองค์ประกอบสามารถเป็นแหล่งพลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อม ในประเทศไทยได้มีการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานจากขยะ [1-2] พบว่า ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและปริมาณทำให้การเปลี่ยน

ขยะไปเป็นแหล่งพลังงานถูกจำกัดไว้เพียงไม่กี่รูปแบบ อาทิ เตาเผาขยะมูลฝอยที่เทศบาลนครภูเก็ตมีความสามารถในการกำจัดวันละ 250 ตัน และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 2.5 เมกกะวัตต์ หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการ ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 935 กิโลวัตต์ การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะเพื่อผลิตพลังงานที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 870 กิโลวัตต์ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่เทศบาลเมืองระยอง โดยระบบออกแบบให้สามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้วันละ 60-70 ตัน และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 625 กิโลวัตต์ และองค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นระบบการกำจัดขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน และมีการผลิตพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 เมกกะวัตต์ จากตัวอย่างเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ได้มีความพยายามที่จะบริหารจัดการขยะให้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในเวลาที่อาจเกิดวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานในไม่ช้า

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาพบว่าขยะมูลฝอยยังคงมีพลังงานที่เหลืออยู่ภายในและสามารถเปลี่ยนรูปกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ในปีพุทธศักราช 2553 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้นทั้งหมด 45.29 ล้านตัน มีการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่คิดเป็นร้อยละ 22 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น [1] การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนโดยรวมในจังหวัดเป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในพื้นที่ที่ตนเองรับผิดชอบอยู่ซึ่งพบว่า การแก้ไขปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยพื้นที่หนึ่งแต่กลับไปสร้างปัญหาเพิ่มเติมให้กับอีกพื้นที่หนึ่ง นอกจากนี้ส่วนใหญ่ยังขาดความพร้อมทั้งทางด้านงบประมาณ เครื่องมืออุปกรณ์ บุคลากรที่มีความรู้ และสถานที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะ จึงทำให้การกำจัดขยะส่วนใหญ่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน และกลายเป็นปัญหาระดับชาติ ประกอบกับปัจจุบันมีความจำเป็นที่จะต้องแสวงหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดน้อยลงและมีราคาสูงขึ้น ขยะชุมชนเป็นชีวมวลชนิดหนึ่งซึ่งมีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณมากและจำเป็นต้องกำจัด ในขณะที่ปัจจุบันมีการกำจัดขยะโดยนำขยะมาใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานยังมีน้อยมาก จากการประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานจากขยะพบว่า การกำจัดขยะมูลฝอยและมีการนำพลังงานที่ได้จากการกำจัดกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่นั้นพบว่า มีอยู่ไม่มากนักทั้งในด้านเทคโนโลยีและในด้านปริมาณ แนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยการจัดการขยะให้เป็นพลังงานได้อีกหนทางหนึ่งคือ การแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน (Turn Waste in to Energy) ด้วยการนำขยะพลาสติกมาเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนกลับเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีชื่อตามสิทธิบัตรนานาชาติ WO 2005/078049 เรียกว่า “Polymer Energy” ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีใหม่ในปัจจุบัน สามารถผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกและสามารถลดการเข้าน้ำมันดิบไปพร้อมๆ กับการกำจัดขยะพลาสติก ซึ่งมีปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากโดยปกติแล้วต้องใช้พื้นที่ฝังกลบเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเฉลี่ยของตัวอย่างขยะรวมในเทศบาลที่มีปริมาณมากกว่า 100 ตัน/วัน และ 50-100 ตัน/วัน

องค์ประกอบ	ปริมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน	ปริมาณขยะ 50-100 ตัน/วัน
เศษอาหาร/ผัก/ผลไม้	53.49 %	57.18 %
พลาสติก	20.12 %	19.40 %
กระดาษ	8.95 %	8.38 %
แก้ว	5.02 %	3.47 %
โลหะ	1.80 %	1.52 %
อื่นๆ	10.62 %	10.05 %

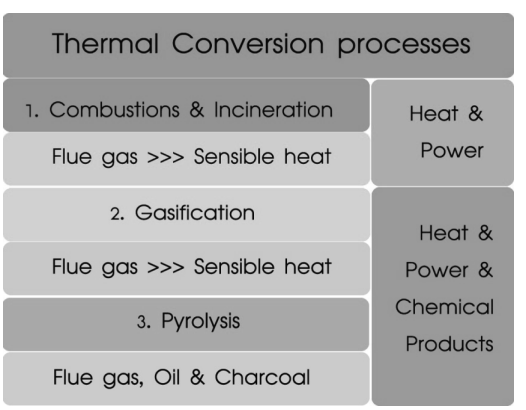
ที่มา: สมรัฐ เกิดสุวรรณ [3]; สถาบันวิจัยพลังงาน [4]

องค์ประกอบและคุณสมบัติของขยะมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบขยะคุณสมบัติมูลฝอยชุมชนในประเทศจะเปลี่ยนไปตามสภาพของภูมิอากาศ ฤดูกาล และพฤติกรรมทางเศรษฐกิจสังคม วิถีชีวิตตลอดจนอุปนิสัยและแบบแผนในการบริโภคของแต่ละชุมชน/เมือง โดยทั่วไปมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป ผลการคัดแยกองค์ประกอบตัวอย่างขยะ จำนวน 30 เทศบาล แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะ ซึ่งพอแสดงให้เห็นถึงแนวทางการใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบที่มีอยู่ในขยะมูลฝอย

การแปรรูปขยะให้เป็นแหล่งพลังงาน

ในกระบวนการแปรรูปขยะให้เป็นแหล่งพลังงานมีด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของขยะ เช่น ปฏิกิริยาทางกายภาพด้วยการใช้ความร้อน ความดัน ปฏิกิริยาทางเคมีด้วยการใช้สารเคมี ตัวทำละลาย ปฏิกิริยาการหมักให้เกิดเป็นแก๊สชีวภาพ ปฏิกิริยาทางรังสี หรือใช้ทั้งปฏิกิริยากายภาพและปฏิกิริยาเคมีผสมผสานกันเพื่อให้ได้เป็นแหล่งพลังงานตามประเภทหรือลักษณะของการใช้งาน



ภาพที่ 1 รูปแบบทั่วไปของการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานด้วยความร้อน

การแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานโดยใช้ความร้อนซึ่งจะเห็นว่า สามารถให้พลังงานได้หลายรูปแบบตามลักษณะของกระบวนการแปรรูป [5] ซึ่งประกอบด้วย

1. กระบวนการให้ความร้อนด้วยการเผาไหม้โดยตรง (combustion and inceneration) เป็นการให้เผาไหม้ขยะโดยตรง ซึ่งอาจเกิดแก๊ส และความร้อน โดยจะนำความร้อนไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง หรือไปใช้ผลิตพลังงานรูปแบบอื่นๆ เช่น ไอน้ำเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าต่อไป เราจึงมักเรียกผลผลิตของพลังงานที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้โดยตรงว่า ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม (combined heat and power)

2. กระบวนการให้ความร้อนด้วยการผลิตแก๊สสังเคราะห์ (gasification) เป็นการให้ความร้อนแก่ขยะเพื่อให้เกิดการเผาไหม้และเกิดเป็นแก๊สสังเคราะห์และความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง หรือเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำ (steam reforming) เพื่อให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

3. กระบวนการให้ความร้อนในภาวะจำกัดอากาศ หรือไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการ ที่ให้ความร้อนในภาวะไร้อากาศหรือจำกัดอากาศให้น้อยที่สุด เป็นกระบวนการที่ไม่มีความซับซ้อน และความแพร่หลายมากที่สุด รวมถึงสามารถเปลี่ยนรูปให้ได้เป็นพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น น้ำมัน แก๊สเชื้อเพลิง และถ่านชาร์ที่เกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ (volatile)

กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน

การไพโรไลซิสขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมีเทคโนโลยีที่ไม่แตกต่างกันมากอาทิ การใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวในภาวะไร้อากาศ การใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้ความร้อนสูงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

การแตกตัวด้วยใช้ความร้อนในภาวะไร้อากาศ (Thermal cracking) เป็นกระบวนการไพไลไรซิสที่ไม่ซับซ้อนใช้ความร้อนเพื่อให้เกิดการแตกตัวของพันธะในโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนให้มีขนาดเล็กลงหรือกล่าวได้ว่าเป็นการย่อยสลายพลาสติกที่เป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดกว้าง [6-7] ได้ปริมาณน้ำมันที่ต่ำ และหากใช้อุณหภูมิสูงจะเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำนวนมาก และอาจเกิดโค้กขึ้นได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ โดยที่อิทธิพลของความร้อนจะมีบทบาทต่อการแตกตัวของพันธะคาร์บอน-คาร์บอนอย่างรุนแรง ทำให้ได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ในขณะที่ปฏิกิริยายังดำเนินต่อไปโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงนั้นก็จะได้รับอิทธิพลจากความร้อนแตกตัวต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำนวนมาก [5, 8-9] จะเห็นว่า กระบวนการไพโรไลซิสที่ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวนั้นมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ โดยน้ำมันที่ได้จากกระบวนการนี้มักจะเป็นแกโซลีน (gasoline) น้ำมันก๊าด

และน้ำมันดีเซล ซึ่งในน้ำมันแก๊สโซลีนจะประกอบด้วย โอเลฟิน มีค่าออกเทนต่ำ น้ำมันดีเซลจะมีจุดเยือกแข็งต่ำ และมีค่าซีเทนต่ำ

การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) เป็นกระบวนการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาใช้เพื่อลดพลังงานกระตุ้นในการแตกสลายพันธะคาร์บอน-คาร์บอนภายในโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเฉพาะทาง เช่น ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน (chain scission) ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน (hydrogen transfer) และกระบวนการคอนเดนเซชั่น (condensation) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาภายใต้ภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ โดยเมื่อการแตกตัวด้วยความร้อนดำเนินไปถึงภาวะคงที่จุดหนึ่ง (steady state) ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้ามามีบทบาทในการแตกสลายพันธะคาร์บอน-คาร์บอนให้มีขนาดเหมาะสม และเป็นตัวเพิ่มพันธะไอโซเมอไรเซชั่น (isomerization) และไอโซเมอริกไฮโดรคาร์บอน (isomeric hydrocarbon) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักและโครงสร้างโมเลกุลที่แน่นอน และมักขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แพร่หลายและมีประสิทธิภาพในวงการอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี คือ ซิลิก้าอะลูมินา (silica-alumina) ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากมีพื้นที่ผิวเป็นโลหะ-กรด สามารถให้ไฮโดรเจนได้ [7-9] อย่างไรก็ดีเมื่อปฏิกิริยาที่มีการให้ความร้อนสูงอย่างต่อเนื่องก็อาจทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหม้เป็นถ่านโค้กซึ่งเมื่อมีปริมาณมากขึ้นอาจเกิดการสะสมที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ในที่สุด

การแตกตัวสองขั้นตอนด้วยความร้อนและเปลี่ยนโครงสร้างด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking catalytic reforming) กระบวนการนี้เป็นการให้ความร้อนแก่พลาสติกที่อุณหภูมิสูงมากปฏิกิริยาในขั้นนี้มักเกิดเป็นน้ำมันเบา อาทิ แก๊สโซลีน และดีเซล จะเกิดในปริมาณน้อยและมีคุณภาพต่ำ [10-11] จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนรูปในลำดับต่อไป ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการแตกตัวแบบสองขั้นตอนโดยให้ความร้อนไปพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะมีบทบาทในการช่วยเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคุณภาพสูง และมีข้อดีที่สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย

เทคโนโลยีการแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมัน

กระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันจะเริ่มตั้งแต่กระบวนการคัดแยกขยะพลาสติกซึ่งอยู่ในหลุมฝังกลบโดยส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์จะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการชีวภาพไปแล้ว คงเหลือแต่ขยะพลาสติกและขยะที่ไม่เกิดการย่อยสลาย ในขั้นตอนนี้เองจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการคัดแยกซึ่งอาจใช้วิธีการร่อนขยะด้วยเครื่องร่อน หรือวิธีการคัดแยกด้วยน้ำ (flotation) โดยอาศัยหลักการปั่นเหวี่ยงพลาสติกโดยให้สัมผัสกับน้ำในในบ่อคัดแยกด้วยน้ำ ส่วนที่เป็นมลทิน เช่น เศษดิน หรือโลหะ จะจม

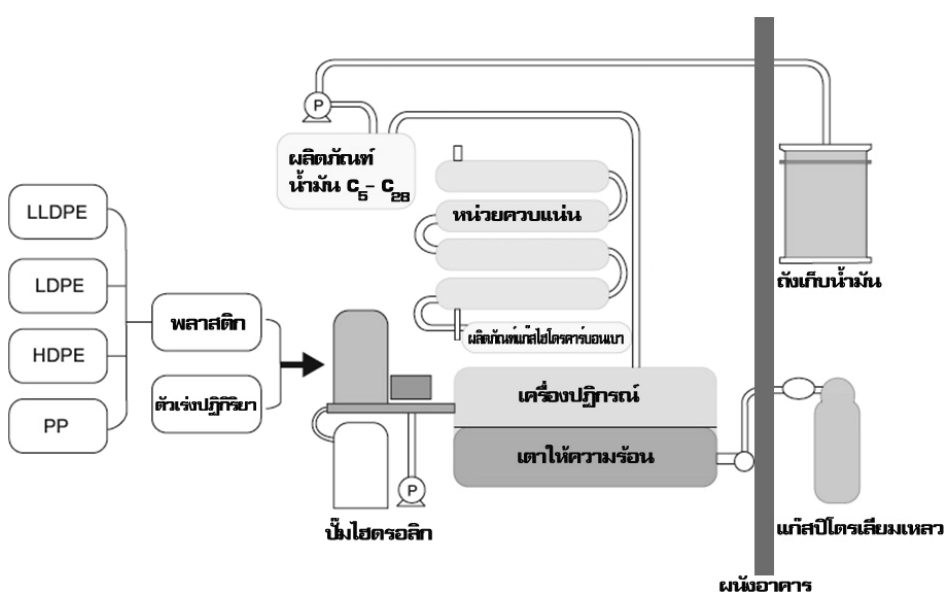
ในบ่อน้ำ ทำให้คัดแยกเฉพาะพลาสติกออกมาได้ กระบวนการเบื้องต้นนี้อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพพลาสติกที่อาจมีสิ่งเจือปนอยู่บ้างและความชื้น ซึ่งในกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันอาจต้องมีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบด้วยการนำไอร้อนปล่อยทิ้งจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของระบบการแปรรูปพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งพลาสติกก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน

ภาพที่ 2 การร่อนขยะพลาสติกจะขยะที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพ

ภาพที่ 3 การเตรียมขยะพลาสติกด้วยวิธีการคัดแยกด้วยน้ำ

ขั้นตอนในการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันด้วยวิธีการไพโรไลซิสจะป้อนขยะพลาสติกเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่เป็นระบบปิด และป้อนความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชั่น (depolymerization) ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 350-550 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของพลาสติกและตัวเร่งปฏิกิริยา [8, 11] โดยในช่วงแรกอิทธิพลของอุณหภูมิจะมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวโครงสร้างของพอลิเมอร์ [7, 12] ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันในด้านโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอาจทำให้ได้น้ำมันที่มีองค์ประกอบเป็นเบนซิน ดีเซล หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่นำไปใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อไปได้ [13] นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทในการลดพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน และช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการแตกตัวของกระบวนการอีกด้วย กระบวนการนี้ได้มีการพัฒนาในเชิงพาณิชย์แล้วในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา โปแลนด์ และมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีเหล่านี้ไปใช้ในหลายประเทศ อาทิ โปแลนด์ เยอรมัน รัสเซีย และอินเดีย เป็นต้น

หลักการทำงานของระบบแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันที่พอยกตัวอย่างได้เทคโนโลยีหนึ่งคือ เริ่มจากการป้อนขยะพลาสติกเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กระบอกสูบดันในแนวระนาบเข้าสู่ส่วนที่ทำให้หลอมเหลว จากนั้นขยะพลาสติกในรูปพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกดันให้ไหลเข้าไปในแนวนอนยังเครื่องปฏิกรณ์ ที่ได้รับความร้อนโดยท่อร้อน (heating pipe)



ภาพที่ 4 กระบวนการแปรรูปพลาสติกไปเป็นน้ำมัน (ปรับปรุงจากกระทรวงพลังงาน [14])

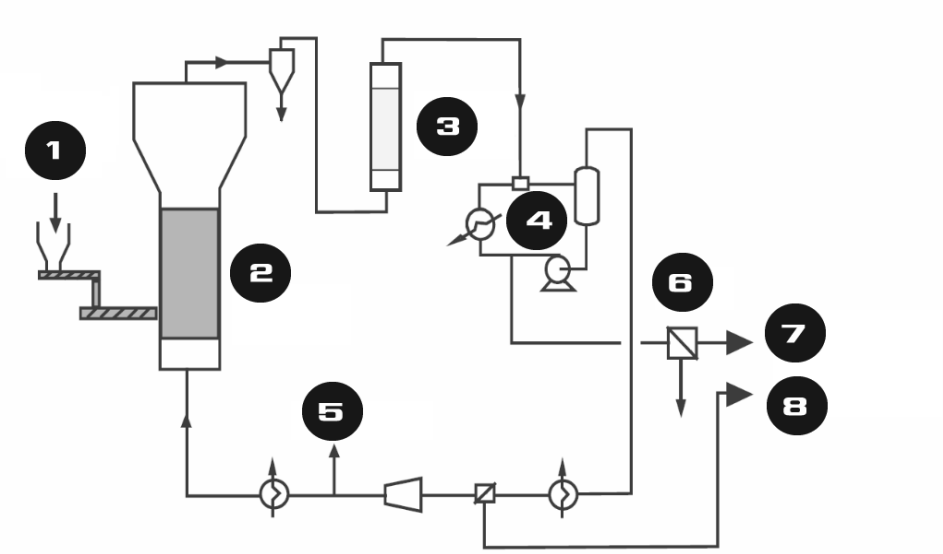
โดยพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องจะถูกทำให้ไหลต่อไปตามทางลาดเอียงที่มีล้อหมุน (drums) หลายอันที่หมุนเป็นวงภายใต้ความถี่พอเหมาะช่วยส่งให้พลาสติกหลอมไหลไปข้างหน้าจนเกิดการแตกตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สหรือไอของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกมาที่อุณหภูมิ 350-500 องศาเซลเซียส ซึ่งแก๊สไฮโดรคาร์บอนนี้จะถูกส่งจากส่วนบนของเตาไปสู่หน่วยทำความเย็นและควบแน่น (condensor) เพื่อทำหน้าที่ควบแน่นไอของแก๊สไฮโดรคาร์บอนให้เป็นน้ำมันเหลวที่มีขนาดของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน C_5–C_{28} ออกมา โดยมีปริมาณของน้ำมันเหลวที่ผลิตได้ร้อยละ 60 ของน้ำหนักขยะพลาสติก ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่นเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก C_1-C_4 จะถูกส่งไปเผาไหม้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนแก่เตาหลอม สำหรับส่วนที่ปนเปื้อนที่ไม่หลอมหรือหลอมไม่หมดจะถูกกำจัดไปยังเครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติทางสายพานลำเลียง

เทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นน้ำมันในต่างประเทศ

กระบวนการเปลี่ยนรูปของพอลิเมอร์ให้เป็นของเหลวเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้มีการคิดค้นและใช้จริงมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 ซึ่งนับเป็นเวลาเกือบร้อยปีที่มีการศึกษาและพัฒนากันเรื่อยมาจนเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปในหลายประเทศ ในบทความนี้จะขอยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่นำพลาสติกมาเปลี่ยนรูปให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น

กระบวนการวีบา (VEBA process) [10, 13] เป็นกระบวนการป้อนพลาสติกที่เป็นของแข็งเข้าไปในเครื่องปฏิกิรณ์ไพโรไลซิสแบบหมุนที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผาแก๊สที่มีความดัน 10 มิลลิบาร์ โดยใช้อุณหภูมิทำปฏิกิริยาสูงถึง 650 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่เป็นน้ำมันเหลวที่จะขึ้นกับความเร็วในการหมุนและการเอียงตัวของเครื่องปฏิกรณ์ที่แสดงให้เห็นว่าเวลาที่พลาสติกอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (residence time) ระหว่างการถ่ายโอนความร้อนมายังพลาสติกจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส ไอของแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นและน้ำมันและถูกส่งไปควบแน่นที่ระบบควบแน่นแยกน้ำมันออกจากวัฏภาคของแก๊สโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการควบแน่นเพื่อลดอุณหภูมิให้ไอแก๊สและน้ำมันมีอุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส จากนั้นไอแก๊สไฮโดรคาร์บอนจะถูกส่งมายังหน่วยควบแน่นที่ 2 เพื่อลดอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสามารถควบแน่นแก๊สไฮโดรคาร์บอนให้เป็นน้ำมันเหลวได้ ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่นจะถูกส่งกลับไปป้อนเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องปฏิกรณ์ต่อไป กระบวนการวีบานี้สามารถใช้แปรรูปพลาสติกได้หลายประเภท รวมถึงพลาสติกพีวีซี ที่อาจต้องเพิ่มส่วนเตรียมวัตถุดิบให้ปราศจากคลอรีนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเพื่อแยกคลอรีนออกไปก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบหมุนต่อไป

กระบวนการของบีพีเคมิคัล (BP Chemical process) [13, 15] เป็นกระบวนการเตรียมพลาสติกให้มีมลทินน้อยกว่า 5%

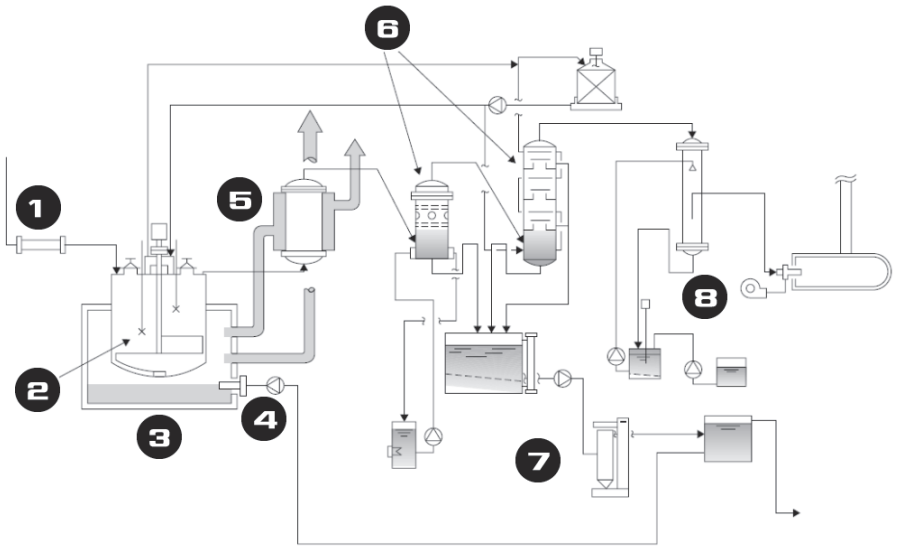


ภาพที่ 5 ผังกระบวนการ BP Chemical [15]

1. ระบบป้อนพลาสติก 2. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์ 3. ส่วนบำบัดแก๊สไอเสีย 4. ระบบหล่อเย็นและหอกลั่น 5. แก๊สเชื้อพลิง 6. ระบบกรองตะกอน 7. สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 8. กากน้ำมัน

แล้วป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์ชนิดฟองแก๊สที่มีไนโตรเจนเป็นแก๊สตัวพาและมีทรายเป็นอนุภาคของแข็ง กระบวนการภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนทำให้พลาสติกถูกหลอมอย่างรวดเร็วและออกจากเครื่องปฏิกรณ์โดยแก๊สตัวพาเข้าสู่เครื่องปั่นแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกผ่านหน่วยกำจัดคลอรีน และคัดแยกตัวดูดซับที่เสื่อมสภาพ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะส่งไปยังหน่วยแยกองค์ประกอบโดยผ่านการแยกไขเพื่อนำไปผสมกับแนฟทาสำหรับป้อนเป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกควบแน่นให้เป็นแก๊สและน้ำมัน ซึ่งแก๊สที่ได้จะถูกอัดที่ความดัน 4 เท่าบรรยากาศ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนทั้งหมดของกระบวนการและใช้เป็นแก๊สตัวพาในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์ด้วย

กระบวนการเทอร์โมฟิวเอิล (Thermofuel Process) [16] เป็นกระบวนการที่ทำให้พลาสติกหลอมเหลวก่อนที่จะส่งเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350-425 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศเฉื่อยของแก๊สไนโตรเจน ซึ่งปฏิกิริยาแตกตัวของพลาสติกจะเกิดขึ้นในห้องเร่งปฏิกิริยาที่สร้างจากแผ่นโลหะผสมและวางเรียงให้เกิดการไหลแบบซับซ้อน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับตัวเร่งและเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ทำให้ได้ไฮโดรคาร์บอนในช่วง C_8-C_{25} โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ C_{16} ซึ่งมักเป็นองค์ประกอบของน้ำมันแกโซลีน น้ำมันก๊าด



ภาพที่ 6 ผังกระบวนการ Thermofuel™ [16]

1. ระบบป้อนแก๊สไนโตรเจน 2. ห้องเร่งปฏิกิริยา 3. ห้องให้ความร้อน 4. หัวเผา 5. ห้องปฏิกรณ์ 6. ระบบหล่อเย็นและหอกลั่น 7. ถังรับน้ำมันจากหอกลั่นและส่วนตกตะกอนน้ำมัน 8. ส่วนปรับปรุงคุณภาพแก๊สไอเสียและเตาเผาแก๊สไอเสีย

และดีเซล ส่วนแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปที่หน่วยควบแน่นเป็นน้ำมันเหลว และแก๊สสำหรับป้อนเป็นเชื้อเพลิงให้กับกระบวนการต่อไป

กระบวนการสมุดา (SMUDA Process) [16] เป็นกระบวนการที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา non-zeolite metal silicate 10% ลงไปในถังปฏิกรณ์เพื่อลดระดับพลังงานในการแตกสลายพันธะคาร์บอนของพลาสติกและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความดัน 4-5 บรรยากาศ โดยภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบถังกวนที่มีใบกวนหมุนกวนด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาทีให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกอย่างทั่วถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกส่งไปที่หน่วยการกลั่นเพื่อกลั่นแยกแก๊สและน้ำมันแต่ละชนิดออกจากกันตามคาบจุดเดือด น้ำมันหนักจะถูกป้อนกลับมาทำให้แตกตัวที่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสอีกครั้ง อย่างไรก็ดีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความทนต่อสารละลายที่มีความเป็นด่างได้ต่ำ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่เหมาะกับพลาสติกที่เป็นไนลอน หรือเอบีเอส เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นด่างและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ

ตัวอย่างของเทคโนโลยีแปรรูปพลาสติกให้เป็นน้ำมันในต่างประเทศทำให้เห็นถึงภาพความเป็นไปได้และความแพร่หลายในเชิงเทคโนโลยีที่พยายามคิดค้นให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงทั้งที่นำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ หรือการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาได้

อย่างครบวงจร โดยจุดที่มีความคล้ายคลึงกันของเทคโนโลยีแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมัน ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาการแตกตัว และระยะเวลาทำปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการแปรรูปพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวทำละลายจะเป็นส่วนเพิ่มเพื่อเตรียมหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึงภายในเครื่องปฏิกรณ์

เทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นน้ำมันในประเทศไทย

เทคโนโลยีและกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยได้มีความสนใจศึกษาวิจัยทั้งในสถาบันการศึกษาที่ได้ค้นคว้าและพัฒนาต่อยอดถึงขั้นโรงงานต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกไปเป็นน้ำมัน หรือการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพลักษณะขยะมูลฝอยในประเทศไทย โดยกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันส่วนใหญ่ยังคงเป็นเทคโนโลยีไพโรไลซิสและมีการพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลาสติกให้เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีขึ้นด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เทคโนโลยีของบริษัทเอกชนรายหนึ่งที่ได้นำเทคโนโลยี polymer energy technology ซึ่งคิดค้นโดย Zbigniew Tokarz วิศวกรชาวโปแลนด์ [17] และได้รับความคุ้มครองโดยสิทธิบัตรนานาชาติ WO 2005/078049 [14] ซึ่งมีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้ได้จริงโดยองค์กร Environment Technology Action Plan (ETAP) ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้ EU Commision ได้ประกาศรับรองเทคโนโลยีแล้ว จุดเด่นของเทคโนโลยีคือ เครื่องจักรมีขนาดไม่ใหญ่มาก สามารถผลิตน้ำมันเหลวได้อย่างต่อเนื่องจากขยะพลาสติกและยางรถยนต์เก่า โดยเฉพาะพลาสติกที่มีการปนเปื้อนสูง จึงเหมาะกับการนำพลาสติกจากหลุมฝังกลบมาป้อนเข้าสู่ระบบแปรรูปโดยไม่ต้องล้างทำความสะอาด [10] ขยะจากแหล่งฝังกลบจะถูกคัดแยกเฉพาะส่วนที่เป็นพลาสติกมาอัดเป็นและส่งไปยังเตาหลอม pneumatic พร้อมกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะทำให้พลาสติกเกิดการแตกตัวให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในวัฏภาคของแก๊ส และเกิดการควบแน่นด้วยระบบหล่อเย็นบริเวณส่วนบนของเตาหลอมได้เป็นน้ำมันเหลวออกมา ส่วนแก๊สที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกป้อนส่งไปยังระบบเผาไหม้เพื่อเป็นแก๊สเชื้อเพลิง (synthesis gas) ร่วมกับแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนแก่เตาหลอมต่อไป สิ่งปนเปื้อนที่ตกค้างที่ไม่หลอมหรือหลอมไม่หมดจะถูกกำจัดออกทางสายพานลำเลียง ผลิตภัณฑ์น้ำมันเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปนี้ ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นแก๊สประมาณ 15% ส่วนที่เป็นของเหลวประมาณ 60% เป็นกากของแข็งประมาณ 25% เมื่อนำน้ำมันเหลวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการพบว่า มีองค์ประกอบเป็นน้ำมันเบนซินร้อยละ 20 น้ำมันดีเซลร้อยละ 40-60 ในประเทศไทยได้มีการจัดตั้งโรงงานแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันโดยเอกชนด้วยเทคโนโลยี polymer energy technology

ณ เทศบาลเมืองระยอง จังหวัดระยอง และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นโรงงานที่ใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตน้ำมันใช้เทคโนโลยีของประเทศโปแลนด์ มีอัตราการป้อนขยะพลาสติกประมาณ 6 ตันต่อครั้ง หรือประมาณ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ภายใต้สมมติฐานที่มีการผลิต 25 วันต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นปริมาณขยะพลาสติกที่ต้องการต่อเนื่องคือ 180 ตันต่อเดือน หรือ 2,160 ตันต่อปี โดยเมื่อคำนวณจากปริมาณน้ำมันดิบที่สามารถปริมาณน้ำมันดิบที่ผลิตได้ประมาณ 60% ของน้ำหนักขยะพลาสติก อาจกล่าวโดยสรุปว่า เมื่อมีการเดินเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกที่ต้องป้อนขยะพลาสติกประมาณ 6 ตันต่อวัน จะสามารถให้น้ำมันได้ถึง 1,620 ล้านลิตรต่อปี

นอกจากนี้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้จัดสรรเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จำนวน 105 ล้านบาท ให้กับองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นที่ผ่านการประเมินศักยภาพและความเหมาะสมด้านเทคโนโลยีและการลงทุน ในการแปรรูปขยะพลาสติกในหลุมฝังกลบให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยองค์การบริหารท้องถิ่นทั้ง 3 แห่งที่ได้รับการสนับสนุน ได้แก่ เทศบาลเมืองวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก และเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยได้ร่วมวิจัยและพิสูจน์ทราบศักยภาพและความสามารถของเทคโนโลยีไพโรไลซิสในการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400–800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ไร้ออกซิเจน จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน น้ำมันเหลว และกากของแข็งในรูปของถ่านชาร์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จะแปรผันกับสภาวะที่ใช้ดำเนินปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน โดยพบว่าการให้อัตราความร้อนอย่างรวดเร็วแก่ขยะพลาสติกในเตาไพโรไลซิสจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา (C_1-C_4) จำนวนมาก ซึ่งแก๊สเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนแก่ระบบไพโรไลซิสได้ [10] นอกจากนี้ยังเป็นการไล่ความชื้นออกจากขยะพลาสติกช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการแตกตัวขององค์ประกอบที่ระเหย (volatile) ได้ดีขึ้น แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่สามารถกลั่นตัวที่หอควบแน่นและผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจะได้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งหากนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกลั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพดี เช่น น้ำมันเบนซิน (gasoline) น้ำมันดีเซลรอบสูง (premium diesel)

กรณีศึกษาการบริหารจัดการขยะเป็นแหล่งพลังงานของเทศบาลเมืองวารินชำราบ

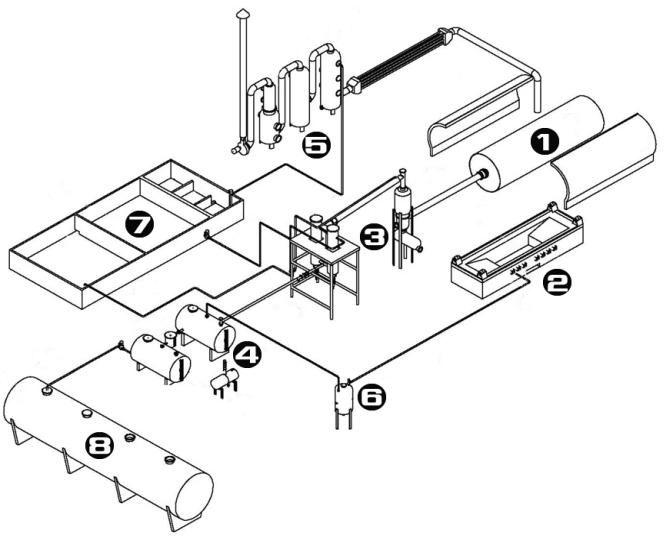
กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้ให้การสนับสนุนงบประมาณจัดทำโครงการแปรรูปขยะเป็นน้ำมันแก่เทศบาลเมืองวารินชำราบ ข้อมูลพื้นฐานของการบริหารจัดการขยะของเทศบาลวารินชำราบและ

เทศบาลอื่นในจังหวัดอุบลราชธานีที่ส่งมากำจัดโดยเฉลี่ยประมาณวันละ 134-136 ตัน โดยมีรายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะ [10] พบว่า มีองค์ประกอบที่ไม่เผาไหม้ร้อยละ 25.66 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 74.34 ซึ่งในจำนวนของขยะที่เผาไหม้ได้มีร้อยละของพลาสติกประมาณ 10% หรือมีปริมาณขยะพลาสติกที่ถูกนำมาฝังกลบถึง 10 ตันต่อวัน ในขณะที่สถานฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองวารินชำราบที่บ้านดอนผอุง ตำบลวารินชำราบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เป็นบ่อฝังกลบ บ่อ G พื้นที่ 16.875 ไร่ และบ่อ F พื้นที่ 9.69 ไร่ และบ่อบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง 1 แห่ง รวมพื้นที่ทั้งหมด 238 ไร่ ในบริเวณฝังกลบมีปริมาณขยะสะสมในบ่อ G 125,000 ตัน และบ่อ F 63,000 ตัน เทศบาลวารินชำราบจึงมีแนวคิดที่จะบริหารจัดการขยะด้วยการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและเพื่อคืนพื้นที่นำไปใช้ประโยชน์อื่น โดยขยะอินทรีย์คัดแยกจากแหล่งกำเนิดหรือขยะสดในแต่ละวันจะผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องย่อยขยะอินทรีย์เพื่อนำไปผสมปุ๋ยในโรงงานผสมปุ๋ย และบางส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำจะถูกคัดแยกมาเพื่อให้เกิดการหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพ ส่วนขยะมูลฝอยทั่วไปจะถูกนำมากองรวมไว้ที่ศูนย์จัดการขยะหรือบ่อฝังกลับเพื่อคัดแยกขวดพลาสติกและขยะที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่หรือขยะรีไซเคิลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนขยะพลาสติกทั่วไปจะคัดแยกเพื่อนำไปผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำและเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นแห้งเพื่อลดความชื้นก่อนที่จะนำไปอัดและหลอมเป็นพลาสติกบดย่อย รวมถึงป้อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสขนาดกำลังการผลิต 6 ตันต่อวัน โดยสามารถให้น้ำมันเหลวที่มีคุณภาพใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 4,500 ลิตรต่อวัน

เมื่อป้อนขยะพลาสติกเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแล้วจะมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เพื่อลดการเกิดแก๊ส

ภาพที่ 7 การป้อนขยะพลาสติกเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสกำลังการผลิต 6 ตันต่อวัน

ไม่พึงประสงค์จากปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนของพลาสติกบางประเภท เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride) เมื่อเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนอาจเกิดแก๊สคลอรีน ซึ่งไม่พึงประสงค์ต่อการปลดปล่อยสู่สภาวะแวดล้อม จึงจำเป็นต้องป้อนพลาสติกเข้าไปพร้อมกับการเติมหินปูนเข้าไปเพื่อกำจัดคลอรีน นอกจากนี้จะมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทซิลิก้าอลูมิน่า ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนให้สามารถให้ค่าการเลือกเกิด (selectivity) ไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ต้องการได้



ภาพที่ 8 ผังระบบแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันของโครงการเทศบาลเมืองวารินชำราบ

1. เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส 2. หัวเผา (gas burner) 3. ระบบควบแน่นแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ 4. ถังพักน้ำมัน 5. ระบบบำบัดแก๊สไอเสีย 6. ถังพักแก๊สเชื้อเพลิง (syn gas tank) 7. บ่อน้ำแลกเปลี่ยนความร้อน 8. ถังเก็บน้ำมัน

ภาพที่ 9 ส่วนระบบกำจัดแก๊สเสียด้วยน้ำ

เทคโนโลยีไพโรไลซิสประเภทนี้มีการศึกษาพบว่า ขั้นตอนที่ให้ความร้อนจะมีผลอย่างมากทำให้การแตกตัวของพอลิเมอร์มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก [12, 18] โดยการแตกตัวของพอลิเมอร์จะดำเนินไปจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เหมาะสมเป็นแก๊สที่สามารถควบแน่นและกลั่นตัวมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพดีได้ แต่หากการควบคุมการป้อนความร้อนไม่เหมาะสม เช่น ให้ความร้อนมากเกินไป อาจทำให้การแตกตัวของพอลิเมอร์เกิดปฏิกิริยารวมตัวกัน (Polymerization) เป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ที่อาจกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณค่า หรือเป็นของเหลวที่ข้นเหนียว หรือแตกสลายเป็นโมเลกุลก๊าซไฮโดรคาร์บอนขนาดเบาที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

การให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ของโครงการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน เทศบาลเมืองวารินชำราบได้ใช้หัวเผาชนิดแก๊ส (gas burner) ที่ใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สปิโตรเลียมเหลวให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ในช่วงแรกจนกระทั่งพลาสติกเริ่มแตกตัวและให้แก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเบา (syn gas) ซึ่งจะนำแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบานี้กลับมาป้อนเข้าสู่ระบบการเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงร่วมด้วย จนเมื่อให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสถึงระดับหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ไอของผลผลิตที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องควบแน่นและบำบัดแก๊สเสียด้วยน้ำ (Wet scrabble) โดยหลังจากผ่านระบบควบแน่นแล้วจะได้แก๊สประมาณ 10–15% และน้ำมันประมาณ 75–80% [12, 19] ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหลายจุดเดือด มีองค์ประกอบทั้งที่เป็นแกโซลีน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล ในปริมาณต่างๆ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยา จากการทดลองเดินระบบแปรรูปขยะเป็นน้ำมันของเทศบาลเมืองวารินชำราบ เมื่อแก๊สไฮโดรคาร์บอนนี้จะถูกส่งจากส่วนบนของเตาไปสู่หน่วยให้ความเย็น (condenser) เพื่อทำหน้าที่ควบแน่นไอของแก๊สไฮโดรคาร์บอนให้เป็นน้ำมันเหลวที่มีขนาดของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน C_5–C_{28} ออกมา โดยมีปริมาณของน้ำมันเหลวที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักขยะพลาสติก มีความหนืดหรืออัตราการไหลเทใกล้เคียงกับน้ำมันเตา ค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดิบคุณภาพดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงโดยการเผาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี โดยน้ำมันที่ได้จากการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันนี้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography ใช้วิธีการตาม ASTM D2887 ซึ่งวิเคราะห์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันแปรรูปจากขยะกับน้ำมันดีเซลธรรมดา

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	น้ำมันแปรรูปจากขยะ	น้ำมันดีเซล
Appearance	การสังเกต	ขุ่น	-
ค่าความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) ที่อุณหภูมิ 60 °F, °API	ASTM D 4052-09	47.35	-
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C	ASTM D 4052-09	0.7912	0.81-0.87 (ASTM D 1298)
เถ้า (Ash, % wt)	ASTM D 482-95	0.02	0.01
จุดวาบไฟ (Flash Point, (P.M.), °C)	ASTM D 93-09 (Procedure A)	24.0	52 (ASTM D 93)
น้ำและตะกอน (Water and Sediment, % vol.)	ASTM D 2709-96	0.03	0.05 (ASTM D 2709)
สี (Colour, ASTM)	ASTM D 1500-96	1.5	4.0 (ASTM D 1500)
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Corrosion Copper Strip (3h/50 °C), No.)	ASTM D 130-04$^{\epsilon 1}$	1a	1 (ASTM D 130)
กากคาร์บอน (Micro Method Carbon Residue on 10% Distillation Residue, % wt.)	ASTM D 4530-00	0.08	0.05 (ASTM D 189)
ชนิดสี (Hue)	การสังเกต	เหลือง	เหลือง

ที่มา: ผลการทดสอบคุณภาพน้ำมันแปรรูปจากขยะเทศบาลเมืองวารินชำราบ วิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดสอบองค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือดแสดงให้เห็นว่า คุณภาพของน้ำมันเหลวจะประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหลายจุดเดือดและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามคุณภาพของน้ำมัน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเหลวโดยมีหน่วยปรับปรุงคุณภาพซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการเติมแก๊สไฮโดรเจนหรือกระบวนการไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบวัฏภาคแขวนลอย (slurry reactor) เพื่อเติมไฮโดรเจนให้กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและเกิดการปฏิกิริยาแตกสลายให้ได้โมเลกุลที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยจะต้องนำไปกลั่นด้วยหอกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์ 4 ประเภท คือ แก๊ส น้ำมันเบา (มีคาร์บอน 5-30 อะตอม) น้ำมันหนัก (มีคาร์บอนมากกว่า 30 อะตอมขึ้นไป) และกากก้นหอ

บทสรุป

การบริหารจัดการขยะด้วยการนำมาแปรรูปเป็นแหล่งพลังงานจะมีส่วนช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องการฝังกลบ โดยจะทำให้ขยะมูลฝอยที่จะทำการฝังกลบมีปริมาณอยู่น้อยมาก พร้อมๆ กับการนำขยะที่ฝังกลบแล้วขึ้นมาใช้ประโยชน์โดยนอกจากจะเป็นการบริหารจัดการคืนพื้นที่หลุมฝังกลบขยะ (zero landfill) เพื่อคืนพื้นที่งานด้านอื่นๆ อาทิ สวนสาธารณะ หรือลานสาธารณะประโยชน์ หรือปรับปรุงหลุมฝังกลบให้ถูกสุขลักษณะเพื่อการฝังกลบขยะอย่างถูกสุขอนามัยได้ ผลพลอยได้ที่เป็นมูลค่าก็คือ ได้แหล่งพลังงานทดแทนไปพร้อมกันด้วย

กระบวนการแปรรูปขยะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นวิธีที่หลายประเทศก็ทำอยู่แล้ว ซึ่งบางประเทศก็ให้ความสำคัญและบางประเทศก็มองข้ามไป เนื่องจากให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่าการลงทุน แต่บางเทคโนโลยีก็สามารถผลิตน้ำมันจากพลาสติกเป็นน้ำมันเบนซินได้ถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยรัฐบาลได้ให้ความช่วยเหลือบริษัทเอกชนในการลงทุน ในขณะที่ประเทศไทยได้เริ่มมีความสนใจเทคโนโลยีไพโรไลซิสพลาสติกให้เป็นน้ำมันโดยมีการก่อสร้างโครงการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันทั้งของเอกชนร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้ขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากรัฐบาล แม้ว่ากระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันจะมีเทคโนโลยีที่พิสูจน์ทราบแล้วว่า สามารถแปรรูปเป็นน้ำมันและสามารถปรับปรุงคุณภาพให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องเทคโนโลยีที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน จึงนับเป็นจุดเริ่มที่ดีที่ได้มีความพยายามค้นคว้าพลังงานทดแทนควบคู่ไปกับการบริหารจัดการขยะฝังกลบซึ่งในที่สุดจะสามารถคืนพื้นที่หลุมฝังกลบเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สาธารณะอื่นต่อไปได้ นอกจากนี้สิ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือ มลพิษที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตทั้งกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานภายในโรงงานแปรรูปที่ควรต้องมีจิตสำนึกที่จะต้องระมัดระวังการรั่วไหลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ ซึ่งอาจให้ผลร้ายแก่ร่างกายและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว จึงต้องให้ความตระหนักและไม่ละเลยถึง “การพัฒนาพลังงานใหม่ ภายใต้การบริหารอย่างยั่งยืน” เพื่อให้ทุกภาคส่วนได้เห็นความสำคัญของวิกฤตพลังงานที่ต้องร่วมกันแก้ไข พร้อมกับการบริหารจัดการอย่างเหมาะสมไม่ให้เป็นภัยร้ายย้อนกลับมาสู่ผู้คนและสังคมเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

บทความทางวิชาการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่องศักยภาพและความเหมาะสมของการการแปรรูปขยะพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทย ด้วยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 ส่วนเพิ่มเติมสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และขอขอบคุณคุณจตุพร เจ้าทรัพย์ ที่ช่วยเหลือในการตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารและรูปแบบการพิมพ์

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *การสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศ*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: กรมฯ.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2552*. กรุงเทพฯ: สตูดิโอ จี บาร์.

[3] สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2549). ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ ก๊าซซิฟิเคชันสำหรับผลิตพลังงานจากชีวมวลและขยะมูลฝอย. ใน *หนังสือรวบรวมบทความการประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 1 ว่าด้วย ระบบกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลและขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน : ทางเลือกพลังงานทดแทน*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

[4] สถาบันวิจัยพลังงาน. (2552). ความก้าวหน้าโครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน. ใน *รายงานการวิจัยโครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยฯ

[5] Gary J.H.; & Handwerk G.H. (1984). *Catalytic Hydrocracking and Hydroprocessing*. New York: Marcel Dekker.

[6] Angyal, A.; Miskolczi, N.; & Bartha, L. (2007). Petrochemical feedstock by thermal cracking of plastic waste. *Journal of Analytical and Apply Pyrolysis*. 79: 409-414.

[7] Satterfield, C.N. (1991). *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*. 2nd ed. USA.: McGraw-Hill.

[8] Charusiri, W.; & Vitidsant, T. (2005). Kinetic Study of Used Vegetable Oil to Liquid Fuels over Sulfated Zirconia**.** *Energy & Fuels*. 19(5): 1783-1789.

[9] Raseev, S. (2003). Thermal and Catalytic cracking Processes in Petroleum Refining. New York: Marcel Dekker.

[10] สถาบันวิจัยพลังงาน. (2551). ความก้าวหน้าโครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน. ใน *รายงานการวิจัยโครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะเป็นน้ำมัน*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยฯ

[11] Walendziewski, J.; & Steininger, M. (2001). Thermal and catalytic conversion of waste polyolefins. *Catalysis*. 65: 323-330.

[12] วิชชากร จารุศิริ. (2550). การเปลี่ยนน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้ว ให้เป็นแกโซลีน. ใน *รายงานการวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช*. ม.ป.พ.

[13] ศิริรัตน์ จิตการค้า. (2551). *จากขยะสู่น้ำมัน เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแลสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[14] กระทรวงพลังงาน, สำนักงานปลัดกระทรวง. (2549). *ทิศทางพลังงานไทย.* กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.

[15] Tukker, A.; et al. (1999). *Chemical Recycling of Plastics Waste (PVC and other resins).* Retrieved September 30, 2011, from http:// ec.europa.eu/environment/waste/studies/pvc/chem_recycle.pdf

[16] Scheirs, W. (2006). Overview of Commercial Pyrolysis Processes for Waste Plastics *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Plastics into Diesel and other Fuels*. Edited by Scheirs, J.; & Kaminsky. UK: John Wiley & Sons.

[17] กองบรรณาธิการมติชน-ประชาชาติธุรกิจ. (2550). *10 มหัศจรรย์พลังงานทดแทน กู้วิกฤตโลกร้อน.* กรุงเทพฯ: มติชน.

[18] Kamminsky, W. (2006). The Hamburg Fluidization-Bed Pyrolysis Process to Recycle Polymer Wastes and Tires. In *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Plastics into Diesel and other Fuels.* Edited by Scheirs, J.; & Kaminsky. UK: John Wiley & Sons.

[19] ธราพงษ์ วิทิตศานต์. (2544). การแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน. ใน *รายงานการวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช.* ม.ป.พ.