บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของพลาสติก

พลาสติก คือ สารสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มนุษย์คิดขึ้นมา ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคลอรีน สมาคมวิศวกรพลาสติก (Society of Plastics Engineers; SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (Society of the Plastics Industry; SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ ดังนี้

" พลาสติก คือ วัตถุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง " (http://elecnet.212cafe.com, 2010)

2.2 ประเภทของพลาสติก

การจำแนกประเภทของพลาสติกตามลักษณะและสมบัติของพอลิเมอร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ (http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK28/chapter8/t28-8-l2.htm#sect2, 2010)

-เทอร์โมพลาสติก วัสดุประเภทนี้ส่วนใหญ่มักได้จากปฏิกิริยาแอดดิชันพอลิเมอไรเซชัน พลาสติกในกลุ่มนี้จะอ่อนนิ่มจนไหลได้เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ และเมื่อเย็นลงจะกลับแข็งคงรูปเช่นเดิม จะเป็นเช่นนี้เสมอ ไม่ว่าจะทำกี่ครั้งก็ตาม ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน เป็นต้น

-เทอร์โมเซ็ตพลาสติก เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันพอลิเมอไรเซชัน พลาสติกประเภทนี้จะอ่อนนิ่มจนไหลได้เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอในครั้งแรก และเมื่อเย็นลงจะกลับแข็งคงรูป แต่จะทำได้เพียงครั้งเดียว ไม่สามารถทำได้หลายครั้งเหมือนกับวัสดุเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างของพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ เบกกาไลต์ เมลามีน ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ซิลิโคน

2.3 เทคโนโลยีการรีไซเคิลพลาสติก

การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary Recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Tertiary Recycling) และการรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary Recycling) (http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/plastic_recycle.html, 2010)

1. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ

เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

2. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ

2.1) การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical Recycling)

2.2) การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical Modification)

2.3) การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (Coextrusion and Coinjection Moulding)

3. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบตติยภูมิแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

3.1) การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical Recycling)

3.2) การรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis)

โครงสร้างของพลาสติกสามารถเกิดการแตกหรือขาดได้โดยใช้ความร้อน เรียกว่า Thermolysis แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และ การเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

4. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ

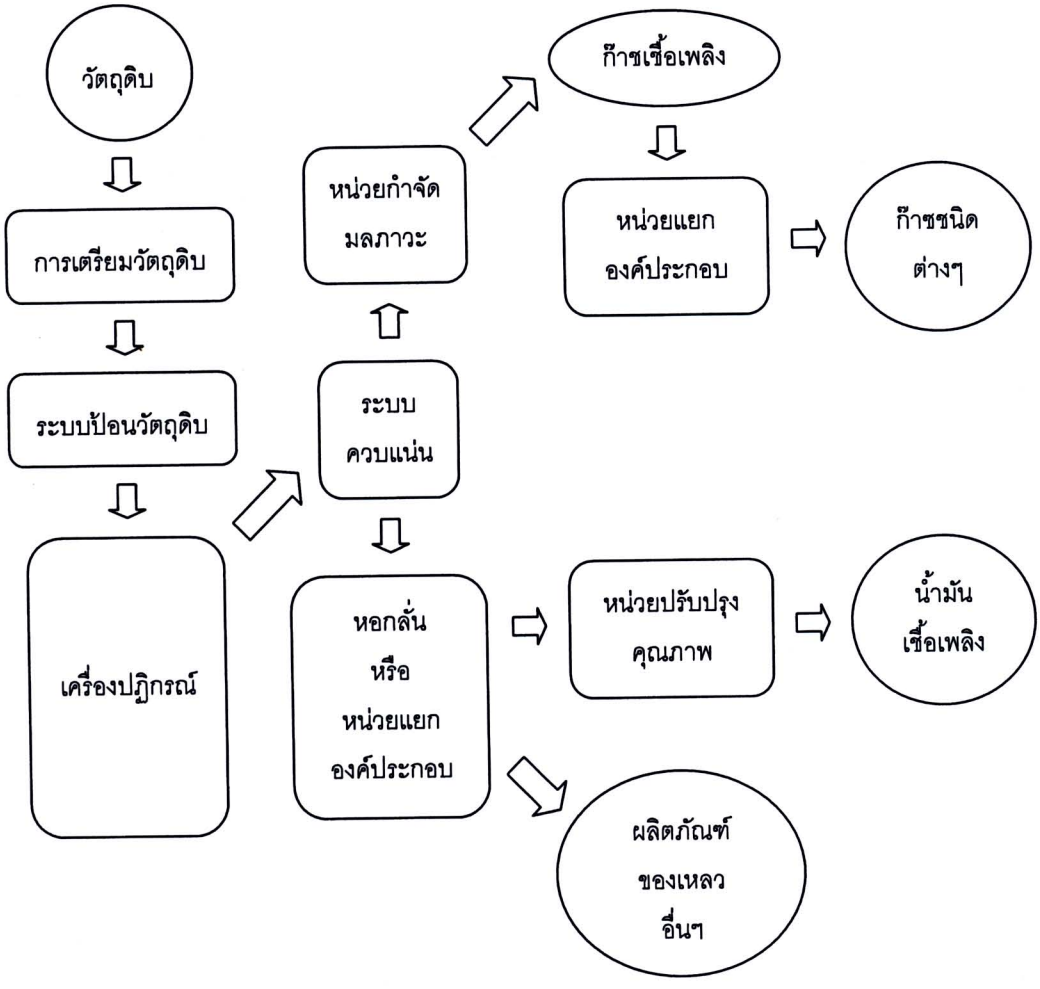
พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 MJ/kg) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ

จากที่กล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยีการรีไซเคิลพลาสติกมีด้วยกันหลากหลายวิธี แต่สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการรีไซเคิลพลาสติกด้วยการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงานโดยใช้วิธีการที่เรียกว่า ไพโรไลซิส ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.4 องค์ประกอบทั่วไปของเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน

โดยทั่วไปแล้ว ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากกระบวนการพีจีแอล (PGL; Pyrolysis, Gasification & Liquefaction) หรือกระบวนการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงานในรูปแบบใดก็ตาม เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนั้นมักมีองค์ประกอบเชิงโครงสร้างโดยทั่วไปดังที่แสดงในภาพที่ 2.1

องค์ประกอบหลักของเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะเป็นพลังงานก็คือ ชุดเครื่องปฏิกรณ์หลัก หน่วยกำจัดมลภาวะ หอกลั่น หน่วยแยกองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ และหน่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบหลักในที่นี้หมายถึง องค์ประกอบที่จำเป็นต้องมีเพื่อทำให้กระบวนการครบถ้วนตามหลักการของกระบวนการเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ส่วนองค์ประกอบเสริมก็คือ การเตรียมวัตถุดิบ ระบบป้อนวัตถุดิบ ระบบควบแน่น และอาจจะรวมถึงระบบควบคุมและระบบความปลอดภัยนั้น หมายถึง องค์ประกอบที่ช่วยให้องค์ประกอบหลักทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง รวดเร็ว และปลอดภัย ทั้งนี้ เทคโนโลยีหนึ่ง ๆ อาจมีไม่ครบทุกองค์ประกอบที่กล่าวในข้างต้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่า (1) เป็นเทคโนโลยีจากหลักการของกระบวนการใด (2) เป็นเทคโนโลยีในระดับใด (3) วัตถุดิบคือวัตถุดิบประเภทใด และ (4) ต้องการผลิตอะไรเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนั้น ปฏิกรณ์ที่ใช้สามารถจำแนกได้อยู่ในกลุ่มของหน่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2.1
องค์ประกอบเชิงโครงสร้างโดยทั่วไปของเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน
ที่มา : ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551

จากแผนผังองค์ประกอบของเทคโนโลยีดังกล่าว กระบวนการผลิตจะเริ่มจาก**การเตรียมวัตถุดิบ** ซึ่งแน่นอนว่าจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ป้อนเข้า และต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีลักษณะตามข้อกำหนดของเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ รวมถึงตามชนิดของปฏิกรณ์หลักด้วย จากนั้นก็ป้อนวัตถุดิบเข้าไปใน***ปฏิกรณ์หลัก*** โดยใช้**ระบบป้อนวัตถุดิบ** หรือใช้แรงงาน ซึ่งวัตถุดิบจะถูกให้ความร้อนในปฏิกรณ์ ในสภาวะที่ต้องการตามประเภทของเทคโนโลยี โดยอาจจะมีการเติมก๊าซหรือวัตถุดิบร่วมอื่น ๆ ลงไปในปฏิกรณ์ ตามความต้องการของแต่ละเทคโนโลยี

จนกระทั่งได้ผลผลิตออกจากปฏิกรณ์ โดยทั่วไป ผลผลิตดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ และเมื่ออยู่ในปฏิกรณ์ มักจะอยู่รวมกันเป็นวัฏภาคเดียว แต่มักจะควบแน่นเป็นอย่างน้อย 2 วัฏภาคคือ ก๊าซและของเหลว เมื่อออกมากระทบกับสภาวะปกติภายนอกปฏิกรณ์ หรือกลายเป็น 3 วัฏภาค โดยรวมเอาของแข็งที่อาจจะเกิดจากการควบแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มาก ๆ เข้าไว้ด้วย ดังนั้น เมื่อผลผลิตดังกล่าวออกมาจากปฏิกรณ์ **ระบบควบแน่น**จึงมีความจำเป็นในการช่วยแยกองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามวัฏภาค เพื่อสะดวกในการนำเอาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไปใช้ หรือนำไปผ่านกระบวนการต่อไป

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นมักจะประกอบไปด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1-8 ตัวเป็นองค์ประกอบ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน ไอน้ำ และก๊าซอื่น ๆ ที่เกิดจากสารเติมแต่งในวัตถุดิบ อาจเรียกได้ว่าผลิตภัณฑ์ก๊าซนี้ มีลักษณะคล้ายกับก๊าซธรรมชาติ แต่มีปริมาณขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ปริมาณองค์ประกอบก็จะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุดิบที่ใช้ และสภาวะที่ใช้ในปฏิกรณ์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ก๊าซนี้มักจะมีองค์ประกอบที่เป็นก๊าซอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมผสมอยู่ด้วย ซึ่งมักเกิดมาจากสารที่เป็นพิษที่เกิดจากสารเติมแต่งที่เติมลงไปในวัตถุดิบก่อนการเป็นขยะ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมี**หน่วยกำจัดมลภาวะ**ออกจากก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือก่อนการนำไปแยกเอาองค์ประกอบเฉพาะออกไป

ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวซึ่งในงานวิจัยนี้เรียกว่า "น้ำมัน" นั้น มักจะประกอบไปด้วย สารประกอบของเหลวไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 5 ตัวเป็นต้นไปเป็นองค์ประกอบ รวมถึงสารประกอบชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สารประกอบของน้ำมัน เช่น สารประกอบอัลดีไฮด์ เอสเทอร์ อีเทอร์ กรดชนิดต่าง ๆ เป็นต้นได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ และ/หรือ กระบวนการและสภาวะที่ใช้ ดังนั้น ถ้าต้องการน้ำมันไปใช้ก็ควรจะต้องมีการกลั่นน้ำมันที่ได้ดังกล่าว โดยใช้**หอกลั่น**ชนิดต่าง ๆ โดยหลักการอาจจะใช้การกลั่นอย่างง่าย เพื่อแยกน้ำมันเป็นน้ำมันหนักและน้ำมันเบา เพื่อนำไปใช้ในงานเฉพาะอย่าง หรือเพื่อนำไปเป็นน้ำมันที่ใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐาน หรือใช้หลักการการกลั่นลำดับส่วนแบบที่ใช้ในโรงกลั่นน้ำมันมาตรฐาน เพื่อแยกน้ำมันออกเป็นน้ำมันชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา เป็นต้น หลังจากนั้นเมื่อจะนำน้ำมันที่กลั่นได้มาใช้ จึงจำเป็นที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยผ่าน**หน่วยปรับปรุงคุณภาพ**น้ำมันให้ได้ตามมาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์ก่อน จึงจะนำมาใช้ในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรอื่น ๆ ได้

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่กล่าวข้างต้นนั้น อาจเป็นสารปิโตรเคมีที่มีคุณค่าเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้ ยกตัวอย่างเช่น อาจจะประกอบไปด้วย สารประกอบอะโรมาติกส์ที่มีคุณค่าในการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อาจมีสารมอนอเมอร์ที่มีคุณค่าในการผลิตสารพอลิเมอร์หรือพลาสติกชนิดต่าง ๆ หรืออาจมีสารประกอบอื่น ๆ ที่มีคุณค่าในอุตสาหกรรมประเภทอื่น เป็นต้น ดังนั้น จึงอาจมีการนำน้ำมันไปแยกเอาองค์ประกอบที่สำคัญดังกล่าวออกไปก่อนโดยผ่าน**หน่วยแยกองค์ประกอบ** เพื่อให้ได้สารปิโตรเคมีและสารที่มีประโยชน์ดังกล่าวในปริมาณที่สูงและความบริสุทธิ์สูง ก่อนการนำเอาน้ำมันไปใช้งานต่อไป

2.5 คำนิยามของไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการแตกตัวหรือสลายตัวของสารประกอบหรือวัสดุต่าง ๆ ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400–800 °C ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนในปริมาณน้อยมาก โดยทั่วไปผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามสภาวะ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ของเหลว (ซึ่งโดยทั่วไปมีคุณลักษณะคล้ายน้ำมัน) และของแข็ง (Char) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ (Primary Products) อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ อัตราเร็วในการให้ความร้อน เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุด คือ ของเหลวหรือน้ำมัน ส่วนก๊าซที่ได้นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการ

ความร้อนที่ให้แก่กระบวนการไพโรไลซิส เป็นความร้อนทางอ้อมที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์แล้วถ่ายเทไปให้กับวัตถุดิบที่อยู่ข้างใน ด้วยอุณหภูมิโดยทั่วไปของกระบวนการไพโรไลซิส คือ ประมาณ 400–800 °C นั้น จะส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 วัฏภาคคือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ที่เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ เมื่อนำเอาผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น การนำเอาน้ำมันที่เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงเพื่อผลิตคาร์บอนแบล็ก คาร์บอนแบล็กนั้นก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิ

ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย **ขั้นแรก** การสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) **ขั้นที่สอง** เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถแตกตัวได้ที่สภาวะที่ใช้ ก็จะแตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ให้หรืออุณหภูมิที่กำหนด จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตถุดิบ โดยอุณหภูมิในแต่ละขั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการให้ความ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ร้อนและเวลามากเกินไป สารที่ได้จากการแตกตัวของวัตถุดิบจะกลับมารวมตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าออกจากกระบวนการ หรือเป็นของแข็งข้นเหนียวติดอยู่ตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ ดังนั้น สภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิสจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ด้วย การมีความรู้อย่างดีเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ป้อนเข้าในกระบวนการ จะทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณที่สูง และไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่ไม่ต้องการ หรือก่อให้เกิดผลผลิตที่ทำให้ต้องหยุดการผลิตชั่วคราวเพื่อทำการซ่อมแซมอุปกรณ์

ในบางครั้ง อาจมีการเติมไฮโดรเจนหรือไอน้ำเข้าไปในกระบวนการไพโรไลซิสด้วย ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์และบางครั้งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันมีความเสถียรมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนจะเข้าไปรบกวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนที่มีอยู่ในเนื้อของวัตถุดิบ การเติมน้ำในปริมาณไม่มากเกินไป เข้าไปเป็นตัวกลางในกระบวนการไพโรไลซิส จะทำให้ไปเพิ่มความดันให้กับกระบวนการ ทำให้วัตถุดิบเกิดเป็นของไหลได้ง่าย และทำให้ถ่านที่ได้จากกระบวนการมีค่าพื้นที่ผิวสูงขึ้น (ในกรณีที่ต้องการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ หรือถ่านดูดซับ) เป็นต้น

2.6 ตัวแปรที่มีผลกระทบถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้

สำหรับการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน ตัวแปรที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

ประเภทของกระบวนการ กระบวนการพีจีแอลที่เปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน โดยธรรมชาติแล้วก็จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้โดยทั่วไปว่า กระบวนการไพโรไลซิสและลิควิแฟกชันนั้นมักจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากกว่าก๊าซ แต่ในทางตรงข้ามกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมักจะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตก๊าซมากกว่าของเหลว

สภาวะที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วในการให้ความร้อน อุณหภูมิสุดท้าย เวลาที่กำหนดให้วัตถุดิบอยู่ในปฏิกรณ์ บรรยากาศในปฏิกรณ์ และระบบการป้อน เป็นต้น ตัวแปรใด ๆ ก็ตามที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณหรือการกระจายตัว ตัวแปรนั้นจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

ชนิดของปฏิกรณ์ การออกแบบปฏิกรณ์ให้มีรูปทรงต่างกัน องค์ประกอบต่างกันก็มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ กระบวนการผลิตเดียวกันแต่ใช้ประเภทของปฏิกรณ์ต่างกัน ก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนไปได้ เนื่องจากการออกแบบปฏิกรณ์นั้น มีผลต่ออัตราเร็วในการให้ความ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 7 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 249214

ร้อน ทิศทางการไหลของสิ่งที่อยู่ในปฏิกรณ์ และเวลาที่วัตถุดิบและผลผลิตใช้อยู่ในปฏิกรณ์ (ซึ่งเป็นเวลาที่ให้ในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ)

วัตถุดิบที่ป้อนเข้า เช่น ขนาดของวัตถุดิบ ชนิดและส่วนผสมของวัตถุดิบซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภท แหล่งที่มา และอายุของวัตถุดิบนั้น เป็นต้น

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ ดินขาว (Kaolin, China clay) ซึ่งหมายถึง ดินที่มีสีขาวหรือสีขีดจาง ทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผาและเผาแล้ว สูตรดินขาว คือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ โดยมีส่วนประกอบ 39.5 % 46.5 % 14.0% ตามลำดับ ดินขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินกลุ่ม Kaolinite และมีความสัมพันธ์กับมัสโคไวท์ ไมกา อิลไลท์ คอซต์ และอาจมีมอนต์มอริลโลไนท์

ดินขาวมีอยู่หลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (Residual Clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ (Kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่น ๆ แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบ ได้แก่ (http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u21-2.htm, 2010)

1.แหล่งต้นกำเนิด (Residual Deposits) ดินขาวแหล่งนี้ มักพบในลักษณะเป็นภูเขาหรือที่ราบ ซึ่งเดิมทีเป็นแหล่งแร่หินฟันม้า เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (Weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (Kaolinization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้

$$KAlSi_3O_8 + H_2O \text{----} > HAlSi_3O_8 + KOH$$

ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (Hydrolysis)

$$HAlSi_3O_8 \text{-----} > HAlSiO_4 + 2SiO_2$$

ปฏิกิริยาการสลายตัวให้ซิลิกา (Desilication)

$$2HAlSiO_4 + H_2O \text{-----} > (OH)_4Al_2Si_2O_5$$

ปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำ (Hydration)

$KAlSi_3O_8$ = หินฟันม้าชนิดโปแตช (Potash Feldspar)

$(OH)_4Al_2Si_2O_5$ = ดินขาว (Kaolin)

สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินแหล่งนี้ คือ ซิลิกา (Silica) มีสูตรเคมีเป็น SiO_2 นอกจากนี้ก็มีหินฟันม้า และ ผลิตผลอื่น ๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ และอาจมีสิ่งสกปรกที่อื่นที่เข้าไปปน

2. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary Deposit) หมายถึง แหล่งดินขาว ที่เกิดจากดินขาว จากแหล่งแรก ถูกกระแสน้ำพัดพาไป และไปสะสมที่บริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัด มีจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

2.8 น้ำมันที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน

น้ำมันที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน ประกอบด้วยสารผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (สารประกอบที่มีเฉพาะธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ) ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 6 ตัว จนถึง 50 ตัวโดยประมาณ น้ำมันนี้โดยทั่วไปมักมีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำมันดิบจากพื้นพิภพ คือ มีน้ำมันในช่วงของน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด ดีเซล และอื่น ๆ ปนรวมกันอยู่ แต่โดยทั่วไปถ้าควบคุมกระบวนการอย่างดี น้ำมันที่ได้มักจะไม่มีส่วนหนัก ๆ เช่น ยางมะตอยผสมอยู่เหมือนน้ำมันดิบ น้ำมันที่ได้นี้จะมีสัดส่วนของน้ำมันสำเร็จรูปแต่ละชนิดมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบ และกระบวนการนั่นเอง ถ้าต้องการน้ำมันสำเร็จรูปแต่ละชนิดมาใช้ ต้องนำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไปกลั่นลำดับส่วน แต่ถ้าไม่ต้องการลงทุนสูงก็สามารถใช้วิธีกลั่นอย่างง่าย เพื่อแยกเอาน้ำมันเบาออกจากน้ำมันหนัก น้ำมันเบาที่ได้สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตา หรือนำไปผสมกับน้ำมันสำเร็จรูปบางชนิด (เพื่อลดการใช้น้ำมันจากพื้นพิภพ) ตามความเหมาะสมของน้ำมันที่ผลิตได้ต่อไป

2.9 ปัญหาด้านคุณภาพของน้ำมันที่ได้

น้ำมันที่ได้จากกระบวนการพีจีแอลนั้น เกิดจากกระบวนการแตกตัวของขยะ ซึ่งเกิดจากการตัดสายโซ่ของโมเลกุลของวัสดุและสารที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบ อีกทั้งยังอาจจะมี

องค์ประกอบบางอย่างหรือสารปนเปื้อนบางอย่างที่ส่งผลถึงคุณลักษณะและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ปัญหาในเชิงคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการพีจีแอล มีดังนี้ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

• การไม่อิ่มตัวของน้ำมัน

น้ำมันที่ได้จากกระบวนการพีจีแอลนั้น มักจะประกอบไปด้วยส่วนของโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะสารแอลฟา-โอเลฟินส์ เนื่องจากเกิดจากการแตกตัวด้วยความร้อน (ลักษณะเช่นเดียวกับการแตกตัวของน้ำมันปิโตรเลียมในโรงกลั่นในหน่วยแตกตัวด้วยความร้อน) ถ้าสารที่ไม่อิ่มตัวนี้อยู่ในช่วงของน้ำมันดีเซล จะทำให้น้ำมันดีเซลที่กลั่นได้ไม่มีความเสถียร เนื่องจากเกิดการรวมตัวของสารดังกล่าวแบบพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นยางเหนียวในเครื่องยนต์ได้

• ปัญหาค่าความร้อนต่ำหรือปัญหาการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ

ขยะที่ใช้เป็นวัตถุดิบบางชนิด เช่น พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (ขวดขุ่น) หรือพอลิโพรพิลีนในบางครั้ง อาจจะให้น้ำมันที่มีไขเป็นองค์ประกอบ ไขหรือแว็กซ์ (Wax) นั้นเป็นสารประเภทพาราฟินส์ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ตรง (n-Alkanes) และไม่มีกิ่งก้าน ถ้ามีความยาวไม่มากนักจะละลายหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำมันที่ได้ แต่จะแข็งตัวเมื่อนำน้ำมันนั้นไปแช่เย็น แต่ถ้ามีความยาวเพียงพอ สายโซ่โมเลกุลจะรวมตัวกันตามแนวยาวของสายโซ่ เกิดการตกผลึกลงมาเป็นไขแข็งอยู่ด้านล่างของน้ำมันที่ได้ ปัญหาค่าความร้อนต่ำของน้ำมันนั้นเกิดขึ้นมาจากไขนี่เอง เนื่องจากไขนั้นมีค่าความร้อนต่ำ

• ความไม่เสถียรหลังการผลิต

น้ำมันดีเซลที่กลั่นได้จากน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกนั้น ในบางครั้งมักจะไม่เสถียร โดยเกิดการตกตะกอนในเวลาอันรวดเร็วหลังการผลิต เนื่องจากเกิดการรวมตัวของโมเลกุล (Repolymerization) และการออกซิเดชันโดยอากาศ เกิดเป็นตะกอนตกลงมา หรือเกิดยางเหนียว (Gums) ที่เป็นผลมาจากการรวมตัวของสารประกอบที่ไม่อิ่มตัว (เช่น สารประกอบโอเลฟินส์ที่ว่องไว) นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันมีสีที่เข้มขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นสีดำ และมีกลิ่นเหม็นรุนแรง

• ความไม่เสถียรหลังการเก็บไว้นาน

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่า การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันโดยอากาศ และการรวมตัวของน้ำมันนั้น จะทำให้เกิดตะกอนและน้ำมันมีสีที่เข้มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง เกิดเขม่าควันและการอุดตัน

• การปนเปื้อนของผงคาร์บอน

การปนเปื้อนของผงคาร์บอนหรือฝุ่นผงจากตัวเร่งในน้ำมันสามารถเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง และมักจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย

• **การปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารประกอบของธาตุบางชนิด**

เนื่องจากขยะที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบนั้น อาจจะประกอบไปด้วยโลหะหนักหรือธาตุชนิดต่าง ๆ หรืออาจจะปนเปื้อนกับสิ่งอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในขยะ เมื่อนำเอาขยะนั้นมาผ่านกระบวนการพีจีแอล โลหะหนักหรือธาตุนั้นก็ไปปนเปื้อนอยู่กับน้ำมันที่ได้ ซึ่งอาจจะส่งผล ตัวอย่างเช่น สารประกอบของไนโตรเจน ที่อาจจะเกิดจากการที่ขยะวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการนั้น ปนเปื้อนไปด้วยขยะอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนจากสัตว์ เป็นต้น น้ำมันที่ได้อาจประกอบไปด้วยสารประกอบของไนโตรเจน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบไนโตรเจนที่มีฤทธิ์เป็นด่าง และสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นกลาง ถ้าเป็นไนโตรเจนที่เป็นด่างมักจะทำให้น้ำมันในช่วงของเบนซินและน้ำมันก๊าดเปลี่ยนสีคล้ำลง โดยเฉพาะยิ่งมีฟีนอลปนอยู่ด้วย และถ้ามีอยู่ในช่วงของน้ำมันเครื่องอาจจะทำให้เกิดยางเหนียวระหว่างใช้

2.10 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน

2.10.1 ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (Halogenation)

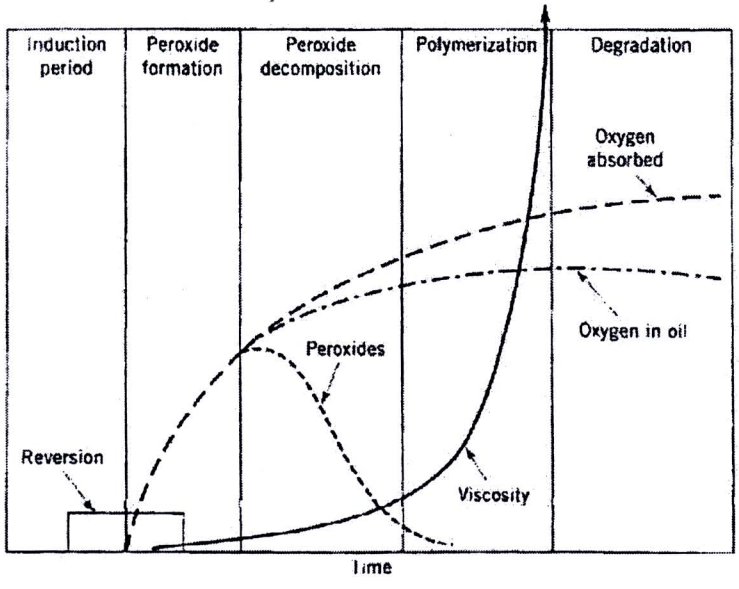
ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (Halogenation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอนถูกเติมด้วยสารพวกฮาโลเจน (ธาตุหมู่ VIIA) ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของสารที่ไม่อิ่มตัวในน้ำมันคือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า Iodine Number หรือ Iodine Value (I.N. หรือ I.V.) ซึ่ง Iodine Number คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม ค่าI.N.เป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีสารไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าI.N.สูงแสดงว่ามีปริมาณสารไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการออกซิเดชันได้ง่ายด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

การหาค่า I.N. มี 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กล่าวคือ ใช้ Wijs solution ซึ่งเป็นสารละลายไอโอดีนในกรดอะซิติคและมีไอโอดีนโมโนคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนอีกวิธีหนึ่งใช้ Hanus reagent เป็นสารละลายไอโอดีนในกรดอะซิติคและมีไอโอดีนโมโนโบรไมด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาต้องเติมสารละลายไอโอดีนให้มากเกินพอ ปริมาณไอโอดีนที่เหลือหาได้โดยการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐาน โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

2.10.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันเป็นการเสื่อมสภาพของน้ำมันในสภาวะที่มีออกซิเจน เมื่อไขมันหรือน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ตำแหน่งพันธะคู่

ในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดพันธะเปอร์ออกไซด์ โดยค่าที่ได้เรียกว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; P.V.) ซึ่งหมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรตไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน (Peroxide oxygen) ที่มีในไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)



ภาพที่ 2.2
ขั้นตอนการเสื่อมสภาพของน้ำมันผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน
ที่มา : Perkins, 1967

ในช่วงแรกที่เริ่มเกิดสารเปอร์ออกไซด์ขึ้นนี้ เรียกว่า ขั้นเหนี่ยวนำ (Induction phase) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดด้วยอัตราที่ค่อนข้างช้า และไม่มีความสม่ำเสมอ ช่วงต่อมาคือ ช่วง Peroxide formation ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นสารประกอบจำพวกเปอร์-ออกไซด์ด้วยอัตราที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด หลังจากจุดนี้ปฏิกิริยาจะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ซึ่งเป็นขั้นที่เกิดการสลายตัวของสารจำพวกเปอร์ออกไซด์ กลายเป็นสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์ (Polymerization) หรือสารประกอบที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นลง เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ และอีเทอร์ เป็นต้น ซึ่งหลังจากนี้ปฏิกิริยาจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดออกซิเดชัน คือ เกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) หากการเสื่อมสภาพอยู่ในสภาวะที่เหมาะเป็นสารประกอบพอลิ-

เมอร์ จะสังเกตได้จากค่าความหนืดของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Bailey, 1951; Knothe, 2007) ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น สามารถเกิดขึ้นได้จากการมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเช่นกัน (http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit702.html, 2010)

2.10.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานในการไหล

ความหนืดสามารถได้จากการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานของน้ำมัน ความหนืดที่หาได้ในที่นี้เรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หรือความหนืดเชิงพลศาสตร์ (dynamic viscosity) หน่วยความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่นิยมใช้กันคือ หน่วยเป็น Poise (P) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ CGS (Centimetre Gram Second) โดย

$$1 \text{ poise} = 1 \text{ dyne}\cdot\text{s} / \text{cm}^2 = 1 \text{ g} / \text{cm}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ centipoise (cP)} = 1 \times 10^{-2} \text{ poise (P)}$$

โดยทั่วไปเครื่องมือวัดความหนืดจะไม่สามารถวัดค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าความหนืดในอีกรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (kinematic viscoscity) โดยให้ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ เท่ากับ ความหนืดเชิงพลศาสตร์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำมันหรือของไหลนั้น ๆ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้คือ

ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ / ความหนาแน่น

หน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่นิยมใช้กันก็คือหน่วย Stoke (St) ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบ CGS เช่นเดียวกัน โดย

$$1 \text{ stoke (St)} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 \times 10^2 \text{ stoke (St)}$$

นอกจากหน่วยของความหนืดที่ใช้กันข้างต้นแล้วยังมีการวัดความหนืดในหน่วยอื่นอีกได้แก่ Saybolt Universal Seconds (SUS), Saybol furlo Seconds (SFS), Redwood Seconds และ Engler Degree ซึ่งความหนืดในหน่วยเหล่านี้กำหนดขึ้นตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (Viscometer) และสภาวะการทดสอบ (อุณหภูมิของการทดสอบ) แต่อย่างไรก็

ตามค่าความหนืดในหน่วยต่าง ๆ ข้างต้นก็สามารถที่จะแปลงเป็นค่าในหน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ได้

ค่าความหนืดของน้ำมันจะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแปรผันกับอุณหภูมิและความดันในการใช้งาน ในด้านของอุณหภูมิ ความหนืดของน้ำมันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของเหลวจะขยายตัว โมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกห่างกัน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง และเป็นผลให้ความหนืดลดลงด้วย สำหรับผลของความดันต่อความหนืดนั้น จะเห็นได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อความดันของน้ำมันเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำมันก็จะถูกบีบให้เข้าใกล้กัน ทำให้แรงยึดติดระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย (http://www.chaiwbi.com/0drem/web_children/2545/m5302/oil.html, 2010)

2.10.4 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เชื้อเพลิงโดยทั่วไปประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกมาด้วย

ตัวอย่างสมการสำหรับการเผาไหม้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + HEAT \quad \text{(Complete)}$$

$$3C + 2O_2 \longrightarrow 2CO + CO_2 + HEAT \quad \text{(Incomplete)}$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + HEAT \quad \text{(Complete)}$$

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating value of fuel) ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (ออกซิเจน) ในกระบวนการสันดาป ซึ่งกระบวนการสันดาปจะได้ความร้อนออกมาจำนวนหนึ่ง โดยการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นคาร์บอนทั้งหมดในสารประกอบเชื้อเพลิงจะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นคาร์บอนได้ออกไซด์ สำหรับเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรเจนจะมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ในสถานะของของเหลวและแก๊ส ซึ่งมีผลต่อความร้อนของปฏิกิริยาจึงมีการกำหนดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ

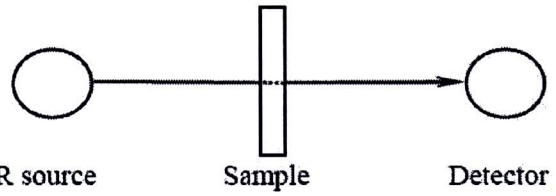
- ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง (High heating value; HHV) (Stephen, 2000) เป็นค่าความร้อนเมื่อน้ำที่เกิดขึ้นถูกควบแน่นเป็นของเหลวทั้งหมด
- ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ (Low heating value; HHV) (Stephen, 2000) เป็นค่าความร้อนเมื่อน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะเป็นไอทั้งหมด

การหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยทั่วไปอาจใช้เครื่องมือหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เช่น Bomb Calorimeter หรือ Gas Calorimeter เป็นต้น ค่าความร้อนที่ได้จากเครื่องมือดังกล่าวเป็นค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง แต่การนำค่าความร้อนเชื้อเพลิงมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าต่าง ๆ จะใช้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำเป็นหลัก เพราะว่าในอุณหภูมิสูง ๆ ขณะที่ไอเสียออกจากเครื่องยนต์จะไม่มีการกลั่นตัวของไอน้ำ แต่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูงก็เป็นที่นิยมใช้กัน เพราะตัวเลขที่ได้จากความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูงคำนวณหาได้ง่ายกว่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ

2.10.5 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรสโคปี (Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy)

ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรสโคปี (Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy) เป็นเทคนิควิเคราะห์สารเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ทางเคมี เนื่องจากขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยาก ประกอบกับ Sampling technique ที่หลากหลาย ทำให้สามารถประยุกต์ใช้กับตัวอย่างได้ทุกสถานะไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เทคนิคทางด้าน Infrared (IR) Spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการสั่น (Vibration) ของโมเลกุล เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นของโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moment) ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ Wave Number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่า IR Spectrum ซึ่งลักษณะสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะ โมเลกุลของสสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของ Functional Groups ในโมเลกุลนั้น ๆ เครื่องมือ Fourier Transform Infrared (FT-IR) สามารถวัดผลเป็นค่าการดูดกลืนแสง (absorption) หรือ การให้แสงผ่าน (transmission) หรือค่าการสะท้อนแสง (reflectance) (ดร.กาญจนา ธรรมนู, 2010; http://www.gjr.at-website.com/File_InformationCenter/2.pdf, 2010)

เทคนิคที่ใช้ใน FT-IR spectroscopy มีมากมาย แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Transmission หลักการของเทคนิคนี้ คือ แสงอินฟราเรดจะส่องผ่านตัวอย่างและตกสู่ตัวตรวจวัดสัญญาณ โดยเทคนิค Transmission นี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.3
แสงอินฟราเรดส่องผ่านตัวอย่างและตกสู่ตัวตรวจวัดสัญญาณ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นรินดา และกัณฐิกา (2551) ได้ทำการทดลองหาค่าเฉลี่ยของปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสถุงบรรจุอาหารประเภทโพลีโพรพิลีนโดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นคาโอลิน (Kaolin Clay) ได้น้ำมันร้อยละ 48.7 และ 67.0 ตามลำดับ รวมถึงหาค่าเฉลี่ยของปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสถุงหิ้ว (PE) และขยะฝังกลบชนิดถุงหิ้ว (PE) พบว่า ได้น้ำมันร้อยละ 33.6 และ 27.22 ตามลำดับ โดยน้ำมันดิบที่ผลิตได้ประกอบไปด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน น้ำมัน-เตา TopC5 และอื่น ๆ ด้วยสัดส่วนที่มากไปน้อย ตามลำดับ

McCaffrey และคณะ (1995) ได้ศึกษาการไพโรไลซิสพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยใช้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 425 – 450 °C พบว่า ที่ 450 °C สามารถผลิตน้ำมันได้ปริมาณมากที่สุดถึง 82.5% โดยมีส่วนประกอบหลักเป็นโมเลกุลสายโซ่ตรงแอลเคนและแอลคีน น้ำมันมีความยาวของสายโซ่โดยเฉลี่ยเท่ากับ C13.6 และมีปริมาณความไม่อิ่มตัวสูงสุดที่ 70.8 mol%

Uddin และคณะ (1997) ได้ศึกษาการไพโรไลซิสพอลิเอธิลีนที่ 430 °C โดยใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา SiO_2-Al_2O_3 สำหรับการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า LDPE และ LLDPE ให้น้ำมัน (76–77%) มากกว่า HDPE และ XLPE (58-63%) รวมถึงให้สารประกอบ

คล้ายแว็กซ์ปริมาณน้อยมาก ดังนั้นโครงสร้างของพอลิเมอร์จึงมีอิทธิพลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ น้ำมันที่ได้มานี้อยู่ในช่วง n-C5 ถึง n-C25 (จุดเดือด 36 – 405 °C) และค่าโบรมีนที่บ่งบอกความไม่อิ่มตัวในน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 53 - 64 g (Br_2) / 100 g (liquid product) แต่เมื่อไพโรไลซิสพอลิเอธิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา SiO_2-Al_2O_3 พบว่า ได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นและไม่มีแว็กซ์ น้ำมันที่ได้อยู่ในช่วง n-C5 ถึง n-C20 โดยจะมีมากในช่วง C5 - C12 และมีค่าโบรมีนเท่ากับ 86 – 90 g (Br_2) / 100 g (liquid product)

Achilias และคณะ (2007) ได้ศึกษาการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกและขยะพลาสติกประเภทพอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและชนิดความหนาแน่นสูง ที่ 450 °C โดยใช้ FCC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า สามารถเปลี่ยนขยะพลาสติก LDPE และ HDPE เป็นน้ำมันได้ 72.1% และ 44.2% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าน้ำมันที่ได้จากเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิด คิดเป็น 46.6% และ 38.5% ตามลำดับ น้ำมันที่ได้จากเม็ดพลาสติกมีส่วนประกอบหลัก คือ สารประกอบอะลิฟาติกส์ (normal and iso-alkanes และ iso-alkenes) และสารประกอบอะโรมาติกส์ สำหรับน้ำมันที่ได้จากขยะ LDPE มีส่วนประกอบหลักเป็น C7 – C12 ซึ่งอยู่ในช่วงของน้ำมันเบนซิน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้มักประกอบไปด้วย iso-alkanes หรือ iso-alkenes ส่วนขยะ HDPE จะให้น้ำมันที่มีส่วนประกอบหลัก คือ normal alkenes

Onwudili และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกพอลิ-เอธิลีนความหนาแน่นต่ำที่ 300 – 500 °C พบว่า ภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสอยู่ที่ 425 °C สามารถผลิตน้ำมันได้ 89.5% และก๊าซ 10% น้ำมันที่ได้มีส่วนประกอบหลัก คือ ไฮโดรคาร์บอนอะลิฟาติกส์โซ่ยาวและโซ่สั้น แม้ว่าที่อุณหภูมิ 450 และ 500 °C จะให้น้ำมันที่มีส่วนประกอบเดียวกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนที่สูง แต่ก็ให้ปริมาณของก๊าซและ Char ที่สูงกว่าตามไปด้วย น้ำมันที่ผลิตได้นี้มีสีน้ำตาลเข้ม ความหนืดต่ำ และมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 38.0 – 42.7 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

Shah และคณะ (2010) ได้ศึกษาการไพโรไลซิสถุงพลาสติกพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ ภายใต้ความดันบรรยากาศที่ 250 °C, 300 °C, 350 °C และ 400 °C โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ได้แก่ SiO_2, CaC_2, Al_2O_3, MgO, ZnO และ SiO_2-Al_2O_3 พบว่า การใช้ CaC_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด น้ำมันที่ผลิตได้นี้มีสัดส่วนของสารประกอบอะลิฟาติกส์ สารประกอบอะโรมาติกส์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขั้วเป็น 40%, 30% และ 25% ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ MgO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า น้ำมันที่ผลิตได้แยกออกเป็น 2 ชั้น น้ำมันชั้นบนมีสีน้ำตาลเข้ม ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ คิดเป็น

25%, 35% และ 35% ตามลำดับ ส่วนน้ำมันชั้นล่างมีสีขาวขุ่นกว่า ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ คิดเป็น 15%, 15% และ 65% ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีส่วนประกอบของออกไซด์เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขั้วและสารประกอบอะโรมาติกส์ ขณะที่ CaC_2 เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบอะลิฟาติกส์ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการทดลอง พบว่า ค่าความหนืดและค่าความหนืดเชิงจลน์อยู่ในช่วง 1.233 – 1.399 เซนติพอยส์ และ 1.211 – 1.836 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าในช่วงของน้ำมันก๊าด (Kerosene) ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 40.5 – 45.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าในช่วงของน้ำมันดีเซล (Diesel) และค่าโบรมีนที่บ่งบอกถึงปริมาณสารประกอบโอเลฟินส์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 – 12.8 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายในน้ำมันประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ได้แก่ แอลเคน แอลคีน อะโรมาติกส์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นการศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติก โดยที่มิได้นำปัจจัยในเรื่องของสภาวะการเก็บรักษาน้ำมันมาเกี่ยวข้องในงานวิจัย แต่เนื่องจากในความเป็นจริงน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกจะต้องนำไปกลั่นแยกเป็นเชื้อเพลิงต่อไป ช่วงระหว่างนั้นจะต้องทำการเก็บรักษาน้ำมันเพื่อรอการขนส่งให้ได้ในปริมาณที่เพียงพอ ดังนั้น สภาพแวดล้อมและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำมันอาจมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมัน งานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงปัจจัยในเรื่องของแสงและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมัน จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกเมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะต่าง ๆ