



โครงการวิจัยที่ ภ.57-08/ย.1/รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การผลิตเชื้อเพลิงอากาศยาน ด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ.57-08

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับอากาศยาน

โครงการย่อยที่ 1

การผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส

โดย

บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล

ศรัทธา วัฒนธรรม

พิชัย วงศ์หาญ

ประวิทย์ เทพนุ้ย

พงษ์ศักดิ์ หงส์เจริญศรี

นภาพร ชาญเจริญลาภ

บรรณาธิการ

อลิสรา คุณประสิทธิ์

บุญเรียม น้อยชุมแพ

ว. ปทุมธานี 2561

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(นางลักขมี ปลั่งแสงมาศ)

ผู้ว่าการ

BIOFUEL PRODUCTION WITH PYROLYSIS TECHNOLOGY

Borisut Chantrawongphisal, Satta Watanatham, Phichai Wongharn,
Pravit Thapnui, Phongsak Hongcharoensri and Napaporn Chancharoenlap

ABSTRACT

This is a study on the production of bio jet fuel from biomass with pyrolysis technology. The tar sample from eucalyptus pyrolysis enters a process where oxygen is removed from tar molecules by deoxygenation reaction. The tar is composed of 34 % oxygen, 58 % carbon and 7.8 % hydrogen. In the oxygen removal process, the hydrogen is fed into the reactor at the rate of 50 ml per minute, where the pressure inside is controlled with nitrogen gas at 7 bars. It was found that by increasing the amount of Nickel catalysts by 66% on the alumina support, the yield of bio oil rose 58 %. In addition, by increasing the temperature from 170, 170 to 280, 280 °C, the specific energy could go up from 6670, 7935 to 8380 kcal/kg, respectively. The increase in temperature also affected chemical composition of the bio-oil causing carbon to rise from 63.2%, 71.6% to 75.5% and hydrogen to rise from 7.9%, 8.4% and 8.5%, respectively, while the amount of oxygen reduced from 28.9%, 20% and 16%, respectively. This indicated that the bio-oil is not yet suitable for the synthesis of jet fuel, as oxygen molecules still remained the bio-oil.

การผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส

บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล¹, ศรัทธา วัฒนธรรม¹, พิชัย วงศ์หาญ¹, ประวิทย์ เทพนุ้ย¹,
พงษ์ศักดิ์ หงษ์เจริญศรี¹ และ นภาพร ชาญเจริญลาภ¹

บทคัดย่อ

จากการทดลองศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันอากาศยานจากชีวมวล ด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส โดยน้ำมันดินจากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ยูคาร์ลิปตัส ด้วยกระบวนการกำจัดออกซิเจน (deoxygenation) ออกจากโมเลกุลของน้ำมันดิน น้ำมันดินมีองค์ประกอบของออกซิเจนร้อยละ 34, คาร์บอนร้อยละ 58 และไฮโดรเจนร้อยละ 7.8 การกำจัดออกซิเจนโดยการป้อนไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ออกซิเจน และควบคุมความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยการควบคุมความดันที่ 7 บาร์ อัตราการป้อนไฮโดรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอล พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 66 มีผลทำให้ Yield ของน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ จาก 170, 170 ถึง 280, 280 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6670, 7935 และ 8380 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นอกจากนี้ อุณหภูมิดังกล่าวมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยคาร์บอนเพิ่มจากร้อยละ 63.2, 71.6 และ 75.5 ตามลำดับ ไฮโดรเจนเพิ่มจากร้อยละ 7.9, 8.4 และ 8.5 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 28.9, 20 และ 16 ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้ยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์เป็นน้ำมันอากาศยาน เนื่องจากยังคงมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลของน้ำมันชีวภาพ.

¹ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิชาการ และพนักงาน ตลอดจนลูกจ้างของ วว. ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่เสียสละเวลา และให้ความร่วมมือจนการดำเนินโครงการบรรลุเป้าหมาย.

ขอขอบคุณ คุณจิราวัฒน์ รอดเข้ม รักษาการผู้อำนวยการกองติดตามและประเมินผล ที่ได้วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ทำให้โครงการสำเร็จตามวัตถุประสงค์.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
รายชื่อคณะทำงาน	จ
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	23
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์	31
4. สรุปผลการวิจัย	33
5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	34
6. ข้อเสนอแนะ	35
7. เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติน้ำมันเบนซินอากาศยานแบ่งตามเกรดของน้ำมัน	9
ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติน้ำมันเบนซินอากาศยานเกรด 80, 100 และ 100 LL	10
ตารางที่ 1.3 การจัดลำดับของน้ำมันดิน	16
ตารางที่ 1.4 จุดเดือดและสูตรโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในน้ำมันดิน	17
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่อุณหภูมิของการคาร์บอนไนต์แตกต่างกัน	31
ตารางที่ 3.2 ผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาต่อ yield (ร้อยละ)	32
ตารางที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมี ของน้ำมันชีวภาพ	32

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการไพโรไลซิส	12
รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดน้ำมันดินจากชีวมวล	14
รูปที่ 1.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันดิน	15
รูปที่ 1.4 แผนภาพการเกิดน้ำมันดินกลุ่มต่างๆ โดย Elliott	15
รูปที่ 1.5 ประโยชน์ของการกลั่นสลายชีวมวลจากกระบวนการไพโรไลซิส	19
รูปที่ 1.6 จัดประเภทและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	21
รูปที่ 2.1 เม็ดอะลูมินาบอล	24
รูปที่ 2.2 สารละลายนิกเกิลไทเทรตความเข้มข้น 1 โมลาร์	24
รูปที่ 2.3 การแช่เม็ดอะลูมินาบอลในสารละลายนิกเกิลไทเทรตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	25
รูปที่ 2.4 ลักษณะตัวรองรับอะลูมินาบอลที่จุ่มเคลือบนิกเกิลไทเทรตหลังการอบ	25
รูปที่ 2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอลหลังการแคลไซด์	26
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างไม้ยูคาลิปตัสท่อนเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และยาว 1 นิ้ว	26
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์การกลั่นสลายชีวมวลเป็นน้ำมันดิน	27
รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์เก็บน้ำมันดิน	27
รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์เครื่อง Parr และการประกอบชุดอุปกรณ์	28
รูปที่ 2.10 น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน	29
รูปที่ 2.11 เครื่องมือวิเคราะห์ C, H และ N	30
รูปที่ 2.12 เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความร้อน	30

รายชื่อคณะทำงาน

หัวหน้าโครงการ	นางบริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล
การทดลอง และ การเก็บรวบรวมผลข้อมูล	นายศรัทธา วัฒนธรรม นายพิชัย วงศ์หาญ นายประวิทย์ เทพนุ้ย นายพงษ์ศักดิ์ หงส์เจริญศรี นางสาวนภพร ชาญเจริญลาภ
บุคลากรสนับสนุน (ผู้ทำงานด้านธุรการ ผู้ช่วยห้องปฏิบัติการ และช่างเทคนิค)	นางสาวบุญนิสา เสืองาม นางสาวโชติกา คงสมบูรณ์
การรวบรวม และ จัดทำเอกสารระบบมาตรฐาน ISO	นางบริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล นางสาวนภพร ชาญเจริญลาภ นางสาวบุญนิสา เสืองาม นางสาวโชติกา คงสมบูรณ์
การวิเคราะห์ และสรุปประเมินผล	นางบริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล
การเขียนรายงาน	นางบริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตามแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ.2553-2568 เพื่อใช้การขับเคลื่อนรวมทั้งกำหนดทิศทาง กรอบการดำเนินการพลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. ให้ชัดเจน เป็นรูปธรรม สามารถเสริมสร้างศักยภาพของ ก.ต.พ.ศ. ให้ก้าวหน้าทันกับการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมด้านพลังงาน และดำรงไว้ซึ่งขีดความสามารถของ ก.ต.พ.ศ. มีความเชื่อมโยงและสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของ ก.ต.พ.ศ. แผนแม่บทด้านส่งกำลังบำรุง นโยบายผู้บัญชาการทหารอากาศ แผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของกระทรวงกลาโหม และแผนพัฒนาพลังงานของประเทศ มีกรอบทิศทางในการขับเคลื่อน ดังนี้ ระยะเวลาที่ 1 พ.ศ.2553-2557 มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. โดยมีการจัดหา ติดตั้ง และใช้พลังงานทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับเป็นพลังงานสำรองให้กับหน่วยงานของ ก.ต.พ.ศ. โดยเน้นหน่วยที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ อาทิ ศูนย์โทรคมนาคมและสถานีถ่ายทอดโทรคมนาคม ซึ่งอยู่ห่างไกล เป็นต้น อีกทั้งยังใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตพลังงานความร้อนและใช้ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงระดับชุมชนอีกด้วย ที่สำคัญคือ ได้มีการจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนขึ้น ระยะเวลาที่ 2 พ.ศ. 2558-2562 จะมีการมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้น ส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานเชิงพาณิชย์ โดยสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชน จัดให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อความมั่นคงทางพลังงานของ ก.ต.พ.ศ. รวมถึงพัฒนาศูนย์การเรียนรู้โดยเน้นการจัดการความรู้ด้านพลังงานทดแทนเพื่อภารกิจของ ก.ต.พ.ศ. เป็นหลัก ระยะเวลาที่ 3 พ.ศ. 2563-2568 ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของแผนยุทธศาสตร์ฉบับนี้ ก.ต.พ.ศ. มีความมุ่งหวังที่จะพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางพลังงานและสามารถพึ่งพาตนเองได้ เป็นผู้นำด้านพลังงานทดแทนของกระทรวงกลาโหม และที่สำคัญคือ มุ่งหวังที่จะสามารถผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับอากาศยานอีกด้วย ในปี พ.ศ. 2556 คณะกรรมการพลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. โดย พลอากาศเอก เฉลิม ตรีเพชร ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษของ ก.ต.พ.ศ. ประธานกรรมการพลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. ได้ทบทวนแผนงาน โครงการ และงบประมาณตามแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. พ.ศ. 2553-2568 ที่ถูกกำหนดไว้ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2557 โดยส่วนที่เหลือ ยังไม่ถูกกำหนด พร้อมจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของ ก.ต.พ.ศ. พ.ศ. 2556-2560 เพื่อเชื่อมโยงนโยบายไปสู่การปฏิบัติ และสามารถติดตามการดำเนินการปฏิบัติเป็นรูปธรรมอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย 5 ประเด็นยุทธศาสตร์ ดังนี้ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 การบริหารจัดการด้านพลังงานทดแทน ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 การวิจัยและพัฒนา

ด้านพลังงานทดแทน, ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 การส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน, ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาบุคลากรด้านพลังงานทดแทน, ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5 การจัดการองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทน เป้าประสงค์ที่สำคัญ คือ การเพิ่มสัดส่วนการผลิตและใช้พลังงานทดแทนให้เป็นร้อยละ 2 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของกองทัพอากาศภายใน พ.ศ. 2560 โดยมีตัวชี้วัด ดังนี้

เนื่องด้วยปัญหาราคาเชื้อเพลิงภาคขนส่งที่มีแนวโน้มสูงขึ้นและปัญหาทางสังคมและสิ่งแวดล้อมจากภาวะโลกร้อน รัฐบาลได้เร่งผลักดันให้มีการพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีในการดำเนินงานทุกภาคส่วน โดยนโยบายของรัฐบาลที่ให้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ ผลักดันให้ผลิตและใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศ และการกำหนดยุทธศาสตร์ด้านความรับผิดชอบต่อสังคมอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้ รวมถึงการบริหารจัดการเชื้อเพลิงอากาศยานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกสู่ชั้นบรรยากาศ รวมทั้งสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยการใช้พลังงานทดแทนประเภทเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels) เพื่อนำมาใช้ในอากาศยานเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการลดการใช้น้ำมันอากาศยานที่ผลิตมาจากฟอสซิลให้ได้ในอนาคต ด้วยการผลักดันให้อุตสาหกรรมการบินทั่วโลกมีส่วนร่วมยับยั้งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ในปี พ.ศ. 2563 ไปจนถึงให้มีการชดเชยหรือไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2600 ซึ่งอุตสาหกรรมขนส่งทางอากาศมีอัตราเติบโตที่สูงขึ้น หากยังไม่เริ่มตระหนักถึงการจำกัดหรือลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 3 หรือมากกว่า 20 ล้านตันต่อปี อย่างไรก็ตาม หากสายการบินทั่วโลกหันมาใช้เชื้อเพลิงอากาศยานชีวภาพทดแทนพลังงานที่ผลิตจากฟอสซิลได้ในปริมาณร้อยละ 6 จะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ถึงร้อยละ 5.

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะของเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือที่เรียกว่า ชีวมวล ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานได้โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสได้เป็นเชื้อเพลิงเหลว (bio-oil) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพอากาศยานต่อไป.

ดังนั้น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จึงได้ศึกษาการสังเคราะห์สารเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตเชื้อเพลิงจากชีวมวล และได้ศึกษาการเปลี่ยนน้ำมันดินในชีวมวลมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้กับเครื่องยนต์รบต่ำและใช้แก๊สเชื้อเพลิงแทนแก๊สสูง

ต้ม การใช้สารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการดังกล่าวส่งผลทำให้ค่าความร้อนในเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าเพิ่มถึงร้อยละ 40 ดังนั้น การพัฒนาเชื้อเพลิงดังกล่าวเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่ออากาศยานจึงมีความเป็นไปได้สูง.

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับอากาศยานด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส
- เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบผลิตเชื้อเพลิงสำหรับอากาศยาน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้จะดำเนินงานภายในฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยมุ่งเน้นการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวมวลให้มีคุณภาพสูงขึ้น หรือมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับน้ำมันชีวภาพเพื่ออากาศยาน และมีค่าความร้อนสูง โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวปรับคุณภาพน้ำมันให้สูงขึ้น พร้อมทั้งพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูง

1.2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันชีวมวลจากกระบวนการ gasification/pyrolysis ชีวมวลโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนน้ำมันดินให้เป็นน้ำมันชีวมวล น้ำมันดังกล่าวมีค่าความร้อนสูงถึง 6,500 ถึง 7,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้น จึงมีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจศึกษาเทคโนโลยีการลดและการเปลี่ยนรูปน้ำมันดินเพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์.

Binlin *et al.* (2008) ได้ทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 ชนิด เพื่อกำจัดน้ำมันดินออกจากระบบ gasification ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย NiMo, Al₂O₃, CaO, SiO₂ และ CuMn โดยใช้ 1-Methynaphthalene เป็นตัวอย่างของน้ำมันดิน ผลการทดลองพบว่า NiMo เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวสูงสุดและสามารถกำจัดน้ำมันดินออกจากระบบได้มากที่สุด ที่อุณหภูมิ 250–650 องศาเซลเซียส.

Stefano (2003) ได้สำรวจความคิดเห็นในส่วนของผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการกำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิง โดยมุ่งเน้นที่บทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยา การเลือกตัวอย่างที่สำคัญ แม้ว่าขั้นสุดท้ายจะไม่ถึงการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรวมกับเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมและทำงานภายใต้สภาพการดำเนินงาน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและผลผลิต (Yield) ของน้ำมันดิน.

Li. et al. (2004) ได้รายงานปริมาณผลผลิตของน้ำมันดินจะค่อยๆลดลงจาก 15 ถึง 0.54 g/Nm³ เมื่อกระบวนการ biomass gasification มีอุณหภูมิในช่วง 970 ถึง 1,090 องศาเซลเซียส.

จากผลการศึกษาของ Narv Paez แสดงอุณหภูมิของกระบวนการ biomass gasification อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 700 ถึง 800 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตปริมาณน้ำมันดินค่อยๆ ลดลงจาก 19 และ 5 g/Nm³ ตามลำดับ.

Han and Kim (2008) ได้รวบรวมคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันดินและเสนอวิธีการกำจัดน้ำมันดินโดยคำนึงถึงข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธีที่แตกต่างกันแบ่งออกเป็น 5 วิธี คือ (1) วิธีการทางกล (Mechanism methods) สามารถกำจัดน้ำมันดินและอนุภาคเล็กๆ ได้ ประมาณร้อยละ 40-99 อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ใช้ในการกำจัดน้ำมันดินเท่านั้น ซึ่งการกำจัดน้ำมันดินทำให้สูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงในรูปของน้ำมันดิน (2) Self-modification methods เป็นวิธีการลดปริมาณน้ำมันดินได้น้อย แต่วิธีการนี้สามารถเปลี่ยนน้ำมันดินเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (3) Thermal cracking ใช้ได้ผลดี เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการสูงถึงจุดที่จะทำให้ น้ำมันดินสลายตัว ผลลัพธ์ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากต้องให้ความร้อนสูงเพื่อไปสลายโมเลกุลของน้ำมันดิน (4) Catalytic cracking มีความเหมาะสมกับการสลายน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่ำ แต่ข้อด้อยสารเร่งปฏิกิริยาประเภท Ni-based และ Alkali metal จะลดความว่องไวหรือเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา เมื่อผิวของสารเร่งปฏิกิริยามีการเกาะของคาร์บอนหรือสารประกอบซัลเฟอร์ (deposited carbon และ H₂S) (5) Plasma technology สามารถกำจัดได้ NO_x และ SO₂ และยังคงองค์ประกอบของน้ำมันดินในระหว่างกระบวนการ biomass gasification

Ponzio, Kalisz and Blasiak (2006) ได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดินจากกระบวนการ High temperature air/steam gasification ของเศษไม้ และพลาสติก ผลการทดลองแสดงการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการย่อยสลายสารประกอบแอโรแมติก เช่น Phenolic

compound paraffines olefins และ Alkylated aromatics และปริมาณการสลายของน้ำมันดิน ในกระบวนการ cracking จะเป็นสัดส่วนผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้.

มุลศรีแก้ว และคณะ (2551) ทำการศึกษากระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันชีวภาพจากชีวมวล ชั่งข้าวโพดตาก, ผลมะนาว และต้นสบู่ดำ และศึกษาผลของอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 300, 350, 400, 500 และ 550 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 400 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของ น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของเหลวลดลง ส่วนร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากชั่งข้าวโพด > กากผลมะนาว > ต้นสบู่ดำ โดยร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส คือ ร้อยละ 48, 42 และ 41 ร้อยละผลได้ของถ่านชาร์ คือร้อยละ 29, 28 และ 25 และร้อยละผลได้ของแก๊ส คือ 23, 29 และ 31 ตามลำดับ ค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากชั่งข้าวโพด, กากผลมะนาว และต้นสบู่ดำ คือ 30, 27 และ 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ.

Sensoz, Demiral and Ferdi Gercel (2006) ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของกากมะกอกในปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ซึ่งในการทดลองได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ, อัตราการให้ความร้อน, ขนาดของอนุภาคและอัตราการไหลของแก๊สตัวพาหรือแก๊สไนโตรเจน การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละผลได้ของเหลวสูงสุด คือ 37.7 สูตรอย่างง่ายของน้ำมันชีวภาพ คือ $CH_{1.65}O_{0.25}N_{0.03}$ มีค่าความร้อน 31.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกากมะกอกอาจจะมีค่าความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงและสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมีต่างๆ.

Priecel *et al.* (2010) ทำปฏิกิริยาดีออกซิจีเนชัน (deoxygenation) น้ำมันชีวภาพจากเมล็ดเรพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา $NiMo/Al_2O_3$ โดยตัวรองรับที่ใช้มี 2 ลักษณะคือ (1) อะลูมินา ทั่วไปมีพื้นที่ผิว 192.7 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุน 0.3598 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (2) อะลูมินารูพรุนขนาดกลาง มีพื้นที่ผิว 272.57 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุน 0.8402 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พบว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $NiMo/Al_2O_3$ รูพรุนขนาดกลางทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลง (conversion) ของน้ำมันชีวภาพจากเมล็ดเรพมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอะลูมินารูพรุนขนาดกลางมีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนสูงกว่าอะลูมินาทั่วไป ทำให้ความสามารถเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้นตามไปด้วย.

วันมงคล (2555) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสไม้กระถินณรงค์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Mo Co/Mo/Fe Co/Mo/Ni บนตัวรองรับ SUZ-4 และ ZSM-5 การทำไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวล ส่วนเฟสของสารอินทรีย์ พบว่าค่าความร้อนของ Co/Mo/Ni-SUZ-4 (8.95) = Co/Mo-SUZ-4 (8.95) > Co/Mo/Ni-ZSM-5 (8.35) > Co/Mo/Fe-SUZ-4 (8.20) > Co/Mo -ZSM-5 (7.79) > Co/Mo/Fe-ZSM-5 (6.23) > ZSM-5 (6.22) > SUZ-4 (6.09) > ไม้ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา (5.84) เมกะจูลต่อกิโลกรัมชีวมวล ซึ่งในงานวิจัยนี้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Mo/Ni-SUZ-4 และ Co/Mo-SUZ-4 สามารถเพิ่มค่าความร้อนได้ถึงร้อยละ 53.28 และผลจากเครื่องวิเคราะห์ GC-MS พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ฟีนอลและอนุพันธ์ของสารประกอบแอโรแมติก และเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Mo/Ni-SUZ-4 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุพันธ์ของหมู่แอลคิลเพิ่มขึ้นและมีการเกิดสารแอโรแมติกเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น.

Zhang and Wang (2007) นำน้ำมันดินที่ได้จากกระบวนการ gasification ของซังข้าวโพดไปสกัดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (B-oil I) และ 220 องศาเซลเซียส (B-oil II) ผลผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Diesel) ค่าการนำความร้อนของ B-oil I และ B-oil II เท่ากับร้อยละ 85.6 และร้อยละ 87.3 ของค่าการนำความร้อนน้ำมันดีเซล เมื่อนำน้ำมันที่ได้ผสมกับน้ำมันดีเซลทดสอบการใช้งานกับเครื่องยนต์ พบว่า B-oil I และ B-oil II สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล.

1.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.2.2.1 น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน

ตามคู่มือทางเทคนิคว่าด้วยการควบคุมคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นสำหรับอากาศยาน (T.O. 42B-1-1, Quality Control of Fuels and Lubricants) ได้แบ่งชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานตามการใช้งานของเครื่องยนต์ได้เป็น 2 ชนิด คือ

น้ำมันเบนซินอากาศยาน (Aviation Gasoline) สำหรับใช้งานกับอากาศยานที่ทำงานด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบ

น้ำมันเบนซินอากาศยานมีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นสารไฮโดรคาร์บอน โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ ไอโซออกเทน (Isooctane) ปัจจุบันน้ำมันเบนซินอากาศยานมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ ออกเทน 80, 90 และ 100 Low Lead น้ำมันเบนซินอากาศยานแต่ละชนิดจะมีข้อกำหนดเฉพาะระบุไว้

อย่างชัดเจน และจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามเครื่องยนต์ที่ใช้ ข้อกำหนดที่ใช้จะเป็นไปตาม American Society for Testing and Materials (ASTM) 910 และ British Ministry of Defense (DERD) 2475 โดยทั่วไปข้อกำหนดเฉพาะของน้ำมันเบนซินอากาศยานจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ความเหมาะสม (Suitability), องค์ประกอบ(Composition) และคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (Chemical and Physical) โดยที่ความเหมาะสม (Suitability) หมายรวมถึงความปลอดภัยที่เกิดจากการใช้บริการ โดยน้ำมันจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งด้านเคมีและกายภาพทุกประการ นอกจากนั้น ผู้ผลิตน้ำมันจะต้องปฏิบัติตามกฎอย่างเคร่งครัด องค์ประกอบ (Composition) น้ำมันเบนซินอากาศยานต้องมีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ยกเว้นสารเพิ่มคุณภาพที่เติมลงไปเพียงเล็กน้อย เช่น ตะกั่ว (Alkyl Lead), สี (Dyes) และสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Inhibitors) สารเพิ่มคุณภาพเหล่านี้จะต้องเป็นชนิดที่ผ่านการรับรองแล้วเท่านั้น นอกจากนั้น อาจต้องเติมสารที่ไม่เป็นไฮโดรคาร์บอน เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันอีกด้วย รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (Chemical and Physical) คุณสมบัติน้ำมันเบนซินอากาศยาน ดังแสดงในตารางที่ 1. 1 และ 1.2

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติน้ำมันเบนซินอากาศยานแบ่งตามเกรดของน้ำมัน

คุณสมบัติ	Grade	Grade	Grade	ASTM
	80	100	100LL	Test Method
Knock value, octane number, lean rating	80	100	100	D2700
Knock value, min, rich rating :				
Minimum octane number	87			D907
Minimum performance number		130	130	D909
Color	red	green	blue	D2392
Dye content :				
Permissible blue dye, max,mg/gal	0.5	4.7	5.7	
Permissible yellow dye, mg/gal	none	5.9	none	
Permissible red dye, max,mg/gal	8.65	none	none	
Tetraethyllead , max, ml/gal	0.5	4.0	2.0	D2599 or D03241

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติน้ำมันเบนซินอากาศยานเกรด 80, 100 และ 100 LL

คุณสมบัติ	ค่า คุณสมบัติ	ASTM Test Method
Distillation temperature, °F (°C)		D86
10% evaporated, max temp	167(75)	
40% evaporated, min temp	167(75)	
50% evaporated, max temp	221(105)	
90% evaporated, max temp	275(135)	
Final boiling point, max, °F (°C)	338(170)	
Sum of 10 and 50% evaporated, max temperatures, min. °F (°C)	307(135)	
Distillation recovery, min, %	97	
Distillation residue, max, %	1.5	
Distillation loss, max, %	1.5	
Net heat of combustion, min,Btu/lb	18720	D1405 or D3338
Vapor pressure:		
min, psi(kPa)	5.5(38)	D323 or D2551
max, psi(kPa)	7.0(49)	D323 or D2551
Copper strip corrosion, max	No.1	D130
Potential gum (5-h aging gum),max, mg/100ml	6	D873
Visible lead precipitate, max, mg/100ml	3	D873
Sulfur, wt max, %	0.05	D1266 or D2622
Freezing point, max, °F (°C)	-72(-58)	D2386
Water reaction , Volume change	not to exceed ±2 ml	D1094
Permissible antioxidants, max, lb/1000 bbl (42 gal)	4.2	

น้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ (Aviation Turbine Fuels) สำหรับใช้งานกับอากาศยานที่ทำงานด้วยเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ

น้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบที่มีขายในเชิงการค้า Jet A-1 เป็นไปตามข้อกำหนดของ British Ministry of Defense (DERD) และบางกลุ่มสายการบิน กลุ่มผู้ผลิตเครื่องยนต์และกลุ่มอุตสาหกรรมอาจใช้ข้อกำหนดตาม ASTM D1655 ส่วนน้ำมันอากาศยานของกองทัพ JP-8 จะต้องใช้ตามข้อกำหนดเฉพาะของ U.S. Department of Defense (U.S.MIL) และ DERD โดยกองทัพอากาศไทยปัจจุบันใช้ข้อกำหนดเฉพาะ MIL-DTL-83133 เป็นข้อกำหนดเฉพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ น้ำมันอากาศยานที่ใช้ในกองทัพ (JP-8) และเชิงพาณิชย์ (Jet A-1) มีคุณสมบัติพื้นฐานที่เหมือนกันแต่จะแตกต่างกันที่ชนิดของสารเพิ่มคุณภาพที่อนุญาตให้เติมลงไปโดยสารเพิ่มคุณภาพที่รับรองให้ใช้กับน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบได้แก่

- สารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน เติมเพื่อให้ น้ำมันเชื้อเพลิงจัดเก็บได้นาน
- สารยับยั้งการทำงานของโลหะ เติมเพื่อให้โลหะทองแดงไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้
- สารยับยั้งการกัดกร่อน เติมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในถังและท่อ
- สารยับยั้งการเกิดน้ำแข็ง เป็นข้อบังคับในน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานของกองทัพ
- สารเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า เติมเพื่อป้องกันการเกิดไฟและการระเบิด

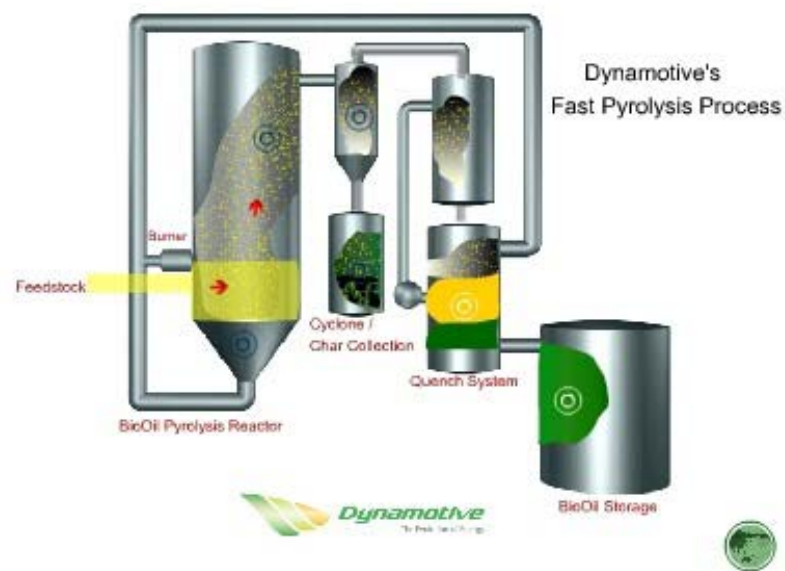
น้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบได้จากการนำน้ำมันดิบมาผ่านกระบวนการกลั่นบรรยากาศในส่วนของ straight-run kerosene การพัฒนาน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบได้มีการคำนึงถึงความปลอดภัยมากขึ้น ปัจจุบันถูกปรับปรุงมาเป็น JP-8 ส่วนน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบที่ใช้ในเชิงพาณิชย์เป็นผลิตภัณฑ์เดียวกันทั่วโลก คือ Jet A-1.

คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบจะแตกต่างจากน้ำมันเบนซินอากาศยาน แต่มีคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องควบคุมเช่นเดียวกัน น้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด มีสารประกอบกำมะถันและสารเพิ่มคุณภาพปนอยู่เล็กน้อย จะต้องมีการควบคุมปริมาณสารประเภทแอมโมเนียให้อยู่ในปริมาณที่จำกัด เนื่องจากจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดควันมากและมีการสะสมของคาร์บอนในเครื่องยนต์อีกด้วย.

คุณสมบัติที่เด่นของน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบได้แก่ ค่าความหนาแน่นและความร้อนจากการเผาไหม้ (Density and Heat of Combustion) โดยค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการวัดหน่วยมวลต่อปริมาตร น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะให้ความร้อนต่อหน่วยปริมาตรสูง ส่วนค่าความร้อนจากการเผาไหม้เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติความคงตัวต่อความร้อน (Thermal Stability) และคุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Properties) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากในการผลิตน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ คุณสมบัติน้ำมันอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ กำหนดตาม MIL-DTL-83133E.

1.2.2.2 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process)

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) คือ กระบวนการสลายตัวของสารด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน ในที่นี้ คือ กระบวนการที่เปลี่ยนอนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยเกิดการแตกของพันธะโมเลกุลในองค์ประกอบจากสายโซ่พันธะเคมียาวๆ กลายเป็นสายโซ่สั้นๆ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนระเหยได้บางส่วนกลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง บางส่วนที่ถูกควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งเรียกว่าน้ำมันชีวภาพ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนระเหยไม่ได้ กลายเป็นถ่าน กระบวนการไพโรไลซิส ดังแสดงในรูปที่ 1.1.



รูปที่ 1.1 กระบวนการไพโรไลซิส.

วิธีการให้ความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การไพโรไลซิสโดยปกติทั่วไป (conventional pyrolysis) หรือไพโรไลซิสอย่างช้า (slow pyrolysis) อัตราการให้ความร้อนน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันดินและถ่านไม้ flash pyrolysis หรือ fast pyrolysis อัตราการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 10 ถึง 1,000 องศาเซลเซียสต่อวินาที และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 400 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ แก๊สและของเหลวเป็นส่วนใหญ่.

กลไกการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิสสามารถเข้าใจได้โดยศึกษาพฤติกรรมขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ภายใน ได้แก่ พอลิเมอร์ของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน นอกจากนี้อาจศึกษาถึงสารต่างๆที่แยกได้จากปฏิกิริยา เช่น ไฮโดรคาร์บอน น้ำมันดิน แก๊ส เป็นต้น. ส่วนการกระจายของผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถควบคุมได้ถ้าทราบถึงกลไกและจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา.

สภาวะที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการไพโรไลซิสจะได้น้ำมันประมาณร้อยละ 8-56 และได้แก๊สประมาณร้อยละ 10-30 ส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง น้ำมันที่ได้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำมันเบนซิน, น้ำมันก๊าด, น้ำมันดีเซล, น้ำมันเตา และน้ำมันหนักผสมรวมกัน ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันและแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับตัวแปร ดังต่อไปนี้

1. สภาวะที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, ความเร็วในการให้ความร้อนอุณหภูมิสุดท้าย, เวลาที่ใช้ในกระบวนการ, บรรยากาศในปฏิกรณ์ และระบบการป้อนสาร เป็นต้น.
2. ชนิดของปฏิกรณ์ ซึ่งมีผลต่ออัตราเร็วในการให้ความร้อนและเวลาที่ใช้ในกระบวนการ.
3. วัสดุที่ป้อนเข้า เช่น ขนาดของสาร, ชนิดและส่วนผสมของสาร เป็นต้น.

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

สารชีวมวลที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จะมีการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการระเหยไอน้ำและสารระเหยรวมทั้งแก๊สต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วย องค์ประกอบของสารอินทรีย์และอนินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านกายภาพและเคมีผลิตภัณฑ์หลักๆ ได้มี 3 ประเภท คือ

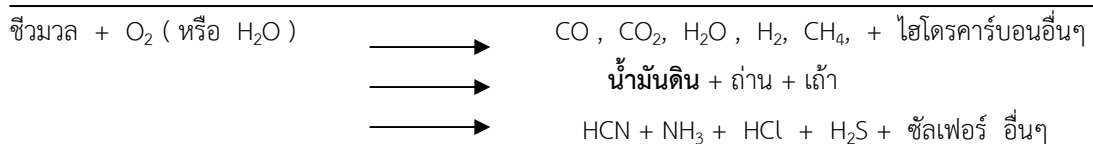
1. ถ่านชาร์ (charcoal) เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส มีลักษณะเป็นของแข็งโดยมีค่าความร้อน 4,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในด้านสิ่งแวดล้อมถ่านชาร์ช่วยลดมลพิษจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบต่างๆ เช่น ตัวดูดซับน้ำมันตัวกรอง หรือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรูปทรงสูง.

2. แก๊สไพโรไลซิส (pyrolysis gas) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, มีเทน, ไฮโดรเจน และแก๊สที่มีมวลโมเลกุลต่ำ แก๊สไพโรไลซิสมีค่าความร้อนประมาณ 1.8 กิโลแคลอรีต่อลิตร ด้วยเหตุที่ค่าความร้อนค่อนข้างต่ำจึงนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง และเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า.

3. น้ำมันชีวภาพ (pyrolysis oil or bio-oil) หรือน้ำมันดิน (tar) ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ อาจใช้เป็นเชื้อเพลิงของเหลวหรือสกัดเป็นสารเคมี น้ำมันชีวภาพยังมีชื่อที่เรียกอื่นๆ อีก เช่น pyrolysis oil, biocrude oil, bio-fuel-oil, liquid smoke, pyrolysis tar, pyrolytic acid เป็นต้น ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีดำน้ำตาลเข้มหรืออาจเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการให้ความร้อน (ช้าหรือเร็ว).

1.2.2.3 น้ำมันดิน (tar)

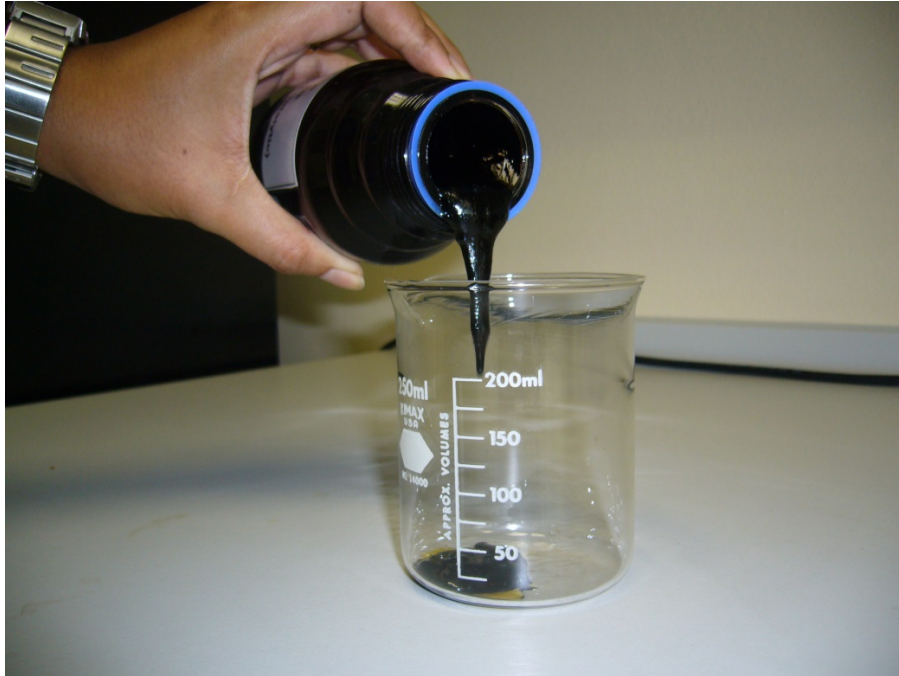
น้ำมันดิน (tar) เป็นของเหลวที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิส และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 1.2.



รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดน้ำมันดินจากชีวมวล.

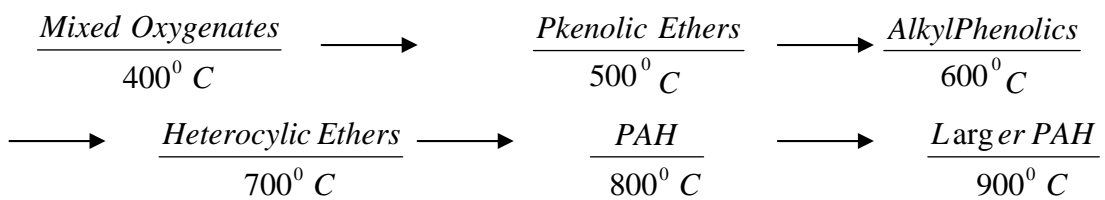
เนื่องจากน้ำมันดินประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวก Heterocyclic aromatic ที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ดังนั้น น้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิ 673 ถึง 923 องศาเซลวิน จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับไม้ มีค่าความร้อนสูงประมาณ 22 ถึง 26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิ 973 ถึง 1,273 องศาเซลวิน จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าความร้อนสูงถึง

40 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ลักษณะของน้ำมันดิน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งเป็นของเหลวข้น, มีความหนืดสูง, สีน้ำตาลเข้ม และติดไฟยากเนื่องจากมีความหนืดสูง.



รูปที่ 1.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันดิน.

Milne *et al.* ได้อธิบายรายละเอียดของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นตัวในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำพวกไม้ และของเหลือทิ้งชีวมวล ที่อุณหภูมิต่างกันจะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 1.4.



รูปที่ 1.4 แผนภาพการเกิดน้ำมันดินกลุ่มต่างๆ โดย Elliott.

น้ำมันดินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน โครงสร้างอาจมีไฮโดรคาร์บอนแบบวงแหวนแอโรแมติก ตั้งแต่ 1 ถึง 5 วง และ complex polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) ในปี ค.ศ. 1998 การประชุม EU/IEA/US-DOE ได้พิจารณาเรื่องการวัดคุณสมบัติของน้ำดิน และผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นตรงกันว่าน้ำมันดินเป็นสารอินทรีย์ปนเปื้อนด้วยสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของเบนซิน ดังแสดงในตารางที่ 1.3 และ 1.4.

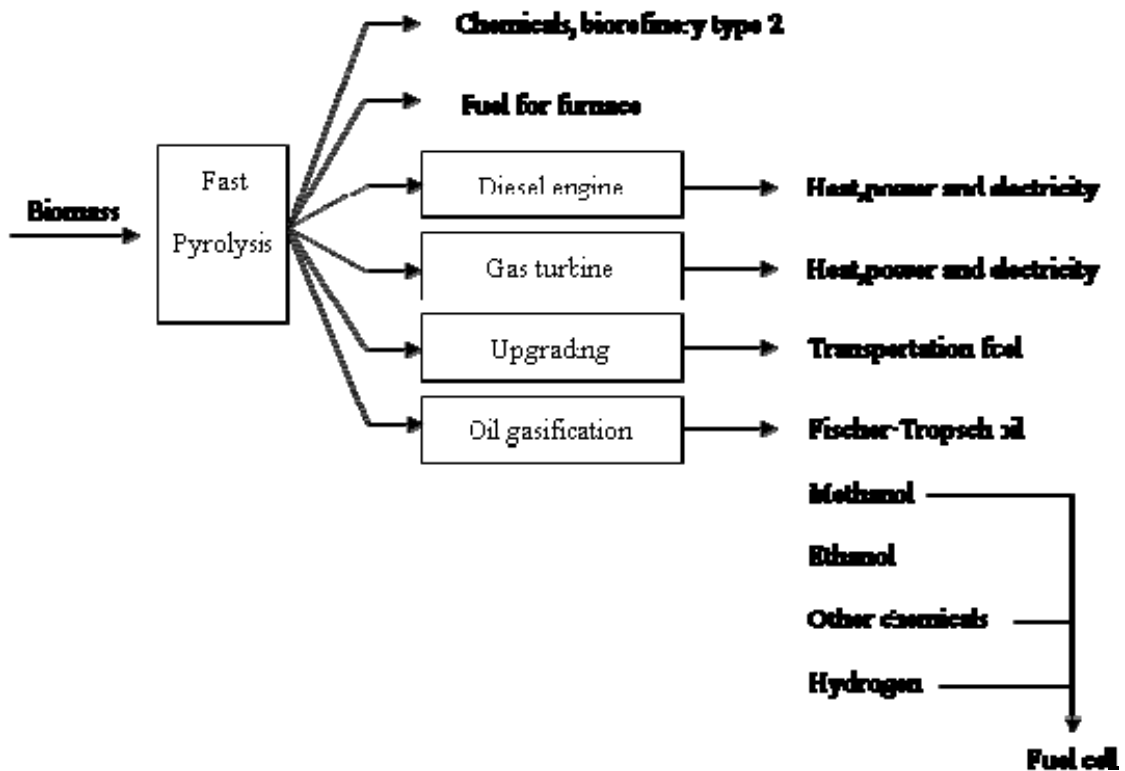
ตารางที่ 1.3 การจัดลำดับของน้ำมันดิน

ลำดับที่	ชื่อ	คุณสมบัติ	สารประกอบ
1	GC-undetectable	น้ำหนักสูงมากจนไม่สามารถวัดด้วยเครื่อง GC	-
2	Heterocyclic aromatics	ละลายน้ำเป็นบางส่วน	Pyridine, phenol, cresols, quinoline, isoquinoline, dibenzophenol
3	Light aromatic ring (1 ring)	สามารถกลั่นตัวและละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด	Toluene, ethylbenzene, xylene, styrene
4	Light PAH compounds (2-3 rings)	กลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำ	Indene, naphthalene, methyl naphthalene, biphenyl, acenaphthalene, fluorine, phenanthrene, anthracene
5	Heavy PAH compounds (4-7 rings)	กลั่นตัวที่อุณหภูมิสูง	Fluoranthene, pyrene, chrysene, perylene, coronene

ตารางที่ 1.4 (ต่อ)

สารประกอบในน้ำมันดิน	สูตรโมเลกุล	จุดเดือด (ซ.°)
Indene	C ₉ H ₈	116.16
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	C ₂₂ H ₁₂	276.33
Indole	C ₈ H ₇ N	117.15
Isokinoline=Isoquinoline	C ₉ H ₇ N	129.16
Levoglucozan	C ₆ H ₁₀ O ₅	162.14
Naphtacene=2,3-Benzanthracene	C ₉ H ₈	228.29
Naphthalene	C ₁₀ H ₈	128.17
Naphtanthracene=1,2-Benzanthracene	C ₁₈ H ₁₂	228.29
Perylene=Per-dinaphthalene	C ₂₀ H ₁₂	252.31
Phenanthrene	C ₁₄ H ₁₀	178.23
Phenol	C ₆ H ₆ O	94.11
a-Picoline=2-Methylpyridineb Picoline=3-Methylpyridineg Picoline=4-Methylpyridine	C ₆ H ₇ N	93.12
Pyrene=Benzo(d,e,f)phenanthrene	C ₁₆ H ₁₀	202.25
Pyridine	C ₅ H ₅ N	79.10
Pyrrole	C ₄ H ₅ N	67.09
Quinoline=Benzo(b)pyridine	C ₉ H ₇ N	129.16
Styrene	C ₈ H ₈	104.15
Sinapyl alcohol= Syringenin	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	210.22
Thiophene	C ₄ H ₄ S	84.13
Toluene	C ₇ H ₈	92.14
Triphenyleen=9,10-Benzophenanthreen	C ₁₈ H ₁₂	228.29
o-Xylene=1,2-Dimethylbenzenem Xylene=1,3-Dimethylbenzenep Xylene=1,4-Dimethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106.16

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกลั่นสลายชีวมวลสามารถนำไปผ่านกระบวนการเพื่อปรับปรุง (Upgrade) หรือ สังเคราะห์ (Synthesize) ให้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายรูปแบบได้ดัง แผนภูมิที่ ดังแสดงในรูปที่ 1.5.



รูปที่ 1.5 ประโยชน์ของการกลั่นสลายชีวมวลจากกระบวนการไพโรไลซิส.

1.2.2.4 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลนั้น จะก่อให้เกิดน้ำมันดิน ทั้งในสภาพที่เป็นไอ (bio-gas) และของเหลว (bio-oil) ซึ่งเป็นปัญหาในระบบท่อส่งก๊าซที่ออกจากเตาเผา ทำให้เกิดการอุดตันภายในท่อ และน้ำมันดินก็ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้น การแก้ปัญหาน้ำมันดินที่เกิดขึ้นจะต้องทำกระบวนการ เปลี่ยนรูป (reforming) หรือสลายตัว (cracking) ด้วยวิธีการให้ความร้อนสูง หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการช่วยลดอุณหภูมิของปฏิกิริยาลงได้.

ในกระบวนการทั้งสอง ยังสามารถทำให้น้ำมันดินที่ได้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ทั้งความหนืด, ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ และยังสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน.

ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินนั้น จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ โดยการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ซึ่งอยู่เหนือของเหลวในลักษณะ fixed bed ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอของ น้ำมันดินที่ได้จากการกลั่น โดยโมเลกุลของน้ำมันดินจะทำปฏิกิริยากับโลหะที่อยู่บนพื้นผิวของตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่ง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานพันธะภายในโมเลกุล แล้วเกิดการ จัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลใหม่ขึ้นมา.

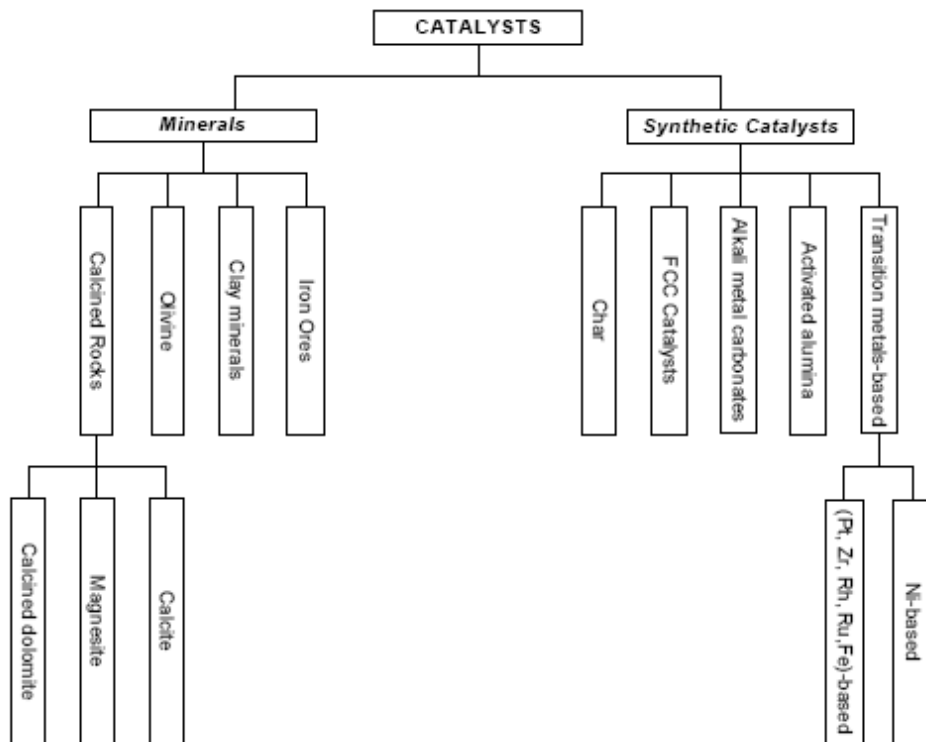
1.2.2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) คือ สารที่เติมลงไปในปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ เร็วขึ้น โดยสารเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนวิถีที่มีพลังงานกระตุ้นจากสูงไปเป็นวิถีที่มีพลังงานกระตุ้นต่ำ จึง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดง่ายและเร็วขึ้น ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีผลต่ออุตสาหกรรมโดยเฉพาะการผลิต น้ำมันและแก๊สสังเคราะห์.

สำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีที่ได้รับความนิยมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การ เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Impregnation method) เป็นวิธีการเตรียมตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดที่มีตัวรองรับวิธีหนึ่ง โดยวิธีจุ่มเคลือบเป็นวิธีการแช่ตัวรองรับด้วยสารละลายที่มี ส่วนประกอบกับมันต์หลักที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการทำให้ตัวรองรับชุ่มด้วยสารละลายนั้น.

ประเภทและชนิดของตัวเร่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.6 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ

1. กลุ่มตัวเร่งที่ได้จากสินแร่ธรรมชาติ ได้แก่ สินแร่เหล็ก (Iron ores), Clay minerals, Olivine และ แร่หิน ได้แก่ calcite, magnesite และ calcined dolomite
2. กลุ่มตัวเร่งที่สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ กลุ่มโลหะทรานซิชัน ซึ่งมีอยู่สองกลุ่มคือ ชนิด Nickel-based และโลหะอื่นๆ (Pt, Zr, Rh, Fe)-based, กลุ่ม Activated Alumina, Alkali metal carbonates, Fluid catalytic cracking (FCC catalyst) และถ่านต่างๆ (char).



รูปที่ 1.6 จัดประเภทและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา.

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เฉพาะในช่วงที่เหมาะสมในทาง Thermodynamic ของปฏิกิริยา.

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. ตัวเร่งกลุ่มสินแร่ธรรมชาติ

ประกอบไปด้วยโลหะจำพวก alkaline earth oxide (CaO และ/หรือ MgO) เป็นหลัก และรวมไปถึง calcites, magnesites และ calcined dolomites (CaCO₃,MgCO₃) ซึ่งจะอยู่ในรูปเกล็ดของคาร์บอนต โดยความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุน, พื้นที่ผิว โดยการเพิ่มความว่องไวของตัวเร่งนั้นยังสามารถทำได้โดยเติม Ca/Mg ในอัตราส่วนต่างๆ.

ตัวเร่งชนิดนี้จะเสียสภาพ โดยเกิด coke ขึ้นรอบๆ พื้นผิว และขึ้นอยู่กับความดันของ CO_2 โดย Coke นั้นจะ block รูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ปริมาณ active site นั้นลดลง และเมื่อความดันของ CO_2 สูงเกินค่าสมดุล จะเกิดคาร์บอนที่ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ความว่องไวนั้นลดลง.

ส่วน Dolomite นั้นนิยมใช้ทั่วไป ด้วยราคาที่ถูกลง และให้ conversion ที่สูง และทนต่อการเสียสภาพจาก H_2S แต่มีความเปราะสูง ทำให้แตกง่าย เมื่อใช้ใน Fluidized bed ที่มี turbulence สูง.

2. ตัวเร่งชนิด Fluid catalytic cracking (FCC)

ตัวเร่งหลักที่ใช้ในปฏิกิริยานี้ คือ Zeolite โดยเกิดการหัก (break down) ของโมเลกุลที่ใหญ่ และซับซ้อน กลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง อาศัยความร้อนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา โดยไม่ต้องใช้แก๊สไฮโดรเจนในปฏิกิริยา ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำมันหนัก (heavy oil) ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น และตัวเร่งชนิดนี้ยังมีราคาถูกลง แต่จะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วโดยเกิด coke บนพื้นผิว.

3. ตัวเร่งกลุ่ม Transition metal-based

เป็นตัวเร่งที่ใช้ในปฏิกิริยา ทั้ง steam และ dry reforming ของ methane และ hydrocarbon โดยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินานั้น มีราคาที่สูงกว่า และยังมี ความว่องไวเท่าๆ กันกับธาตุอื่นๆ (Pt, Ru และ Rh).

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาออกไซด์ ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$) เนื่องจากโลหะนิกเกิล (Ni) มีคุณสมบัติเป็นโลหะทรานซิชัน และมีราคาถูกลง จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวรองรับเลือกใช้ตัวรองรับอะลูมินาออกไซด์ เนื่องจากตัวรองรับที่ใช้มีคุณสมบัติที่มีพื้นที่ผิวที่สูงเหมาะสำหรับการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นที่ผิว.

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา, ส่วนที่สองการสังเคราะห์น้ำมันดินจากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ยูคารลิปตัส, ส่วนที่สามการทดลองการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินโดยใช้เครื่อง Parr โดยรายละเอียดของการทดลองประกอบไปด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันดินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ และคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน เช่น การวิเคราะห์โดยละเอียด (ultimate analysis), ค่าความร้อน (heating value) ของน้ำมันดินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ.

2.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Impregnation method)

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานี้ได้ใช้โลหะนิกเกิลจากสารประกอบนิกเกิลไนเตรทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับอะลูมินาบอล (alumina ball) ขนาด 4-8 มิลลิเมตร ด้วยการแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. นิกเกิลไนเตรต ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
2. น้ำกลั่น
3. เม็ดอะลูมินาบอล (Activated ball) ขนาด 4-8 มิลลิเมตร
4. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
5. ตู้อบ
6. เตาเผา

ขั้นตอนการสังเคราะห์

1. ชั่งอะลูมินาบอล ปริมาณ 50 กรัม เพื่อใช้เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเคลือบโลหะนิกเกิล ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวของอะลูมินาบอลนี้



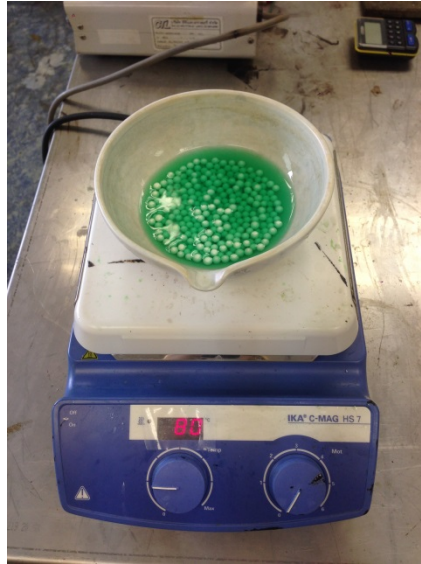
รูปที่ 2.1 เม็ดอะลูมินาบอล.

2. เตรียมสารละลายนิกเกิลไทเทรตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร



รูปที่ 2.2 สารละลายนิกเกิลไทเทรตความเข้มข้น 1 โมลาร์.

3. ใส่สารละลายนิกเกิลไทเทรต ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ลงในเม็ดอะลูมินาบอลที่ซั้งไว้ ทำการแช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอล.



รูปที่ 2.3 การแช่เม็ดอะลูมินาบอลในสารละลายนิกเกิลไทเทรตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.



รูปที่ 2.4 ลักษณะตัวรองรับอะลูมินาบอลที่จุ่มเคลือบนิกเกิลไทเทรตหลังการอบ.



รูปที่ 2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอลหลังการแคลไซด์.

2.2 การสังเคราะห์น้ำมันดิน

ตัวอย่างน้ำมันดินได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสไม้ยูคารลิปตัส ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ด้วยเตาคาร์บอนไนต์โดยปราศจากอากาศ เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีน้ำมันดินในระบบ ไม้ยูคารลิปตัสถูกเตรียมให้ป็นท่อนเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และยาว 1 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.6 อุปกรณ์การกลั่นสลายชีวมวลเป็นน้ำมันดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8.



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างไม้ยูคาริปต์สท่อนเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และยาว 1 นิ้ว.



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์การกลั่นสลายชีวมวลเป็นน้ำมันดิน.



รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์เก็บน้ำมันดิน.

2.3 การทดลองการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้เครื่อง Parr

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

1. ชุดอุปกรณ์เครื่อง Parr
2. น้ำมันดิน (ทาร์)
3. แก๊สไฮโดรเจน (H_2)
4. แก๊สไนโตรเจน (N_2)
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบชุดอุปกรณ์เครื่อง Parr พร้อมใส่น้ำมันดินปริมาตร 400 และ 600 มิลลิลิตร ตามลำดับ และใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ลงในเครื่องปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8.



รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์เครื่อง Parr และการประกอบชุดอุปกรณ์.

2. เปิดแก๊สไนโตรเจนปรับแรงดันไว้ที่ 7 บาร์ และเปิดแก๊สไฮโดรเจนปรับอัตราการไหลไว้ที่ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และทำการกวนที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที.

3. เปิดสวิตช์เครื่องทำความเย็นและปั้มน้ำ เพื่อใช้ในส่วนของการควบแน่นแก๊สให้เป็นของเหลว.
4. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำและน้ำส้มควันไม้ ออกเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ จากนั้น ทำการปรับอุณหภูมิที่ 280 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ.



รูปที่ 2.10 น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน.

5. ทำการเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินที่ได้เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติ เช่น การวิเคราะห์โดยละเอียด (ultimate analysis) เพื่อหาค่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน และวิเคราะห์ค่าความร้อน (heating value) ด้วยเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter).



รูปที่ 2.11 เครื่องมือวิเคราะห์ C, H และ N.



รูปที่ 2.12 เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความร้อน.

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ผลิตเป็นน้ำมันอากาศยาน ด้วยการใช้ตัวเร่งเป็นโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอล โดยมีปริมาณโลหะนิกเกิล เป็นร้อยละ 7 ของตัวรองรับ และมีพื้นที่ 350 ตารางเมตรต่อกรัม.

3.2 การสังเคราะห์น้ำมันดิน

ตัวอย่างน้ำมันดินถูกสังเคราะห์มาจากกระบวนการไพโรไลซิสไม้อยูคาร์ลิปตัส ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำมันลดลงเมื่ออุณหภูมิของการคาร์บอนไนต์เพิ่มขึ้น และค่าความร้อนในน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิของการคาร์บอนไนต์ นอกจากนี้ ยังพบว่าองค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน ในน้ำมันดินมีค่าใกล้เคียงกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่อุณหภูมิของการคาร์บอนไนต์แตกต่างกัน

คุณสมบัติ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของการคาร์บอนไนต์		
	400	500	600
Yield ของน้ำมันดิน, ร้อยละ	7.8	7.0	6.7
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	6,157	6,208	6,311
คาร์บอน, ร้อยละ	58.3	59	59
ไฮโดรเจน, ร้อยละ	7.6	7.8	7.8
ออกซิเจน, ร้อยละ	34.1	33.2	33.2

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.1 พบว่า ที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นน้ำมันดินที่ได้จะมีโครงสร้างเปลี่ยนไปโดยมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มจำนวนวงแหวนมากขึ้น Elliott และ Milne ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และพบว่า ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส น้ำมันอยู่ในรูป mixed oxygenates, phenolic ether, alkyl phenolics, heterocyclic ether, polycyclic aromatic hydrocarbon ตามลำดับ ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตาม

อุณหภูมิทางเพิ่มขึ้นเช่นกัน ตามที่องค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันดินมีปริมาณสูง ดังนั้น น้ำมันดินที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิส จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน.

2.4 การสังเคราะห์น้ำมันอากาศยาน

น้ำมันดินจากกระบวนการไพโรไลซิสไม่ยูคาร์ลิปต์สได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์น้ำมันอากาศยาน ด้วยกระบวนการกำจัดออกซิเจน (deoxygenation) ออกจากโมเลกุลของน้ำมันดิน โดยการป้อนไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ออกซิเจน และควบคุมความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยการควบคุมความดันที่ 7 บาร์ อัตราการป้อนไฮโดรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยามีผลต่อ Yield ของน้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2 ถึง 3.3.

ตารางที่ 3.2 ผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาต่อ yield (ร้อยละ)

คุณสมบัติ	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	
	200	300
Yield (%)	12.67	21.50

ตารางที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	170	170-280	280
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	6670	7935	8380
คาร์บอน, ร้อยละ	63.2	71.6	75.5
ไฮโดรเจน, ร้อยละ	7.9	8.4	8.5
ออกซิเจน, ร้อยละ	28.9	20	16

จากตารางที่ 3.3 พบว่า ค่าความร้อนสูงและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของออกซิเจนลดลง การกำจัดออกซิเจนออกจากโมเลกุลไม่ได้ แสดงว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้ยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์เป็นน้ำมันอากาศยาน.

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันอากาศยานจากชีวมวล ด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส ตัวอย่างน้ำมันดินจากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ยูคาลิปตัสได้ถูกนำมาใช้เป็นในการสังเคราะห์น้ำมันอากาศยาน ด้วยกระบวนการกำจัดออกซิเจน (deoxygenation) ออกจากโมเลกุลของน้ำมันดินซึ่งเดิมน้ำมันดินมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 34, คาร์บอนร้อยละ 58 และไฮโดรเจนร้อยละ 7.8 การกำจัดออกซิเจนโดยการป้อนไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ออกซิเจน และควบคุมความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยการควบคุมความดันที่ 7 บาร์, อัตราการป้อนไฮโดรเจน 50 มิลลิลิตรต่ออนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาบอล พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 66 มีผลทำให้ Yield ของน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ จาก 170, 170 ถึง 280, 280 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6670, 7935 และ 8380 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ อุณหภูมิดังกล่าวมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยคาร์บอนเพิ่มจากร้อยละ 63.2, 71.6 และ 75.5 ตามลำดับ ไฮโดรเจนเพิ่มจากร้อยละ 7.9, 8.4 และ 8.5 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 28.9, 20 และ 16 ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้ยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์เป็นน้ำมันอากาศยาน เนื่องจากยังคงมีออกซิเจนออกในโมเลกุลของน้ำมันชีวภาพ.

5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

วว. ได้พัฒนาการผลิตน้ำมันอากาศยานจากชีวมวล เพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งกำลังจะหมดไปในอนาคต รวมถึงเป็นการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับนโยบายเฉพาะด้านการวิจัยและพัฒนาของกองทัพอากาศที่เน้นการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวกับการปฏิบัติภารกิจพลังงานทางเลือก และนโยบายของรัฐบาลที่ให้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ ผลักดันให้ผลิตและใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศ ขณะนี้หลายประเทศได้ให้ความสำคัญกับงานการวิจัยและพัฒนาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อนำไปใช้กับอากาศยาน ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณลักษณะเฉพาะ มีความโดดเด่นสูงในด้านสมรรถนะและต้องให้เกิดความปลอดภัยในการทำการบินสูง ซึ่งงานวิจัยของ วว. ได้สรุปผลการทดลองในบทก่อนหน้า และ วว. ต้องใช้เวลาในการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำมันอากาศยาน เพื่อให้ใช้เป็นน้ำมันอากาศยานต่อไป.

6. ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันอากาศยานจากชีวมวล ด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส ซึ่งน้ำมันชีวภาพได้จากดินน้ำมันดินมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะทำให้น้ำมันดังกล่าวอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศได้ตลอดเวลา แต่จากผลการทดลองปริมาณออกซิเจนมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และมีโอกาสได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพื่อเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้น การพัฒนาเพื่อให้ได้น้ำมันอากาศยานต้องศึกษาหาวิธีการกำจัดออกซิเจนเพื่อให้ได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แล้วจึงปรับโครงสร้างโมเลกุลให้เป็นโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันอากาศยาน.

7. เอกสารอ้างอิง

- มูลศรีแก้ว, วรดาณ. 2551. การผลิตน้ำมันชีวภาพจากซังข้าวโพด ต้นสับดำ และกากผลมะนาว และปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำพนธ์, วันมงคล. 2555. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพโดยตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Mo, Co/Mo/Fe, Co/Mo/Ni บน SUZ-4 และ ZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Binlin, D., Weiguo, P., Jianxing, R., Bingbing, C., Jungho, H., and Tae-U, Y., 2008, Removal of tar component over cracking catalysts from high temperature fuel gas, *Energy Conversion & Management*, **49**, pp. 2247-2253.
- Chunshan, L., and Kenzi, S., 2008. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification-An overview, *Renewable and Sustainable Reviews, Models RSER-525*, p. 11,
- Derick, G.B., Lovleen, G., Tae-Hyung, K.H., Keith, M-Y., and Andrew, J.C., 2006. Comparative assessment of coal tars obtained from 10 former manufactured gas plant sites in the Eastern United States. *Chemosphere*, **65**, pp. 1562-1569.
- Daravell, L.I., Heiskanen, K., Jones, J.M., Ross, A.B., Simell, P., and Williams, A., 2003. An investigation of alumina-supported catalysts for the selective catalytic oxidation of ammonia in biomass gasification. *CATALYSIS TODAY*. **81**, pp. 681-692.
- Han, J. and Kim, H., 2008. The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis : An overview, *Renewable and Sustainable Reviews*, **12**, pp. 397-416.
- Jaime, M., Faundez Ximena, A., Garcia, and Alfredo L., 2001. Gordon. A kinetic approach to catalytic pyrolysis of tars. *FUEL PROCESSING TECHNOLOGY*, **69**, pp. 239-256.
- Jun, H., and Heejoon, K., 2008. The reduction and control technology of tar during biomass gasification /pyrolysis: An overview. *Renewable and Sustainable Reviews*. **12**, pp. 397-416.

- Li, X.T. *et al.*, 2004, Biomass gasification in circulation Fluidized bed, *Biomass Bioenergy*, **26**, pp.171-193.
- Priecel, P., Capek, L., Kubicka, D., Homola, F., Rysanek, P. and Pouzar, M., 2010. The role of alumina support in the deoxygenation of rapeseed oil over NiMo-alumina catalysts. *Catalyst Today*.
- Ponzio, A., Kalisz, S. and Blasiak, W., 2006. Effect of operations on tar and gas composition in high temperature air/steam gasification (HTAG) of plastic containing waste, *Fuel Processing Technology*, **87**, pp. 223-408.
- Sensoz, S., Demiral, I. and Ferdi Gercel, H., 2006. Olive bagasse (*Olea europea* L.) pyrolysis. *Bioresource Technology*, **97**, pp. 429-436.
- Stefano, R., 2003, The impact of catalytic materials on fuel reformulation, *Catalysis Today*, **77**, pp. 467-484.
- Thiam, L.C., and Subhash, B., 2008, Catalytic processes towards the production of biofuels in a palm oil and oil palm biomass-based biorefinery, *Bioresource Technology*, **99**, pp. 7911-7922.
- Takeo, K., Tomohisa, M., Jin, N., Shigeru, K., Kado, O., Toshihiro, M., Shuichi, N., Kimio, K., and Keiichi, T., 2006. Development of Ni catalysts for tar removal by steam gasification of biomass. *Applied Catalysis B: Environmental*, **68**. pp.160-170.
- Zhang, H. and Wang, J., 2007. Oil from biomass corncob tar as fuel. *Energy Conversion and Management*, **48**, pp.1715-1757.