



โครงการวิจัยที่ ภ.56-10/ย.2/รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

# การปรับปรุงการผลิตน้ำมันชีวมวลคุณภาพ ด้วยกระบวนการความร้อนสูงสำหรับเตาเผาเซรามิก



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ.56-10

การเพิ่มประสิทธิภาพแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล  
ในการเผาเซรามิกอุณหภูมิสูง

โครงการย่อยที่ 2

การปรับปรุงการผลิตน้ำมันชีวมวลคุณภาพด้วยกระบวนการ  
ความร้อนสูงสำหรับเตาเผาเซรามิก

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การปรับปรุงการผลิตน้ำมันชีวมวลคุณภาพด้วยกระบวนการ  
ความร้อนสูงสำหรับเตาเผาเซรามิก

โดย

บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล

ศรัทธา วัฒนธรรม

พิชัย วงศ์หาญ

ประวิทย์ เทพนุ้ย

พงษ์ศักดิ์ หงส์เจริญศรี

นภาพร ชาญเจริญลาภ

บรรณาธิการ

อลิสรา คูประสิทธิ์

บุญเรียม น้อยชุมแพ

วว., ปทุมธานี 2560

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย  
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(นางลักขมี ปลั่งแสงมาศ)

ผู้ว่าการ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิชาการ และพนักงาน ตลอดจนลูกจ้างของ วว. ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่เสียสละเวลา และให้ความร่วมมือจนการดำเนินโครงการบรรลุเป้าหมาย.

ขอขอบคุณ คุณจิราวัฒน์ รอดเข้ม รักษาการผู้อำนวยการกองติดตามและประเมินผล ที่ได้วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ทำให้โครงการสำเร็จตามวัตถุประสงค์.

## รายชื่อคณะทำงานโครงการ

หัวหน้าโครงการ	นางปริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล
การทดลอง และ การเก็บรวบรวมผลข้อมูล	นายศรัทธา วัฒนธรรม นายพิชัย วงศ์หาญ นายประวิทย์ เทพนุ้ย นายพงษ์ศักดิ์ หงส์เจริญศรี นางสาวนภพร ชาญเจริญลาบ
บุคลากรสนับสนุน (ผู้ทำงานด้านธุรการ ผู้ช่วยห้องปฏิบัติการ และช่างเทคนิค)	นางสาวบุญณิสสา เสืองาม นางสาวโชติกา คงสมบูรณ์
การรวบรวม และ จัดทำเอกสารระบบมาตรฐาน ISO	นางปริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล นางสาวนภพร ชาญเจริญลาบ นางสาวบุญณิสสา เสืองาม นางสาวโชติกา คงสมบูรณ์
การวิเคราะห์ และ สรุปประเมินผลนางปริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล	
การเขียนรายงาน	นางปริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
รายชื่อคณะกรรมการ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	19
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์	28
4. สรุปผลการวิจัย	33
5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	34
6. ข้อเสนอแนะ	35
7. เอกสารอ้างอิง	36

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของแก๊สสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวล	7
ตารางที่ 1.2 สารประกอบของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นตัวในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง จำพวกไม้ และของเหลือทิ้งชีวมวลที่อุณหภูมิต่างกัน	13
ตารางที่ 1.3 การจัดลำดับของน้ำมันดิน	14
ตารางที่ 1.4 จุดเดือดและสูตรโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิน	14
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพกับน้ำมันดินและไม้	29
ตารางที่ 3.2 สารประกอบในน้ำมันดิน	30
ตารางที่ 3.3 สารประกอบในน้ำมันชีวภาพ	31

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ผลของออกซิไดซ์ต่อ adiabatic reaction temperature	8
รูปที่ 1.2 ปฏิริยาการเกิดน้ำมันดินจากชีวมวล	10
รูปที่ 1.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันดิน	11
รูปที่ 1.4 โครงสร้าง Heterocyclic aromatic ของน้ำมันดิน	12
รูปที่ 2.1 ตัวเร่งปฏิริยาเหล็กนิกเกิลบนตัวรองรับแอคทิเวเต้ดอะลูมินา	20
รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์กลั่นแบบธรรมดาด้วยสารเร่งปฏิริยา	21
รูปที่ 2.3 การกลั่นตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส	22
รูปที่ 2.4 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส	22
รูปที่ 2.5 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส	23
รูปที่ 2.6 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 330 ถึง 350 องศาเซลเซียส	23
รูปที่ 2.7 การกลั่นแยกน้ำมันดินในระดับกึ่งนำทางที่อุณหภูมิ 150 ถึง 350 องศาเซลเซียส	24
รูปที่ 2.8 เครื่องมือวิเคราะห์ C, H และ N	25
รูปที่ 2.9 เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความร้อน	25
รูปที่ 2.10 เครื่องแมส-สเปกโตรสโกปี (GC-MS)	26
รูปที่ 2.11 ชุดหัวเผา น้ำมันเชื้อเพลิง	27
รูปที่ 2.12 ห้องเผาไหม้ต้นแบบพร้อมชุดหัวเผา	27
รูปที่ 3.1 การกระจายตัวของโลหะเหล็กและนิกเกิลบนตัวรองรับ	28
รูปที่ 3.2 พิกของสารประกอบในน้ำมันดิน	29
รูปที่ 3.3 พิกของสารประกอบในน้ำมันชีวภาพ	30
รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบการใช้น้ำมันชีวภาพร่วมกับแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล และการการใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สหุงต้ม	32



# BIO-OIL UPGRADING IN CERAMIC FURNACE

Borisut Chantrawongphaisal, Satta Watanatham, Pichai Wongharn,  
Pravit Thapnui, Phongsak Hongcharoensri and Napaporn Chanchaoenlap

## ABSTRACT

TISTR by Energy Technology Division carried out a study to improve quality of tar from biomass gasification process. The distillation process with catalyst was used to up grading the quality of tar in order to modify bio-oil product with high heating value and low viscosity. The results showed that the bio-oil product has high heating value ranged between 3,800 kcal/kg to 6,500 kcal/kg and the viscosity reduced from 4,700 to 81 centistoke (cts). It was also found that the chemical composition in group of hydrogen and carbon were increased. In addition, catalyst effect on composition structure of bio oil was found with dramatically change on the molecular weight of bio oil product caused by the polymerization intra molecule of bio oil product. The bio-oil was used as fuel for heating in pottery kiln. The use of biofuels together with the synthesis gas from biomass can raise the temperature in the furnace up to 850 °C.

# การปรับปรุงการผลิตน้ำมันชีวมวลคุณภาพด้วยกระบวนการความร้อน สูงสำหรับเตาเผาเซรามิก

บริสุทธิ จันทรวงศ์ไพศาล<sup>1</sup>, ศรัทธา วัฒนธรรม<sup>1</sup>, พิชัย วงศ์หาญ<sup>1</sup>, ประวิทย์ เทพนุ้ย<sup>1</sup>,  
พงษ์ศักดิ์ หงส์เจริญศรี<sup>1</sup> และ นภาพร ชาญเจริญลาภ<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

ว. โดย ผทพ. ได้พัฒนาการเพิ่มคุณภาพน้ำมันดิน โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันดินจากระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล โดยผ่านการกลั่นแยกสารประกอบในน้ำมันดินด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนสูงและความหนืดลดลง ผลการทดลองพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นจากเดิม 3800 kcal/kg เพิ่มเป็น 6500 kcal/kg และความหนืดลดลง จากเดิม 4,700 เซ็นติสโตก (cts) เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพค่าความหนืดลดลงเหลือ 81 cts และพบว่าองค์ประกอบทางเคมี จำพวกไฮโดรเจน และคาร์บอน ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สารประกอบในน้ำมันชีวภาพมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลง โดยขนาดของโมเลกุลมีทั้งเล็กลงและใหญ่ขึ้น อาจเกิดเนื่องจากการเกิดโพลีเมอร์ไรด์เซชัน (polymerization) ในโมเลกุลของน้ำมันชีวภาพจึงทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปอย่างมาก น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน ได้ถูกนำไปทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตความร้อนเพิ่มในเตาเผาดิบเครื่องปั้นดินเผา โดยใช้ น้ำมันชีวภาพร่วมกับแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาได้สูงถึง 850 องศาเซลเซียส.

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

# 1. บทนำ

## 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternate Energy Development Plan, AEDP) เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นพลังงานหลักของประเทศ ทดแทน การนำเข้าน้ำมันได้ในอนาคต เสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ สนับสนุน อุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ และเพื่อวิจัยพัฒนาส่งเสริมเทคโนโลยี พลังงานทดแทนสัญชาติไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดสากล และส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือใน การพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร จากสถานภาพพลังงานทดแทนปี 2557 การใช้ พลังงานทดแทนจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60 ของการใช้ พลังงานทดแทนทั้งหมด อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญที่สร้างรายได้ให้กับ ประเทศสูง แต่ต้องเผชิญภาวะต้นทุนที่สูงขึ้น โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงาน ซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงจาก ก๊าซ LPG และก๊าซ NGV ในการผลิต ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง ร้อยละ 60 และมี แนวโน้มจะยิ่งสูงขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ผู้ประกอบการเสียเปรียบในการแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดโลก อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดย่อมและขนาดกลาง จำนวนมากกว่า 2,000 โรงงาน ซึ่งอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานความร้อนสูงถึงร้อยละ 99 ของ พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตและต้องการอุณหภูมิสูงที่ 800 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ถือ ว่าเป็นจุดอ่อนของ อุตสาหกรรมนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเชื้อเพลิง LPG ลอยตัวตามตลาดโลก ซึ่งทำ ให้เกิดความผันแปรของต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพมี ความก้าวหน้าสูง สามารถให้ค่าความร้อนสูงของแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลได้ และสามารถทดแทน LPG ได้มากถึงร้อยละ 50.

วว. ได้ศึกษาวิจัยการผลิตแก๊สชีวภาพจากชีวมวลโดยติดตั้งที่โรงงานเรืองศิลป์ จังหวัด ราชบุรี ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเซรามิก แก๊สสังเคราะห์ชีวภาพที่ผลิตได้ยังคงมีปัญหาเรื่องปริมาณความ ร้อนที่ใช้ในการเผาตีเครื่องปั้นดินเผาสูงพอ และยังคงต้องใช้ร่วมเชื้อเพลิง LPG เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ให้สูงตามต้องการ, ดังนั้น วว. จึงได้พัฒนาการสังเคราะห์สารเร่งปฏิกิริยาเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันชีวมวลเพื่อใช้กับเตาเผาเซรามิก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวปรับคุณภาพน้ำมันดินให้มีค่า ความร้อนสูงขึ้น, ความหนืดลดลง และสามารถพ่นเข้าเตาเผาเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก ดังนั้น การนำน้ำมันดินจากกระบวนการสังเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลไปเพิ่มคุณภาพให้สูงขึ้นจะ สามารถทดแทนเชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าชีวมวลให้สูงขึ้น.

## 1.2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันดินเป็นสารปนเปื้อนหลักในกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลโดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) สารปนเปื้อนดังกล่าวหรือที่เรียกว่าน้ำมันดิน ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับน้ำมันเชื้อเพลิงคือสามารถติดไฟได้ มีธาตุคาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ แต่น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้มีโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันดินเป็นพวกออกซิเจนเนต จึงมีความหนืดสูง จึงทำให้ติดไฟได้ยาก ในขณะที่น้ำมันดินมีค่าความร้อนสูง, ดังนั้น จึงมีนักวิจัยเป็นจำนวนมากสนใจที่จะศึกษากระบวนการและเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำมันดิน เช่น การใช้สารเร่งปฏิกิริยา (catalytic) เพื่อเพิ่มค่าความร้อน และลดความหนืดของน้ำมันดินลง เป็นต้น.

Encinar *et. al.* (2000) ได้ทดลองไฟโรไลซิส *C cardunculus* L. ได้ผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของแข็ง, ของเหลว และแก๊สปริมาณผลผลิต ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก ในทางปฏิบัติแล้วผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ขนาดของชีวมวล อัตราการไหลของไนโตรเจน และน้ำหนักของชีวมวลที่ใช้เริ่มต้นภายใต้สภาวะที่สภาวะศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำมันดินจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นคือเพิ่มจาก 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส Stefano (2006) ได้สำรวจความคิดเห็นในส่วนของผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการกำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิง โดยมุ่งเน้นที่บทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยา การเลือกตัวอย่างที่สำคัญ แม้ว่าขั้นสุดท้ายจะไม่ถึงการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องรวมกับเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมและทำงานภายใต้สภาพการดำเนินงาน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและผลผลิตของน้ำมันดิน Ponzio *et. al.* (2006) ได้ศึกษาองค์ประกอบของก๊าซและน้ำมันดินจากกระบวนการ High temperature air/steam gasification-ของไม้ และ พลาสติก ด้วยวิธีการลดและเพิ่มอากาศที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดง การเพิ่มของอุณหภูมิเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการย่อยสลายน้ำมันดิน ได้แก่ สารประกอบอะโรมาติก เช่น Phenolic compound paraffines olefins และ Alkylated aromatics เป็นต้น. Dupont *et. al.* (2007) ได้ศึกษากระบวนการไฟโรไลซิสเร็วของชีวมวลที่อุณหภูมิสูงถึง 1073-1273 เคลวิน โดยมีอัตราการเพิ่มของความร้อนที่ 500 เคลวินต่อวินาที โดยใช้ชีวมวลขนาด 0.4 ถึง 1.1 มิลลิเมตร ด้วยการควบคุมเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 0.7 และ 3.5 วินาที พบว่าขนาดของชีวมวลมีผลต่อการเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สและของเหลว ที่ขนาดชีวมวล 0.4 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 0.5 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มากกว่าร้อยละ 70 เป็นแก๊ส ร้อยละ 40 ของคาร์บอนอยู่ในรูปของคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปแก๊สไฮโดรเจน น้ำ และไฮโดรคาร์บอนเบา. Zhang and Wang (2007) นำน้ำมันดินที่ได้จาก

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลของซังข้าวโพด ไปกลั่นแยกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (B-oil I) และ 220 องศาเซลเซียส (B-oil II) ผลผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและมีทางเชื้อเพลิงเปรียบเทียบได้กับน้ำมันดีเซล ค่าการนำความร้อนของ B-oil I และ B-oil II คุณสมบัติเท่ากับร้อยละ 85.6 และ 87.3 ของค่าความร้อนน้ำมันดีเซล แล้วนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ แล้วนำน้ำมันที่ได้จากการผสมไปทดสอบกับเครื่องยนต์ ผลการทดสอบพบว่าสามารถการใช้งานกับเครื่องยนต์ได้ แสดงให้เห็นว่า B-oil I และ B-oil II สามารถใช้ลดการใช้ น้ำมันดีเซล ได้ร้อยละ 10 ถึง 20. Han and Kim (2008) ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณน้ำมันดินหรือวิธีการกำจัดน้ำมันดินที่ใช้ชีวมวลในกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่เป็นอุปสรรคใหญ่ที่สุดในการใช้ประโยชน์จากชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า บนพื้นฐานของลักษณะการลดและการกำจัดน้ำมันดิน ได้เสนอวิธีการกำจัดน้ำมันดินโดยคำนึงถึงข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 5 วิธี ดังนี้ (1) วิธีการทางกล (Mechanism methods) สามารถกำจัดน้ำมันดินและอนุภาคเล็กๆ ได้ ประมาณร้อยละ 40-99. อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ใช้ในการกำจัดน้ำมันดินเท่านั้น ซึ่งการกำจัดน้ำมันดินด้วยวิธีนี้จะทำให้สูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงในรูปของน้ำมันดิน, (2) Self-modification methods เป็นวิธีการลดปริมาณน้ำมันดินได้น้อย แต่วิธีการนี้สามารถเปลี่ยนน้ำมันดินเป็นก๊าซเชื้อเพลิง, (3) Thermal cracking ใช้ได้ผลดี ที่อุณหภูมิของกระบวนการสูงถึงจุดที่จะทำให้ น้ำมันดินสลายตัว วิธีนี้จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเพราะต้องให้ความร้อนสูงเพื่อไปสลายโมเลกุลของน้ำมันดิน, (4) Catalytic cracking มีความเหมาะสมกับการสลายน้ำมันดินที่อุณหภูมิไม่สูงมาก แต่ข้อด้อยสารเร่งปฏิกิริยาประเภท Ni-based และ โลหะแอลคาไล จะลดความไวหรือเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา เมื่อผิวของสารเร่งปฏิกิริยามีการเกาะของคาร์บอนหรือ สารประกอบซัลเฟอร์ (deposited carbon และ H<sub>2</sub>S), (5) Plasma technology สามารถกำจัดได้ NO<sub>x</sub> และ SO<sub>2</sub> และยังลดองค์ประกอบของน้ำมันดินในระหว่างกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวล. Li and Suzuki (2008) ได้รวบรวมรายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพโดยรวมของน้ำมันดิน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาณผลผลิต ของน้ำมันดินจากกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งปริมาณผลผลิตของน้ำมันดินจะค่อยๆ ลดลงจากร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวล. นอกจากนี้ Li and Suzuki ยังได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับกลไกและกลศาสตร์ของปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันดิน. Dimitratos and Lopez-Sanchez (2009) ได้ทบทวนถึงการใช้วัสดุทดแทนที่ได้จากชีวมวลเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งจะเลือกพิจารณาบางตัวและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดออกซิเดชันของกลูโคส และกลีเซอรอล โดยใช้อนุภาคทองคำ supported บนคาร์บอน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้ ออกซิเดชันของกลีเซอรอลโดยใช้ทองและโลหะผสมทอง-แพลเลเดียม ผลการทดลองพบว่าโลหะผสม

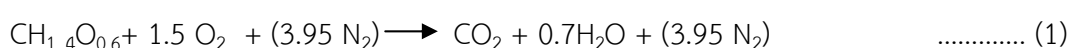
ทองแพลเลเดียม มีประสิทธิภาพสูงในการออกซิเดชันของแอลกอฮอล์และสังเคราะห์ไฮโดรเจนเพอรอกไซด์. Dalin (2012) ได้ทบทวนบทความกระบวนการพัฒนาสารเร่งปฏิกิริยาจำพวกโลหะนิกเกิล (Ni) บนตัวรองรับ (support) ออกไซด์ชนิดต่างๆ เช่น Ni /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni /ZrO<sub>2</sub>, Ni /TiO<sub>2</sub>, Ni/ CeO<sub>2</sub>, Ni /MgO เพื่อใช้ในกระบวนการรีฟอร์มมิ่งน้ำมันดินที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวล การศึกษาพบว่าออกไซด์แต่ละชนิดจะส่งผลต่อการเกิดแก๊สในปริมาณแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอเทียบกับกรณีการรีฟอร์มมิ่งน้ำมันดินโดยไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา พบว่าสารเร่งปฏิกิริยา Ni/0ZrO<sub>2</sub> , Ni/TiO<sub>2</sub>, Ni/CeO<sub>2</sub> , Ni /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , Ni /MgO จะเปลี่ยนรูปน้ำมันไปเป็นรูปอัตราส่วนแก๊สไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์สูงถึง 2.0 ,1.5, 1.4 , 0.7 , 0.4 ตามลำดับ.

## 1.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.2.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification process)

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปแก๊สเชื้อเพลิง (fuel gases) โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณสารออกซิไดซ์ หรือแก๊สออกซิเจนในอากาศ (oxygen, O<sub>2</sub>) หรือแก๊สออกซิเจนในไอน้ำ (steam) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide, CO) ก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen, H<sub>2</sub>) แก๊สมีเทน (methane, CH<sub>4</sub>) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) แก๊สไนโตรเจน (nitrogen, N<sub>2</sub>) และแก๊สอื่นๆ เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส (producer gas) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลเป็นกระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์, ดังนั้น ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนและสามารถเกิดผลิตภัณฑ์หรือแก๊สหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของชีวมวลและเทคนิคในการจำกัดปัจจัยต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ไม่ได้มีเพียงแต่แก๊สเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังมีของแข็งและสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด ได้แก่ ถ่านชาร์ (char) เถ้า (ash), น้ำมันดิน, (tar) และไอน้ำ เป็นต้น.

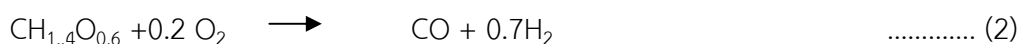
การเผาไหม้ชีวมวลมีความซับซ้อนกว่าทั้งย่อยสลายหรือการเปลี่ยนเป็นแก๊สของชีวมวล ซึ่งชีวมวลจะเกิดการย่อยสลายด้วยความร้อนก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นแก๊สหรือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อนที่จะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สมการรวมของการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเขียนได้ ดังนี้ :



เมื่อ CH<sub>1.4</sub>O<sub>0.6</sub> เป็นสูตรโมเลกุลโดยเฉลี่ยของชีวมวลทั่วไป

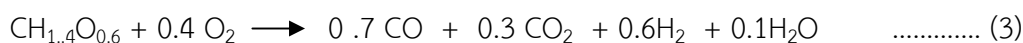
### คุณสมบัติทางเคมีของแก๊สชีวมวล

การเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ออกซิเจนหรืออากาศในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในปริมาณน้อยที่สุดเข้าไปในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งเพื่อให้ได้ส่วนประกอบของออกซิเจนในแก๊สเชื้อเพลิงกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO<sub>2</sub>) กับไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ดังสูตรในสมการที่ 2



จากสมการที่ 2 เมื่อชีวมวลเปลี่ยนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงทำให้มีพลังงานใน CO และ H<sub>2</sub> มากกว่าพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวล และการควบคุมปฏิกิริยาอาจมีการใช้ความร้อนจากแหล่งภายนอกซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยามีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น.

ในทางปฏิบัติต้องเพิ่มปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยา ดังนี้:



โดยปกติแล้วปริมาณแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) เกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เกินร้อยละ 2 และคุณสมบัติของแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 1.1.

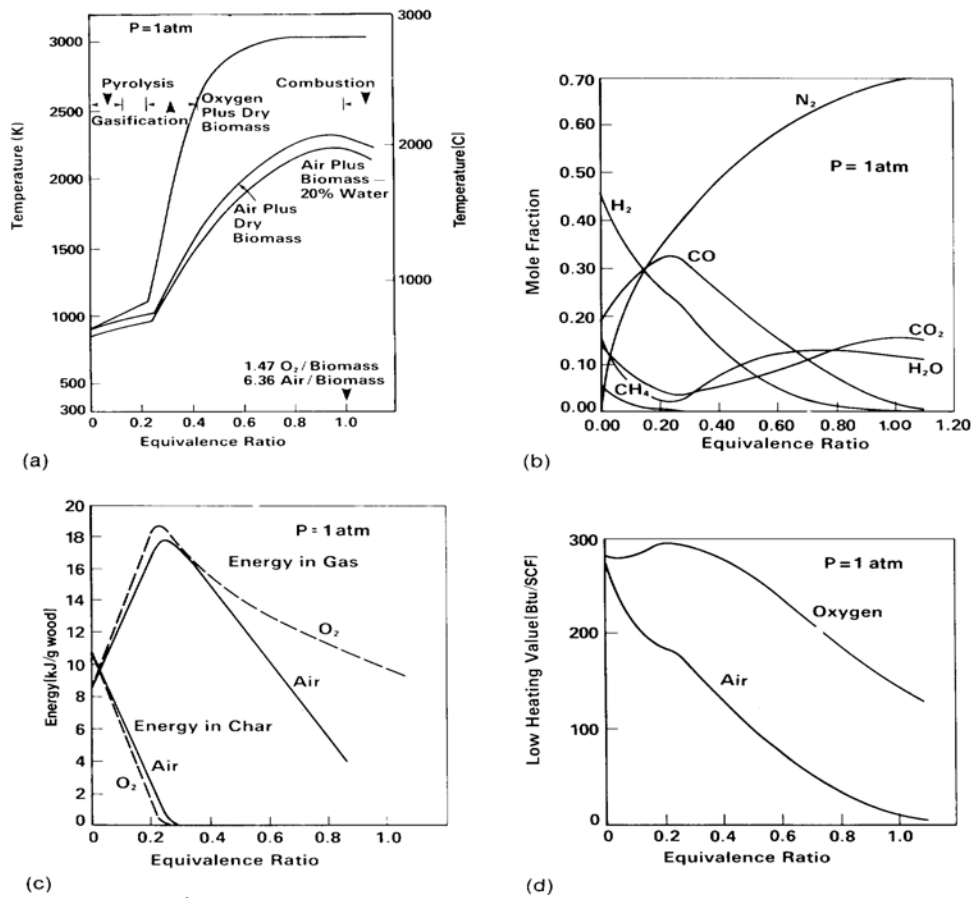
ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของแก๊สสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวล

องค์ประกอบ	ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ (ร้อยละ)	ปริมาณแก๊สสังเคราะห์แห้ง (ร้อยละ)
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	21.0	22.1
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	9.7	10.2
ไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> )	14.5	15.2
น้ำ (H <sub>2</sub> O)	4.8	-
มีเทน (CH <sub>4</sub> )	1.6	1.7
ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	48.4	50.8
ค่าความร้อนสูง (MJ/Nm <sup>3</sup> )	5.506	5.800

ที่อัตราส่วนของอากาศ 2.38 กิโลกรัมไม้ ต่อ 1 กิโลกรัมอากาศ

อุณหภูมิศาสตร์ของแก๊สซิฟิเคชัน

อุณหภูมิศาสตร์เปรียบเสมือนบัญชีพลังงาน ปฏิกริยาที่เฉพาะเจาะจงจะไม่สามารถใช้อุณหภูมิศาสตร์คาดการณ์ได้เสมอไป ตามที่ได้กล่าวข้างต้นว่าสมการที่ 2 เป็นไปไม่ได้ในทางอุณหภูมิศาสตร์ในกรณีที่ไม่มีความร้อนเพิ่มและสมการที่ 3 ต้องควบคุมปฏิกริยาและมีวิธีการกำหนดการควบคุมปฏิกริยาอย่างไร, การแปรสภาพเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นแก๊สที่อุณหภูมิสูง โดยปกติที่อุณหภูมิประมาณ 700-1,000 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบหลักของชีวมวลประมาณสามธาตุเท่านั้นที่มีเสถียรภาพในการรวมตัวกัน ได้แก่ คาร์บอน, ออกซิเจน และไฮโดรเจน สามารถรวมตัวได้เป็นสารประกอบคาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน, แก๊สไฮโดรเจน และน้ำ ปริมาณสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารประกอบเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นที่สมดุลของความดันและปริมาณของธาตุนั้นๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุลที่คำนวณมาจากคุณสมบัติอุณหภูมิศาสตร์ และอุณหภูมิ จึงจะสามารถกำหนดองค์ประกอบเพื่อรวมกันเป็นสารประกอบที่ค่าสมดุลและขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มเข้าไปในระบบการควบคุมอุณหภูมิด้วยออกซิเจนและอากาศดังแสดงในรูปที่ 1.1.



รูปที่ 1.1 ผลของออกไซด์ต่อ adiabatic reaction temperature.

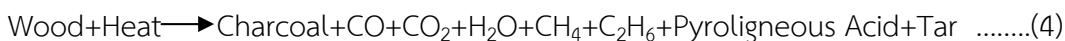


### กลไกการเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

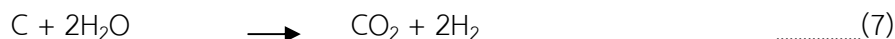
เชื้อเพลิงแข็งจำพวกชีวมวล ได้แก่ ไม้, แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในปริมาณจำกัดเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ การผลิตแก๊สชีวมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในด้านต่างๆ ได้แก่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของเตาเผา, สารตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวมวล และลักษณะของเตาที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวมวล โดยชีวมวลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพในแต่ละชั้น ดังนี้

1. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone) เป็นชั้นที่อยู่ด้านบนสุด มีหน้าที่อบแห้งและระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบด้วยความร้อน ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ประมาณ 40-200 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ความชื้นลดลงได้ประมาณร้อยละ 5 และค่าความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 30 เพื่อให้วัตถุดิบเชื้อเพลิงมีความแห้งและง่ายต่อการติดไฟ.

2. ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis or Distillation zone) ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนเพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ได้สารระเหยต่าง เช่น เมทานอล, กรดน้ำส้ม, น้ำมันดิน, แก๊สที่เผาไหม้ได้และเผาไหม้ไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้อุณหภูมิประมาณประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ของแข็งที่เหลืออยู่ในกระบวนการคือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังสมการที่ 4.



3. ชั้นรีดักชัน (Reduction zone) แก๊สร้อนที่ผ่านจากชั้นกลั่นสลายจะไหลผ่านมายังชั้นนี้ซึ่งปฏิกิริยาหลัก คือ ปฏิกิริยารีดักชัน อุณหภูมิในชั้นประมาณ 500-900 องศาเซลเซียส ในชั้นนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ เกิดปฏิกิริยาได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการที่ 5 ถึง 7.



ปฏิกิริยาที่ 2 , 3 และ 4 เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 500 - 900 องศาเซลเซียส ซึ่งจะผลิตแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลัก.

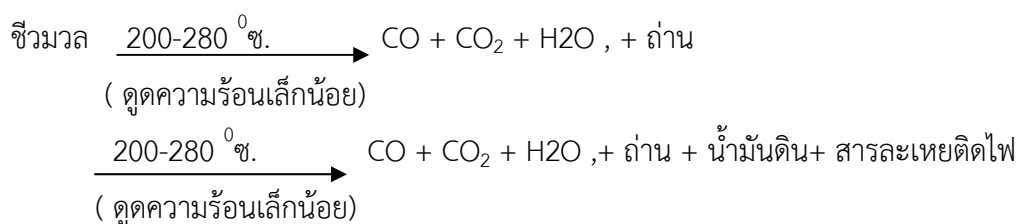
4. ชั้นเผาไหม้ (Combustion zone) ในชั้นนี้คาร์บอนที่เหลืออยู่บางส่วนและไฮโดรเจนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ ดังแสดงได้ดังสมการที่ 8 และ 9.



ปฏิกิริยาทั้งสองเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900-1,200 องศาเซลเซียส ความร้อนจากทั้งสองปฏิกิริยาจะถูกถ่ายเทต่อไปในชั้นอื่นๆ เพื่อให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาต่อไป.

### 1.2.2.3 น้ำมันดิน (tar)

น้ำมันดิน เป็นของเหลวสีดำข้นที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิส และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งน้ำมันดินจะเกิดจากการกลั่นตัวของชีวมวลที่อุณหภูมิตั้งแต่ 280-340 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 1.2.



รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดน้ำมันดินจากชีวมวล.

น้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นตาม ดังนั้น น้ำมันดินที่ได้จากการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิ 673 ถึง 923 องศาเซลวิน จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับไม้ มีค่าความร้อนสูงประมาณ 22 ถึง 26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิ 973 ถึง 1273 องศาเซลวิน จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าความร้อนสูงถึง 40 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิสูงดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งเป็นของเหลวข้น มีความหนืดสูง, สีน้ำตาลเข้ม และติดไฟยากเนื่องจากมีความหนืดสูง.

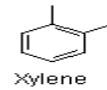
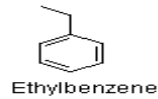
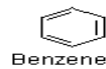


รูปที่ 1.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันดิน.

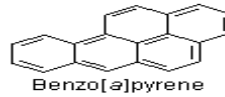
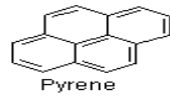
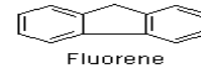
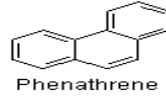
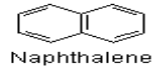
เนื่องจากน้ำมันดินประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวก Heterocyclic aromatic ที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมันดินติดไฟและที่ค่าความร้อนสูง โครงสร้าง ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 1.4 .

## Aromatic Hydrocarbons

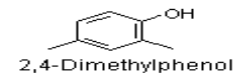
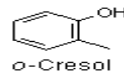
### BTEX



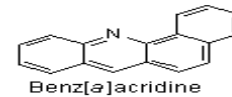
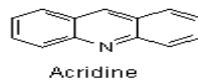
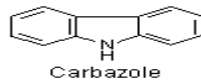
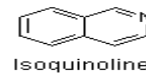
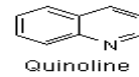
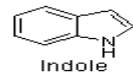
### Non-heterocyclic PAHs



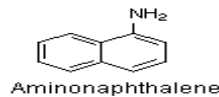
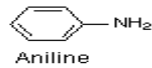
### Tar Acids / Phenolics



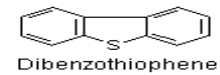
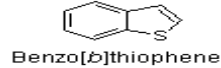
### Tar Bases / Nitrogen-containing Heterocycles



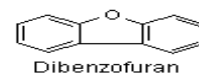
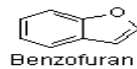
### Aromatic Amines



### Sulfur-containing Heterocycles



### Oxygen-containing Heterocycles



รูปที่ 1. 4 โครงสร้าง Heterocyclic aromatic ของน้ำมันดิน.

น้ำมันดินที่ได้จากกระบวนการกลั่นสลายชีวมวลที่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลต่อองค์ประกอบและโครงสร้างของน้ำมัน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นโครงสร้างของน้ำมันดินจะใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แสดงดังในตารางที่ 1.2.

ตารางที่ 1.2 สารประกอบของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นตัวในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง  
จำพวกไม้ และของเหลือทิ้งชีวมวลที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิปกติ 400-500 °ซ. (Conventional flash gyrolysis)	อุณหภูมิสูง 600-650 °ซ. (Hi- temperature Flash gyrolysis)	อุณหภูมิปกติ 700-800 °ซ. (Conventional gasification)	อุณหภูมิสูง 900-1000 °ซ. (Hi- temperature gasification)
Acid	Benzens	Naphthalenes	Naphthalenes
Aldehydes	Phenols	Acenaphthalenes	Acenaphthalenes
Ketone	Catechols	Fluorenes	Phenanthrenes
Furun	Naphthalene	Phenanthrenes	Fluoranthrene
Alcohols	Biphenyls	Benzaldehydes	Pyrene
Complex-Oxygenate	Phenanthrenes	Phenols	Acephenanthrylenes
Phenols	Benzofuruns	Naphatofurans	Benzanthracenes
Guaiacols	Benzaldehydes	Benzanthracenes	Benzopyrenes
Complex-Phenolics			

น้ำมันดินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน โครงสร้างอาจมีไฮโดรคาร์บอนแบบวงแหวนอะโรมาติก 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
	Light aromatic ring (1 ring)	สามารถกลั่นตัวและละลายได้ในตัว	Toluene, ethylbenzene, xylene, styrene
3	Light PAH compounds (2-3 rings)	ทำละลายบางชนิด กลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำ	Indene, naphthalene, methyl naphthalene, biphenyl, acenaphthalene, fluorine, phenanthrene, anthracene
4	Heavy PAH compounds (4-7 rings)	กลั่นตัวที่อุณหภูมิสูง	Fluoranthene, pyrene, chrysene, perylene, coronene

ตารางที่ 1.4 จุดเดือดและสูตรโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิน

สารประกอบในน้ำมันดิน	สูตรโมเลกุล	จุดเดือด (°ซ.)
Benzo(k)fluoranthene=11,12-Benzofluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.31
Benzo(f)fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.31
Benzo(g)perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276.33
Benzo(c)phenanthrene=3,4-Benzophenanthrene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29
Benzo(a)pyrene=1,2-Benzopyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.31
Benzo(e)pyrene=3,4-Benzopyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.31
Benzoquinoline	C <sub>13</sub> H <sub>9</sub> N	179.22
Benzothiophene	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> S	134.19
Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154.21

ตารางที่ 1.4 (ต่อ).

สารประกอบในน้ำมันดิน	สูตรโมเลกุล	จุดเดือด (°ซ.)
Catechol=1,2-Dihydroxybenzene	$C_6H_6O_2$	110.11
Cellulose	$(C_6H_{11}O_5)_n$	
Chrysene=1,2-Benzophenanthrene	$C_{18}H_{12}$	228.29
Coniferyl alcohol	$C_{10}H_{12}O_3$	180.20
Coronene= Hexabenzobenzene	$C_{24}H_{12}$	300.35
Coumaryl alcohol	$C_9H_{10}O_2$	150.17
o-Cresol=2-Hydroxytoluenem Cresol= 3-Hydroxytoluenep Cresol=4-Hydroxytoluene	$C_7H_8O$	108.13
Dibenzo(a,f)anthracene=1,2:7,8Dibenzanthracene	$C_{22}H_{14}$	278.35
Dibenzo (a,h) anthracene=1,2:5,6 Dibenzanthracene	$C_{16}H_{10}$	278.35
Dibenzo (f,h) anthracene=1,2:3,4 Dibenzanthracene	$C_{22}H_{14}$	278.35
Dibenzofurane	$C_{12}H_8O$	168.19
Fluoranthene=1,2 Benzacenaphtene	$C_{16}H_{10}$	202.25
Guaiacol=Catechol monomethy ether=3- Methoxyphenol	$C_7H_8O_2$	124.13
Indene	$C_9H_8$	116.16
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	$C_{22}H_{12}$	276.33
Indole	$C_8H_7N$	117.15
Isokinoline=Isoquinoline	$C_9H_7N$	129.16
Levoglucozan	$C_6H_{10}O_5$	162.14
Naphtacene=2,3-Benzanthracene	$C_9H_8$	228.29
Naphthalene	$C_{10}H_8$	128.17
Pyrrole	$C_4H_5N$	67.09
Quinoline=Benzo(b)pyridine	$C_9H_7N$	129.16
Styrene	$C_8H_8$	104.15
Sinapyl alcohol= Syringenin	$C_{11}H_{14}O_4$	210.22
Thiophene	$C_4H_4S$	84.13

ตารางที่ 1.4 (ต่อ).

สารประกอบในน้ำมันดิน	สูตรโมเลกุล	จุดเดือด (°ซ.)
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.14
Triphenylen=9,10-Benzophenanthreen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29
o-Xylene=1,2-Dimethylbenzenem Xylene=1,3-Dimethylbenzenep Xylene=1,4-Dimethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.16
Thiophene	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> S	84.13
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.14
Triphenylen=9,10-Benzophenanthreen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29
o-Xylene=1,2-Dimethylbenzenem Xylene=1,3-Dimethylbenzenep Xylene=1,4-Dimethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.16

#### 1.2.2.4 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกระบวนการกลั่นสลายชีวมวลนั้น จะก่อให้เกิด น้ำมันดิน ทั้งในสภาพที่เป็นไอ (bio-gas) และของเหลว (bio - oil) ซึ่งเป็นปัญหาในระบบท่อขนส่งแก๊สที่ออกจาก เตาเผา ทำให้เกิดการอุดตันภายในท่อ และน้ำมันดินก็ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาของน้ำมันดินที่เกิดขึ้นจะต้องทำกระบวนการเปลี่ยนรูป (reforming) หรือสลายตัว (cracking) ด้วยวิธีการให้ความร้อนสูงหรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการช่วยลดอุณหภูมิของปฏิกิริยาลงได้.

การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี เป็นกระบวนการทางเคมีที่ต้องการเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันด้วยการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมัน เช่น การแปรหรือเปลี่ยนน้ำมันที่หนักให้แตกตัวเป็นน้ำมันที่เบา ซึ่งมีคุณค่าที่ดีกว่า และทำให้คุณภาพของน้ำมันเหมาะสมกับความต้องการในการใช้ประโยชน์ หลักพื้นฐานของกรรมวิธีนี้คือ การทำให้โมเลกุลของน้ำมัน หรือเนฟธาแตกตัว เรียกวิธีการนี้ว่า วิธีการแยกสลาย (cracking) เช่น วิธีการแยกสลายด้วยความร้อน (thermal cracking) และวิธีการแยกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking).

นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวยังสามารถทำให้น้ำมันดินที่ได้ มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ทั้งความหนืด ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ และยังสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน.

ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินนั้น จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เป็นของแข็งซึ่งอยู่เหนือของเหลวในลักษณะ fixed bed ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอของ



น้ำมันดินที่ได้จากการกลั่น โดยโมเลกุลของน้ำมันดินจะทำปฏิกิริยากับโลหะที่อยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่ง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานพันธะภายในโมเลกุล แล้วเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลใหม่ขึ้นมา.

#### 1.2.2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือสารที่เติมลงไปในปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น โดยสารเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนวิถีที่มีพลังงานกระตุ้นจากสูงไปเป็นวิถีที่มีพลังงานกระตุ้นต่ำจึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดง่ายและเร็วขึ้น ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีผลต่ออุตสาหกรรมโดยเฉพาะการผลิตน้ำมันและแก๊สสังเคราะห์.

สำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีที่ได้รับความนิยมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (impregnation method) เป็นวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่มีตัวรองรับวิธีหนึ่ง โดยวิธีจุ่มเคลือบเป็นวิธีการแช่ตัวรองรับด้วยสารละลายที่มีส่วนประกอบกับมันต์หลักที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการทำให้ตัวรองรับชุ่มด้วยสารละลายนั้น.

ประเภทและชนิดของตัวเร่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 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 และ โลหะอื่นๆ (Pt, Zr, Rh, Fe)-based, กลุ่ม activated alumina, alkali metal carbonates, fluid catalytic cracking (FCC catalyst) และถ่านต่างๆ (char).

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา. อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เฉพาะในช่วงที่เหมาะสมในทาง Thermodynamic ของปฏิกิริยา.

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. ตัวเร่งกลุ่มสินแร่ธรรมชาติ

ประกอบไปด้วย โลหะจำพวก alkaline earth oxide (CaO และ/หรือ MgO) เป็นหลัก และรวมไปถึง calcites, magnesites และ calcined dolomites ( $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ ) ซึ่งจะอยู่ในรูปเกลือ

ของคาร์บอนเนต โดยความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับ ขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิว โดยการเพิ่มความว่องไวของตัวเร่งนั้นยังสามารถทำได้โดยเติม แคลเซียม แมกนีเซียม ในอัตราส่วนต่างๆ.

ตัวเร่งชนิดนี้จะเสียสภาพ โดยเกิด coke ขึ้นรอบๆพื้นที่ผิว และขึ้นอยู่กับความดันของ  $\text{CO}_2$  โดย Coke นั้นจะ block รูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ปริมาณ active site นั้นลดลง และเมื่อความดันของ  $\text{CO}_2$  สูงเกินค่าสมดุล จะเกิดคาร์บอนเนตที่ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ความว่องไวนั้นลดลง.

ส่วน dolomite นั้นนิยมใช้ทั่วไป ด้วยราคาที่ถูกลง และให้ conversion ที่สูง และทนต่อการเสียดทานจาก  $\text{H}_2\text{S}$  แต่มีความเปราะสูง ทำให้แตกง่าย เมื่อใช้ใน fluidized bed ที่มี turbulence สูง.

### 2. ตัวเร่งชนิด Fluid catalytic cracking (FCC)

ตัวเร่งหลักที่ใช้ในปฏิกิริยานี้คือ zeolite โดยเกิดการหัก (break down) ของโมเลกุลที่ใหญ่ และซับซ้อน กลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง อาศัยความร้อนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา โดยไม่ต้องใช้แก๊สไฮโดรเจน ในปฏิกิริยา ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำมันหนัก (heavy oil) ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น และตัวเร่งชนิดนี้ยังมีราคาถูกลง แต่จะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วโดยเกิด coke บนพื้นที่ผิว.

### 3. ตัวเร่งกลุ่ม Transition metal-based

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

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

## 2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดินให้มีค่าความร้อนสูงขึ้นและมีความหนืดลดลง, ส่วนที่สองการทดลองการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินโดยการกลั่นแยกน้ำมันดินด้วยสารเร่งปฏิกิริยา, ส่วนที่สามเป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำมันดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วหรือน้ำมันชีวภาพ โดยรายละเอียดของการทดลองประกอบไปด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันดินก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยการวิเคราะห์โดยละเอียด (ultimate analysis), ค่าความร้อน (heating value) และสารประกอบของน้ำมันดินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ.

### 2.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

#### การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Impregnation method)

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานี้ได้ใช้โลหะนิกเกิลจากสารประกอบนิกเกิลไนเตรทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับแอคติเวเต็ดอะลูมินา ขนาด 6 มิลลิเมตร ด้วยการแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.

#### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. นิกเกิลไนเตรต ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) และเหล็กซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) | 2. น้ำกลั่น                   |
| 3. เม็ดแอคติเวเต็ดอะลูมินา ขนาด 6 มิลลิเมตร  | 4. เตาให้ความร้อน (Hot plate) |
| 5. ตู้อบ   | 6. เตาเผา                     |

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่ง แอคติเวเต็ดอะลูมินา ปริมาณ 50 กรัม เพื่อใช้เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเคลือบโลหะนิกเกิลซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวของ แอคติเวเต็ดอะลูมินา.
2. เตรียมสารละลายนิกเกิลไนเตรต และเหล็กซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ .
3. เคลือบแอคติเวเต็ดอะลูมินาขั้นที่แรก ด้วยสารละลายเหล็กซัลเฟต เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ทำการแช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเคลือบขั้นที่สองด้วยสารละลายนิกเกิลไนเตรตเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ทำการแช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศา-

เซลเซียส จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กนิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา ดังแสดงในรูปที่ 2.1.



รูปที่ 2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กนิกเกิลบนตัวรองรับแอคติเวเต้ดอะลูมินา.

## 2.2 การทดลองการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

น้ำมันดินถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกลั่นแยกด้วยสารเร่งปฏิกิริยา โดยใช้วิธีการกลั่นแบบธรรมดา เนื่องจากน้ำมันดินประกอบด้วยสารประกอบจำพวกออกซิเจนเนต (oxygenate ) จนถึงโครงสร้าง polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) และสารประกอบเหล่านี้มีจุดเดือดใกล้เคียงกันจึงทำให้แยกให้เป็นสารบริสุทธิ์ได้ยาก ดังนั้นจึงทำการแยกด้วยกระบวนการกลั่นแบบธรรมดา.

### วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

1. ชุดกลั่นแบบธรรมดา
2. น้ำมันดิน (ทาร์)
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe- Ni/แอคติเวเต้ดอะลูมินา

## ขั้นตอนการทดลอง

ตัวอย่างน้ำมันดินที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้จากการผลิตแก๊สสังเคราะห์กระบวนการด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันชีวมวลจำพวกไม้เบญจพรรณ ถูกนำมากลั่นแยกด้วยกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาโดยมีสารเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวเพิ่มคุณภาพ ตั้งเร่งปฏิกิริยาเป็นโลหะเหล็ก และนิเกิลบนแอคติเวเต้ดอะลูมินาอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นถูกควบคุมที่ 250 ถึง 330 องศาเซลเซียส.

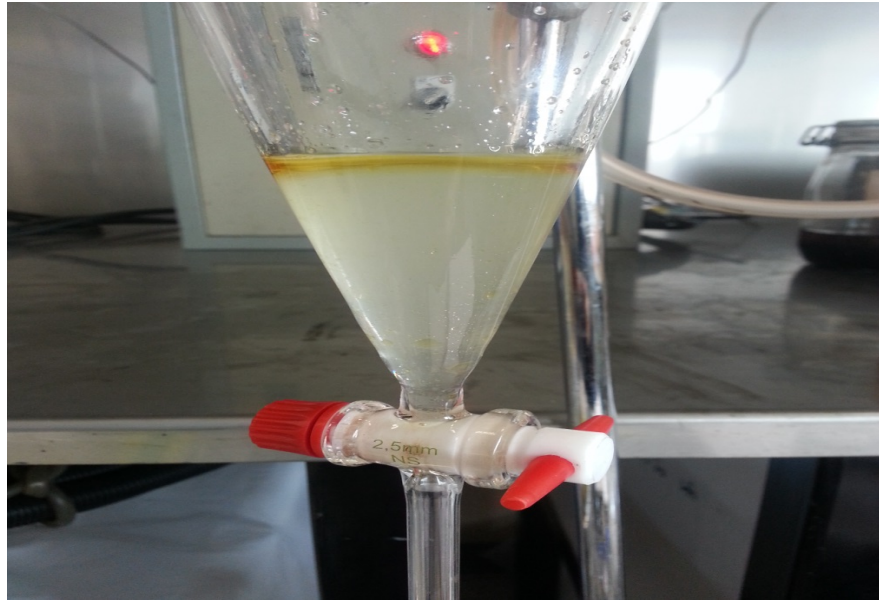
### 2.2.1 การกลั่นน้ำมันดินในระดับห้องปฏิบัติการ

1.1 ประกอบชุดอุปกรณ์กลั่นแบบธรรมดา โดยใช้ น้ำมันดินปริมาตร 400 มิลลิลิตร และใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe- Ni/แอคติเวเต้ดอะลูมินาลงในอุปกรณ์กลั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2.



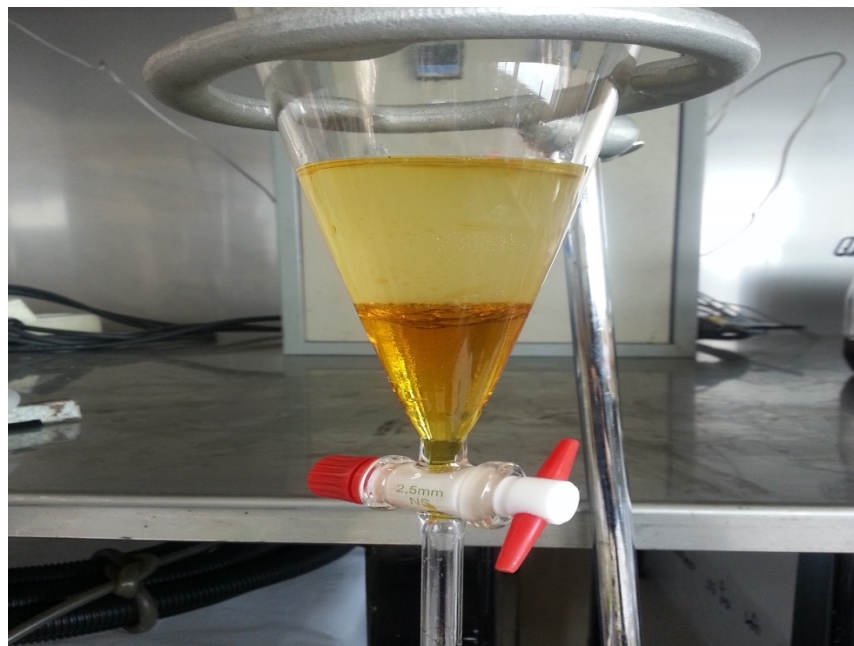
รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์กลั่นแบบธรรมดาด้วยสารเร่งปฏิกิริยา.

1.2 ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกลั่นตัวและระเหยออกมาก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.3.

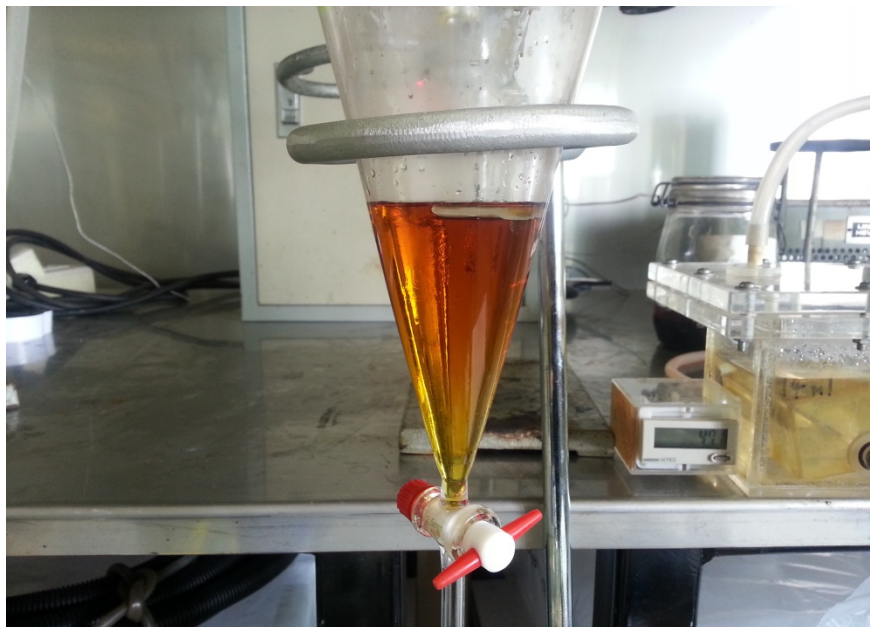


รูปที่ 2.3 การกลั่นตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส.

1.3 ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 250 องศาเซลเซียส สารประกอบน้ำมันดินบางตัวจะเริ่มกลั่นตัว ออกมาที่ระดับอุณหภูมิเดิมจนกว่าสารประกอบน้ำมันดินไหลช้าหรือไม่ไหลแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 ถึง 330 องศาเซลเซียส การปรับอุณหภูมิเช่นนี้เพื่อป้องกันการไคกของน้ำมันดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และสีของสารประกอบในน้ำมันจะเข้มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถึง 2.6.



รูปที่ 2.4 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส.



รูปที่ 2.5 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส.



รูปที่ 2.6 การกลั่นตัวของน้ำและสารประกอบของน้ำมันที่อุณหภูมิ 330 ถึง 350 องศาเซลเซียส.

### 2.2.2 การกลั่นในระดับกึ่งนำทาง

การกลั่นแยกน้ำมันดินในระดับกึ่งนำทาง โดยการนำผลการทดลองจากระดับห้องปฏิบัติการมาขยายขนาดของการกลั่นน้ำมันดินจากเดิมกลั่นครั้งละ 400 กรัม เพิ่มเป็นครั้งละ 4,000 กรัม ด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กนิเกิลบนตัวรองรับแอคทิเวเต็ดอะลูมินา อุณหภูมิที่ใช้ถูกควบคุมที่ 150 ถึง 350 องศาเซลเซียส.



รูปที่ 2.7 การกลั่นแยกน้ำมันดินในระดับกึ่งนำทางที่อุณหภูมิ 150 ถึง 350 องศาเซลเซียส.

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดินหลังการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันดินที่ผ่านการกลั่นแยกหรือผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วเรียกว่าน้ำมันชีวภาพ น้ำมันน้ำมันดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงด้วยการวิเคราะห์ค่าโดยละเอียด (ultimate analysis) เพื่อหาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน, ค่าความร้อน (heating value) ด้วยเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) เพื่อหาค่าความร้อนในน้ำมันดังกล่าว และวิเคราะห์หาสารประกอบที่กลั่นแยกออกมาได้ด้วยเครื่องแมส-สเปกโทรสโกปี (GC-MS) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถึง 2.10.





รูปที่ 2.8 เครื่องมือวิเคราะห์ C, H และ N.



รูปที่ 2.9 เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความร้อน.



รูปที่ 2.10 เครื่องแกส-สเปกโทสโกปี (GC-MS).

### 2.3 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันชีวภาพ

น้ำมันดินชีวภาพดังกล่าวถูกนำไปทดลองผลิตความร้อนเพิ่มในเตาเผาติดเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งใช้อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาให้ได้ถึง 850 องศาเซลเซียส การทดลองได้ติดตั้งหัวเผาที่เตาเผาขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อเป็นตัวป้อนน้ำมันชีวภาพและควบคุมการลุกไหม้ในห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11-2.12.



รูปที่ 2.11 ชุดหัวเผา น้ำมันเชื้อเพลิง.

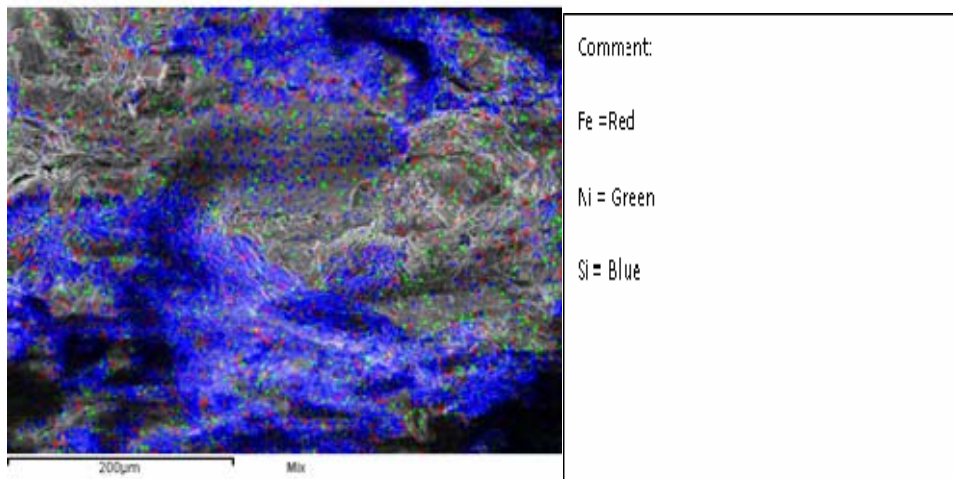


รูปที่ 2.12 ห้องเผาไหม้ต้นแบบพร้อมชุดหัวเผา.

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 3.1 ผลการทดลองส่วนที่หนึ่งการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดินให้มีค่าความร้อนสูงขึ้นและมีความหนืดลดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้วิเคราะห์การกระจายตัวของโลหะบนตัวรองรับ ผลการวิเคราะห์พบว่าโลหะทั้งสองชนิดกระจายตัวได้สม่ำเสมอบนตัวรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.



รูปที่ 3.1 การกระจายตัวของโลหะเหล็กและนิกเกิลบนตัวรองรับ.

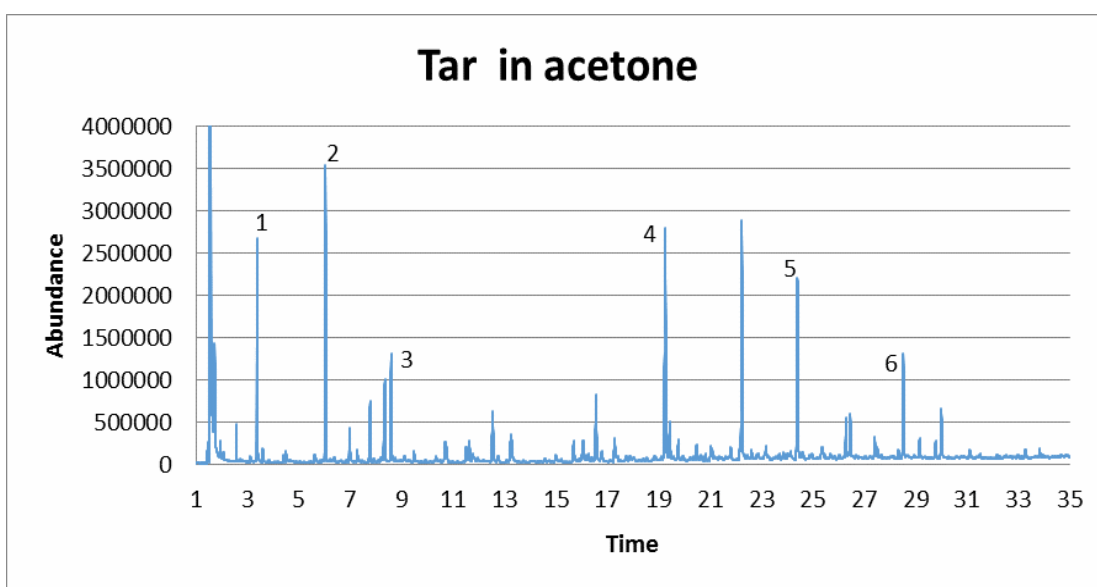
#### 3.2 ผลการทดลองส่วนที่สองการทดลองการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินโดยการกลั่นแยกน้ำมันดินด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการสังเคราะห์ในส่วนที่แรกนั้น พบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้มีความหนืดลดลง จากเดิมน้ำมันดินมีค่าความหนืด 4,700 เซ็นติสโตก เมื่อผ่านการการปรับปรุงคุณภาพค่าความหนืดลดลงเหลือ 81 เซ็นติสโตก ในส่วนของมีองค์ประกอบทางเคมี และค่าการนำความร้อน พบว่า คุณสมบัติทั้งสองอย่างของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันและไม้ ดังแสดงตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพกับน้ำมันดินและไม้

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิง		
	ไม้	น้ำมันดิน	น้ำมันชีวภาพ
คาร์บอน, ร้อยละ	45.60	40.842	64.359
ไฮโดรเจน, ร้อยละ	6.18	8.844	8.048
ไนโตรเจน, ร้อยละ	0.286	3.421	0.046
ออกซิเจน, ร้อยละ	45.99	46.893	27.547
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม	4,274	3,800	6,500

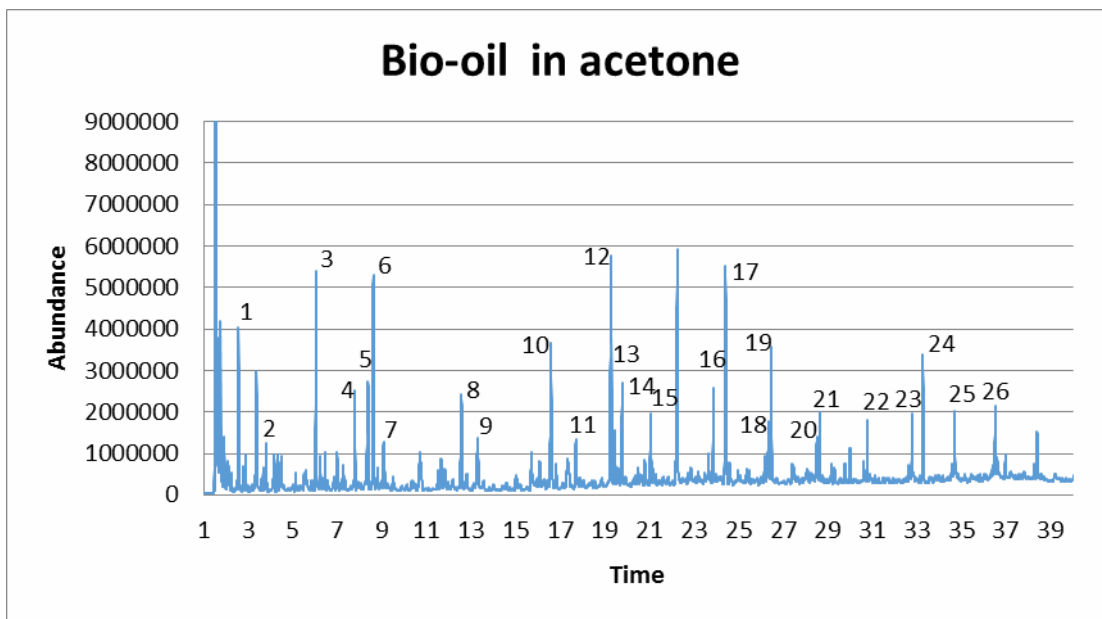
ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดิน พบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดินด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สารประกอบในน้ำมันชีวภาพมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลง โดยขนาดของโมเลกุลมีทั้งเล็กลงและใหญ่ขึ้น อาจเกิดเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ไรด์เซชันของน้ำมันชีวภาพจึงทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปอย่างมาก.



รูปที่ 3.2 พีคของสารประกอบในน้ำมันดิน.

ตารางที่ 3.2 สารประกอบในน้ำมันดิน

Compound number	RT (min)	Name	Molecular Weight	CAS Number
1	3.38	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	116.084	000123-42-2
2	6.052	Phenol	94.042	000108-95-2
3	8.599	Phenol, 2-methoxy	124.052	000090-05-1
4	19.273	Phenol, 2,6-dimethoxy	154.063	000091-10-1
5	24.412	Hydroquinone mono-trimethylsily ether	182.076	017881-87-7
6	25.531	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)	194.094	006627-88-9



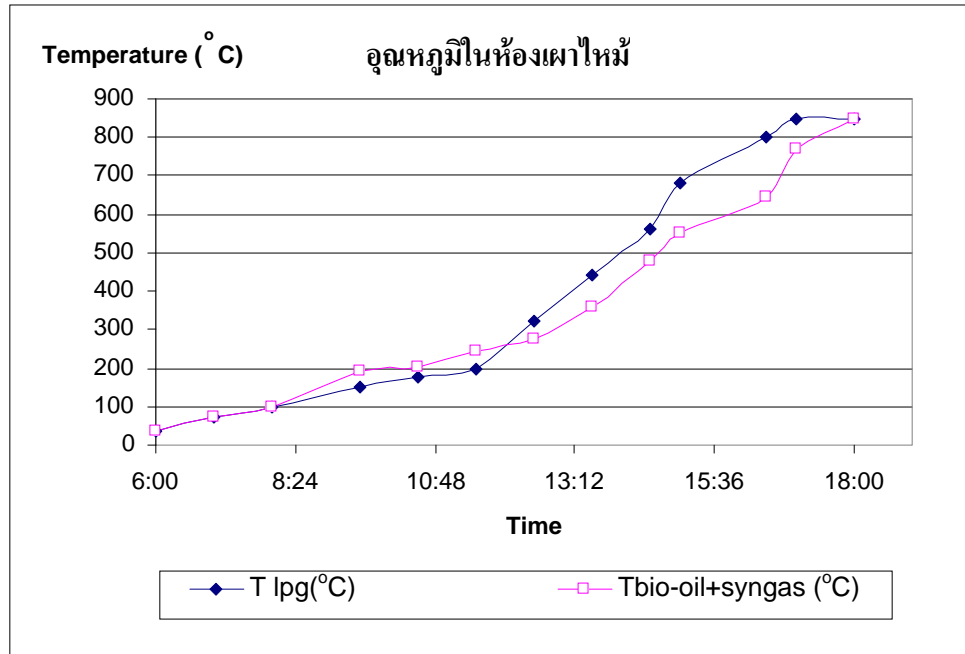
รูปที่ 3.3 พีคของสารประกอบในน้ำมันชีวภาพ.

ตารางที่ 3.3 สารประกอบในน้ำมันชีวภาพ

Compound number	RT (min)	Name	Molecular Weight	CAS Number
1	2.576	Toluene	92.063	000108-88-3
2	3.805	p-Xylene	106.078	000106-42-3
3	6.057	Phenol	94.042	000108-95-2
4	7.795	Phenol, 2-methyl-	108.058	000095-48-7
5	8.385	Phenol, 3-methyl-	108.058	000108-39-4
6	8.621	Phenol, 2-methoxyl-	124.052	000090-05-1
7	9.082	Undecane	156.188	001120-21-4
8	12.58	Phenol, 2-methoxyl-4-methyl-	138.068	000093-51-6
9	13.304	Dodecane	170.203	000112-40-3
10	16.597	Phenol, 4-ethyl-2-methoxyl-	152.084	002785-89-9
11	17.714	Tridecane	184.219	000629-50-5
12	19.3	Phenol, 2,6-dimethoxy-	154.063	000091-10-1
13	19.461	Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)	164.084	001941-12-4
14	19.792	Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	166.099	002785-87-7
15	21.065	Tetradecane	198.235	000629-59-4
16	23.884	Pentadecane	212.25	000629-62-9
17	24.425	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl	182.094	006443-69-2
18	26.382	Hexadecane	226.266	000544-76-3
19	26.485	4-Propyl-1,1'-diphenyl	196.125	010289-45-9
20	28.527	N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino-acetamine	194.069	1000143-61-3
21	28.661	Heptadecane	240.282	000629-78-7
22	30.792	Hexadecane	226.266	000544-76-3
23	32.798	Nonadecane	268.313	000629-92-5
24	33.285	Hexadecanoic acid, methyl ester	270.056	000112-39-0
25	34.711	Eicosane	282.329	000112-95-8
26	36.534	Heneicosane	296.344	000659-94-7

3.2 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน ถูกนำไปทดลองผลิตความร้อนเพิ่มในเตาเผาดีเซลเครื่องปั่นดินเผา ซึ่งใช้อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาให้ได้ถึง 850 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า เมื่อนำน้ำมันชีวภาพร่วมกับแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้สูงถึง 850 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.4.



รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบการใช้น้ำมันชีวภาพร่วมกับแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล และการการใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สหุงต้ม.



#### 4. สรุปผลการวิจัย

การนำน้ำมันดินจากระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลมาปรับปรุงคุณภาพให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาเพื่อการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส กระบวนการปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านการกลั่นแยกสารประกอบในน้ำมันดินด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนสูงและมีความหนืดลดลง ผลการทดลองพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้มีความหนืดลดลง จากเดิมน้ำมันดินมีค่าความหนืด 4,700 เซ็นติสโตก เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพค่าความหนืดลดลงเหลือ 81 เซ็นติสโตก และพบว่าองค์ประกอบทางเคมี และค่าความร้อน ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดินและไม้ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สารประกอบในน้ำมันชีวภาพมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลง โดยขนาดของโมเลกุลมีทั้งเล็กลงและใหญ่ขึ้น อาจเกิดเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ไรด์เซชัน ของน้ำมันชีวภาพจึงทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปอย่างมาก เมื่อนำน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิน ไปทดสอบเพื่อผลิตความร้อนเพิ่มในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งใช้อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยใช้ร่วมกับแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาได้สูงถึง 850 องศาเซลเซียส.

## 5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์จากน้ำมันดินที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพจนกลายเป็นน้ำมันชีวภาพนั้นสามารถนำน้ำมันชีวภาพดังกล่าวไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงฟอสซิลในอุตสาหกรรมเซรามิกและอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ต้องการใช้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียส แต่ต้องใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวลหรือใช้ร่วมกับเชื้อเพลิง LPG หรือน้ำมันอื่นๆ การใช้ประโยชน์จากน้ำมันดินดังกล่าวเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงจากชีวมวลและเป็นการกำจัดน้ำมันด้วยการปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้นและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และลดปัญหาเรื่องกลิ่นและควันจากการใช้น้ำมันดินทางตรง.

## 6. ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดินโดยการกลั่นแยกแบบธรรมดาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานั้น คุณภาพในทางเคมีและทางกายภาพสามารถทำให้คุณภาพสูงขึ้นได้ เมื่อนำไปใช้งานจริงพบว่า มีปัญหาเรื่องมีเขม่าครว้เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการด้วยการเพิ่ม กระบวนการดูดซับน้ำออกจากน้ำมัน และยังพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้คงมีกลิ่นเหม็นของน้ำมันดิน ซึ่ง ต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและวิธีการกำจัด จึงไม่เหมาะสมต่อการ นำมาเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ต้องคำนวณต้นทุนที่แท้จริงและระยะเวลาในการคืนทุน เพื่อความ เหมาะสมในการลงทุนและการวิจัยในอนาคต.

## 7. เอกสารอ้างอิง

- 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., 2009. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification-An overview, *Renewable and Sustainable Reviews*, **13**, pp. 594-604.
- Dalin, L., Yoshinao, N., Keiichi, T., 2012. Development of Ni-Based catalysts for reforming of tar derived from biomass pyrolysis. *Chinese Journal of Catalysis*, **33**(4), pp. 583-594.
- 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.
- 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.
- Dupont, C., Commandré, J-M., Gauthier, P., Boissonnet, G., Salvador, S., Schweich, D., 2008. Biomass pyrolysis experiments in an analytical entrained flow reactor between 1073 K and 1273 K, *Fuel*, **87**, pp. 1155-1164.
- Dimitratos, N., Lopez-Sanchez, J.A., Anthonykutty, J.M., Brett, G., Carley, A.F., Tiruvalam, R.C., Herzing, C.J., Knight, D.W. and Hutchings, G.J., 2009. Oxidation of glycerol using gold-palladium ally-supported nanocrystals. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **11**(25), pp. 4913-5204.
- Jaime, M., Faundez, Ximena, A., Garcia, Alfredo and Gordon, L., 2001. A kinetic approach to catalytic pyrolysis of tars. *Fuel Processing Technology*, **69**, pp. 239-256.
- Jun, H., Heejoon, K., 2008. The reduction and control technology of tar during Biomass gasification/pyrolysis: An overview. *Renewable and Sustainable Reviews*, **12**, pp. 397-416.

- Ponzio, A., Kalisz, S., 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.
- Stefano, R., 2003, The impact of catalytic materials on fuel reformulation, *Catalysis Today*, **77**, pp. 467-484.
- Takeo, K., Tomohisa, M., Jin, N., Shigeru, K., Kado, O., Toshihiro, M., Shuichi, N., Kimio, K., Keiichi, T., 2006. Development of Ni catalysts for tar removal by steam gasification of biomass. *Applied Catalysis B: Environmental*, **68**, pp. 160-170.
- 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.