การประยุกต์หญ้าคา *Imperata cylindrica* Beauv เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง

นางสาวฐาปนี แสงเพชร

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF *Imperata cylindrica* Beauv AS CATALYST FOR PRODUCING FUEL OIL FROM PLASTIC WASTE ON KOH SICHANG

Miss Tapanee Sangpatch

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์หญ้าคา *Imperata cylindrica* Beauv เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง
โดย	นางสาวฐาปนี แสงเพชร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุตา ศุภคต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. วรพจน์ กนกกันฑพงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. สิทธิโชค พวงทองทับ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุตา ศุภคต)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. วรพจน์ กนกกันฑพงษ์)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ)

....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด จงสมจิตร)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว)

ฐาปนี แสงเพชร : การประยุกต์หญ้าคา *Imperata cylindrica* Beauv เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง (APPLICATION OF *Imperata cylindrica* Beauv AS CATALYST FOR PRODUCING FUEL OIL FROM PLASTIC WASTE ON KOH SICHANG) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. นุตา ศุภคต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. วรพจน์ กนกกันฑพงษ์, 69 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหญ้าคา เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง โดยงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง ผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของขยะพลาสติกที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงร้อยละ 48 รองลงมาคือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำร้อยละ 22 พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลตร้อยละ 13 พอลิโพรพิลีนร้อยละ 10 และพอลิสไตรีนร้อยละ 7 ตามลำดับ ระยะที่ 2 ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา โดยศึกษาการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาเพื่อเป็นวัสดุรองรับด้วยวิธีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซิลิกาจากหญ้าคือที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณซิลิการ้อยละ 97.70 โครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐาน พื้นที่ผิว 172 ตารางเมตร/กรัม และปริมาณรูพรุน 0.43 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ซิลิกาที่ได้จะถูกนำมาสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่อัตราส่วนอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 20 40 60 และ 80 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอะลูมินาจะทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงที่อัตราส่วนร้อยละ 60 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ 200 ตารางเมตร/กรัม และระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยให้พลาสติกเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้น และช่วยลดระยะเวลาการทำปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกมากที่สุดคือ อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 ที่ปริมาณร้อยละ10 ของน้ำหนักพลาสติก ให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันมากที่สุดคือ 93.11 และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดคือ 20 นาที ให้ค่าความร้อนอยู่ที่ 10,801 แคลอรี่/กรัม ซึ่งมีค่าผ่านมาตรฐานของน้ำมันเตา และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันที่ผลิตได้กับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าพบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าชนิดซิลิกาอะลูมินา จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์เป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกบนเกาะสีชังอย่างยั่งยืนได้

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา 2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

5772232123 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEYWORDS: IMPERRATA CYLINDRICA BEAUV / PLASTIC WASTE / PYROLYSIS / CATALITIC CRACKING / ALUMINA SILICA COMPOSITE CATALYST / CALCINATION, ACID TREATMENT,

TAPANEE SANGPATCH: APPLICATION OF *Imperata cylindrica* Beauv AS CATALYST FOR PRODUCING FUEL OIL FROM PLASTIC WASTE ON KOH SICHANG. ADVISOR: ASST. PROF. NUTA SUPAKATA, Ph.D., CO-ADVISOR: VORAPOT KANOKKANTAPONG, Ph.D., 69 pp.

The objective of this research was to study the physical and chemical properties of *Imperata cylindrica* Beauv as catalyst for producing fuel oil in Koh Sichang. This research was consisted of 3 phases. The first phase was to study the composition of plastic waste in Koh Sichang. The results showed that HDPE (48%) was the main composition followed by LDPE (22%) PET (13%) PP (10%) and PS (7%), respectively. The second phase was to prepare the *Imperata cylindrical* Beauv as catalyst support by acid treatment and calcination. The results showed that the optimum conditions to extract silica from *I. cylindrica* by acid treatment was 700^{o}C for 2 hours obtaining 97.70% of amorphous silica, 172 m^2/g of surface area and 0.43 cc/g of pore volume. Then, this amorphous silica was synthesized to form the silica-alumina catalyst at 20% Al/Si, 40% Al/Si, 60% Al/Si and 80% Al/Si. The results showed that surface area of catalyst was increased when alumina increased. The optimum ratio was 60% Al/Si obtaining 200 m^2/g of surface area. The third phase was to study *I. cylindrica* as catalyst for producing fuel oil. In this study, catalyst was used to improve the plastic cracking process and oil yield and to decrease the reaction rate. The optimum ratio of Al/Si at 60% and 10% of plastic waste provided the maximum of oil yield at 93.11% and the minimum of reaction rate at 20 minutes. As the results, it showed that catalytic cracking with 60% Al/Si contributed high quantity of the oil yield as Si/Al commercial catalyst. The results obtained from this research will be applied as an alternative plastic recycle for sustainable waste management in Koh Sichang.

Field of Study: Biotechnology	Student's Signature ....
Academic Year: 2016	Advisor's Signature ....
	Co-Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อาจารย์ ดร. วรพจน์ กนกันฑพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้คำปรึกษาแนะนำ และชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญญาหาระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด จงสมจิตร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำชี้แนะและแก้ไขข้อบกพร่องจนงานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สิทธิโชค พวงทองทับ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ และศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสมวดี ไชยอนันต์สุจริต อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเตาปฏิกรณ์

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์สาร

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ที่คอยอบรมเลี้ยงดู สนับสนุน และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....................ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.................... จ

กิตติกรรมประกาศ.................... ฉ

สารบัญ.................... ช

สารบัญตาราง.................... 1

สารบัญรูปภาพ.................... 1

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.................... 4

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.................... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 เกาะสีชัง 6

2.2 พลาสติก 7

2.3 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก 10

2.3.1. กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking).................... 11

2.3.2. กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) 13

2.4 ซิลิกา 16

2.5 อะลูมินา.................... 18

2.6 การสังเคราะห์สารประกอบอะลูมินา-ซิลิกา.................... 20

2.7 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.................... 20

2.8 หญ้าคา 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 28
3.1 รูปแบบการศึกษา 28
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 28
3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 29
3.3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา 29
3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง 30
3.4. ขั้นตอนดำเนินการทดลอง 30
3.4.1 ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง 30
3.4.2 ระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา 31
3.4.2.1 เตรียมซิลิกาจากหญ้าคา 31
3.4.2.2 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา 32
3.4.3 ระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก 33
3.4.3.1 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 33
3.4.3.2 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา 35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 36
4.2 ผลการศึกษาระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา 37
4.2.1 การเตรียมซิลิกาจากหญ้าคา 37
4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ 38
4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง 39
4.2.1.3. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ 41
4.2.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ของประกอบธาตุ 42
4.2.2.2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา 43
4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง 45
4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ 46
4.3. ผลการศึกษาระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก 49
4.3.1 ผลการศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 49
4.3.2 ผลการศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา 50
4.3.2.1 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต 50
4.3.2.2 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติก 51
4.3.2.3 ผลของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติก 52
4.3.2.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำมัน 52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 57
5.1 สรุปผลการทดลอง 57
5.2 ข้อเสนอแนะ 59
รายการอ้างอิง 61
ภาคผนวก 64
ภาคผนวก ก การคำนวณสำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 65
ภาคผนวก ข การคำนวณร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ 66
ภาคผนวก ค ลักษณะของน้ำมัน 67
ภาคผนวก ง ค่ามาตรฐานของน้ำมันเตา 68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 69

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต พลาสติก 9

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของขยะพลาสติกที่พบ ณ ลานเทกองขยะบนเกาะสีชัง 36

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุและองค์ประกอบของหญ้าคาหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง 38

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของหญ้าคาหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง 41

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัราส่วนร้อยละ20 40 60 และ 80 โดยมวล 42

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่ อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวล 46

ตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 50

ตารางที่ 4.7 ค่าความร้อนของน้ำมันจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 53

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้กับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า 55

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบขยะมูลฝอยบนเกาะสีชัง 6

รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างเทอร์โมพลาสติก 8

รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างเทอร์โมเซตพลาสติก 9

รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาขั้นตอนการเริ่มต้นกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน 11

รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาขั้นตอนการแตกตัวอย่างต่อเนื่องของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน 12

รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการถ่ายโอนสายโซ่ 12

รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาขั้นตอนการสิ้นสุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน 13

รูปที่ 2.8 รูปแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อของซิลิกา 16

รูปที่ 2.9 การหลุดออกของโมเลกุลน้ำจากผิวหน้าอะลูมินา 19

รูปที่ 2.10 ตำแหน่งที่กรดลิวอิส 19

รูปที่ 2.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก 21

รูปที่ 2.12 การดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ 22

รูปที่ 3.1 วิธีการแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) 31

รูปที่ 3.2 ระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา 33

รูปที่ 3.3 แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์น้ำมันไพโรไลซิส 34

รูปที่ 3.4 ระยะที่ 3 การใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก 35

รูปที่ 4.1 โครงสร้างซิลิการูปแบบผลึกอสัณฐานจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD 40

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการเผาด้วยเทคนิค XRD 40

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 43

รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซิสังเคราะห์ได้จากหญ้าคา 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.5 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา..................... 45

รูปที่ 4. 6 ลักษณะการแทรกตัวของอะลูมินาภายในรูพรุนของซิลิกา.. 47

รูปที่ 4.7 รูปแบบไอโซเทิร์มของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา 48

รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา.. 49

รูปที่ 4.9 อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา..................... 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยกำลังเป็นปัญหาหลักของประเทศไทย โดยรัฐบาลได้บรรจุให้เป็นวาระแห่งชาติที่ต้องจัดการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ในปี 2557 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 26.19 ล้านตันต่อปี คิดเป็น 1.11 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ซึ่งขยะมูลฝอยถึง 13.49 ล้านตันถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลก่อให้เกิดปัญหาปริมาณขยะสะสมและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบมากในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

เกาะสีชังเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของจังหวัดชลบุรี ตั้งอยู่ในเขตการปกครองของเทศบาลตำบลเกาะสีชังซึ่งเป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็ก มีพื้นที่ครอบคลุมพื้นดินและทะเลรวมเป็นพื้นที่ทั้งหมด 25.61 ตารางกิโลเมตร เกาะสีชังมีแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย 2 แหล่งคือ บนเกาะจากชุมชนและนักท่องเที่ยวมีปริมาณ 12-15 ตันต่อวัน และในทะเลที่เกิดจากเรือสินค้า เรือประมง และเรือลำเลียงสินค้าปริมาณ 10-15 ตันต่อวัน (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2557) โดยมูลฝอยทั้ง 2 แหล่งนี้นำไปกำจัดโดยการเทกองและเผาทิ้งในพื้นที่โล่งทิศใต้ของเกาะทุกๆ 2 วัน ก่อให้เกิดปัญหาการสะสมของขยะมูลฝอย และเป็นแหล่งกำเนิดพาหะนำโรคโดยเฉพาะแมลงวัน จากการศึกษาองค์ประกอบขยะจากลานเทกองขยะที่รอเผาบนเกาะสีชังเบื้องต้นโดยผู้วิจัยเมื่อเดือนมีนาคม ปี 2558 พบว่า ขยะพลาสติกเป็นขยะมูลฝอยที่เป็นปัญหามากที่สุด โดยมีปริมาณร้อยละ 20 ของขยะบนเกาะสีชัง หรือ 2.4-3 ตันต่อวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พลาสติกมีแหล่งกำเนิดมาจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันดิบ หรือก๊าซธรรมชาติ จึงสามารถนำมาผ่านกระบวนการแปลงสภาพเป็นน้ำมันได้ (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556) ด้วยกระบวนการสลายตัวทางความร้อน เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 400 – 800 องศาเซลเซียส ในภาวะไร้ออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลว (น้ำมัน) ก๊าซ และของแข็ง (คาร์บอนแบล็ก) (Syamsiro et al., 2014) และนอกจากนี้พบว่า พลาสติกมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับน้ำมันแต่มีสายโซ่ที่ยาวกว่า เมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกจะแตกตัวตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เรียกว่า กระบวนการปิโตรเคมีย้อนกลับ ได้น้ำมันร้อยละ 60 ของน้ำหนักพลาสติกทั้งหมด ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 5 – 25

เมื่อนำไปกลั่นจะได้น้ำมันชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

ในกระบวนไพโรไลซิสของพลาสติกพบว่า การนำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาร่วมด้วยจะทำให้พลาสติกแตกตัวได้ดีขึ้น และช่วยลดอุณหภูมิในกระบวนการแตกตัว นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนมากับวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551) กระบวนการนี้เรียกว่า การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) โดย Jan และคณะ (2010)เ ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสลายตัวทางความร้อน และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยของพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างง่ายคือ $MgCO_3$ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว (น้ำมัน) ที่ไม่เป็นไข และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้จะมีสมบัติเป็นกรด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ในวัฏภาคต่างกัน (นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556) ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้คือ ซิลิกา-อะลูมินา (วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, 2558) ซิลิกา-อะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูง นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (ฐิตินันท์ จันทร์เชย, 2556) ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินา สามารถสังเคราะห์ได้จากสารประกอบระหว่างซิลิกาและอะลูมินา โดยใช้ซิลิกาเป็นวัสดุรองรับ และอะลูมินาเป็นสารที่เพิ่มความเป็นกรดให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัยของ ฐิตินันท์ จันทร์เชย (2556) ได้ทำการศึกษาลักษณะและความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงประกอบซิลิกา-อะลูมินา โดยการเพิ่มปริมาณของอะลูมินาในช่วงร้อยละ 20 ถึง 80 โดยน้ำหนัก ลงในซิลิกาอนุภาคทรงกลม (Spherical Silica Particle : SSP) พบว่ามีความเป็นกรดสูงขึ้น ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา แหล่งของอะลูมินาจะได้มาจากแร่บอกไซต์ (Bauxite) ส่วนแหล่งของซิลิกาที่ใช้ในการสังเคราะห์มาจากหลายแหล่งเช่น สารเคมี ดิน พืช และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซิลิกาที่นิยมใช้จะเป็นรูปแบบอสัณฐาน ซึ่งมีอนุภาคขนาดที่เล็กกว่า มีรูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า ทำให้มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูงกว่าซิลิการูปแบบผลึก โดยซิลิการูปแบบ อสัณฐานส่วนหนึ่งจะได้จากสิ่งมีชีวิต (พัชริทร์ วธธนกุล, 2553) ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของพืชมีซิลิกอน (Si) เมื่อนำมาสกัดและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้เป็นซิลิกา โดยพืชที่พบซิลิกาส่วนมากเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น อ้อย ข้าว ข้าวโพด หญ้าคา (ไกรทิพย์ ทองฤทธิ์ และไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ, 2554)

หญ้าคาเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Imperata cylindrica* Beauv เป็นวัชพืชที่พบได้ในบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและกำจัดได้ยาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเกษตรกร จากการศึกษาของไกรทิพย์ ทองฤทธิ์ และไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ (2554) พบองค์ประกอบของซิลิกาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดต่างๆ ที่ผ่านการสกัดด้วยการสลายตัวโดยการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเถ้าหญ้าคาหลังการเผามีองค์ประกอบของซิลิการ้อยละ 65.55 นอกจากนี้งานวิจัยของ นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ (2556) ได้นำแกลบซึ่งเป็นแหล่งของซิลิกามาผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริก (Acid Treatment) ก่อนการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดมีปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดจะช่วยชะล้างโลหะออกไซด์ที่อยู่ในแกลบออกทำให้ซิลิกามีความบริสุทธิ์สูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดมีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของซิลิกาเพิ่มขึ้นจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำหญ้าคาซึ่งเป็นวัชพืชมาปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและแยกซิลิกาด้วยวิธีการสลายตัวทางความร้อน เพื่อสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยในงานวิจัยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชังเพื่อจำลองสัดส่วนของชนิดพลาสติกในการทดลอง ระยะที่ 2 ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการแยกซิลิกาจาก หญ้าคาผ่านการปรับปรุงสมบัติหญ้าคาด้วยกรดร่วมกับการเผาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากหญ้าคา และสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยหาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสม ระยะที่ 3 ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสม อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาต่อปริมาณพลาสติกที่เหมาะสม และเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะนำไปสู่แนวทางในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกบนเกาะสีชังอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหญ้าคาเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2.2 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงบนเกาะสีชัง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง เพื่อจำลองอัตราส่วนของขยะพลาสติกในการทดลอง

1.3.2 ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการปรับปรุงสมบัติของหญ้าคาด้วยกรด และเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง เพื่อหาภาวะที่เหมาะในการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคา

1.3.3 วิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบเคมีของหญ้าคาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคา ได้แก่

1) องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscope (XRF)

2) โครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

3) พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค N_2 adsorption/desorption (BET Surface area)

4) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

1.3.4 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคาโดยการหาอัตราส่วนร้อยละโดยมวลระหว่างอะลูมินาต่อซิลิกาโดยการเพิ่มปริมาณอะลูมินาที่ร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 โดยมวล

1.3.5 วิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา ได้แก่

1) องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscope (XRF)

2) โครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

3) พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค N_2 adsorption/desorption (BET Surface area)

4) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

1.3.6 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3.7 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคาที่มีอัตราส่วนอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 20, 40, 60 และ 80 โดยมวล ในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมัน โดยวัดร้อยละผลได้ของน้ำมันจากขยะพลาสติก

1.3.8 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาต่อปริมาณพลาสติกในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของน้ำมัน ค่าความร้อน (Calorific Value) และเปรียบเทียบผลการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคากับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบเคมีของหญ้าคาเพื่อสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

1.4.2 ทราบภาวะและอัตราส่วนโดยมวลของซิลิกาต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

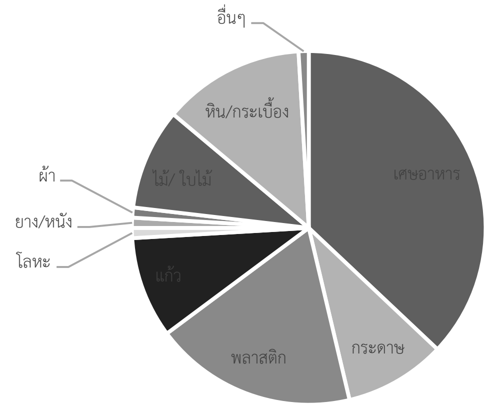
1.4.3 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาต่อปริมาณพลาสติกในการทำปฏิกิริยา และผลการเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคากับการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมัน เพื่อนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงบนเกาะสีชัง และนำไปสู่แนวทางในการศึกษาและพัฒนาแนวทางในการจัดการขยะบนเกาะสีชัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เกาะสีชัง

เกาะสีชังเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของประเทศไทย ตั้งอยู่ภาคตะวันออก บริเวณอ่าวไทย จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ครอบคลุมพื้นดินและทะเลรวมเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 25.61 ตารางกิโลเมตร (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2557) เป็นพื้นที่ขนาดเล็กเพียง 1 อำเภอ 7 หมู่บ้าน มีประชากรอาศัยอยู่ทั้งสิ้น 1,633 ครัวเรือน ประกอบด้วยประชากรตามทะเบียนราษฎร 4,806 คน และประชากรแฝงอีกประมาณ 5,000 คน เนื่องด้วยเกาะสีชังเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความสวยงามทางธรรมชาติ และมีสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ ทำให้แต่ละวันมีนักท่องเที่ยว และประชากรแฝงเดินทางเข้าออกเกาะสีชังถึง 400,000 คนต่อปี ซึ่งทำให้มีผลกระทบที่ตามมาคือปัญหาทางด้านขยะมูลฝอยที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการขยายตัวของเศรษฐกิจ (สิทธิโชค พวงทองทับ, 2559) เกาะสีชังมีแหล่งกำเนิดขยะ 2 แหล่งได้แก่ บนบกโดยมีปริมาณขยะ 12-15 ตันต่อวัน และในทะเลที่มาจากเรือสินค้า เรือประมง เรือลำเลียงสินค้าคิดเป็น 10-15 ตันต่อวัน (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2557) โดยองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากรายงานสถานการณ์ปัญหา และการบริหารจัดการขยะ กองสาธารณะสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลเกาะสีชัง องค์ประกอบของขยะมูลฝอยเกาะสีชัง ณ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่มากที่สุดคือ เศษอาหารร้อยละ 40 รองลงมาคือพลาสติกร้อยละ 20 หินและกระเบื้องร้อยละ 14 กระดาษร้อยละ (รูปที่ 2.1) (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2557)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบขยะมูลฝอยบนเกาะสีชัง

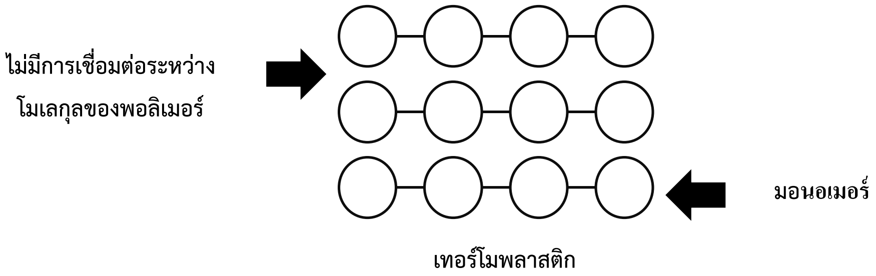
ขยะมูลฝอยที่พบว่าเป็นปัญหามากที่สุดคือขยะพลาสติกเนื่องจากมีปริมาณมาก และข้อจำกัดทาง ภูมิประเทศ และงบประมาณ ทำให้เกาะสีชังไม่สามารถกำจัดขยะด้วยวิธีการที่ถูกต้อง จึงได้ทำการเทกองและเผากลางแจ้ง ทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และมลพิษต่อประชากรบนเกาะ จำเป็นต้องศึกษาแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

2.2 พลาสติก

พลาสติก คือพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) โดยพลาสติกมีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม หรือน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการผลิตพลาสติกนั้นมาจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ เพื่อแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนๆ ระหว่างกลั่นน้ำมันดิบจะทำให้ทราบปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแต่ละชั้น โดยแต่ละชั้นที่ทำการกลั่นจะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดของสายโซ่โมเลกุลที่ไม่เท่ากัน โดยปกติในการกลั่นน้ำมันดิบจะนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสายโซ่โมเลกุลสั้นมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น C_1-C_4 ใช้เป็นก๊าซหุงต้ม C_5-C_6 ใช้เป็นเชื้อเพลิงรถยนต์ เป็นต้น แต่ในกรณีที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสายโซ่โมเลกุลยาวจะนำมาผ่านการแยกสลายพันธะเพื่อตัดให้มีขนาดเล็กลง และนำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเม็ดพลาสติก โดยกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กซึ่งได้จากการกลั่นลำดับส่วน มาทำปฏิกิริยาจนได้เป็นสายยาว เรียกว่า พอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดสังเคราะห์โดยใช้วัสดุเริ่มต้นแตกต่างกันโดยพอลิเมอร์จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นพลาสติก และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556)

พลาสติกสามารถแบ่งออกตามโครงสร้างได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermosetting Plastic) (พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์, 2552)

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือพลาสติกที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่าง พอลิเมอร์น้อยมากจึงสามารถหลอมเหลว หรือผ่านการอัดแรงแล้วจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม สามารถทำการหลอมซ้ำด้วยความร้อน และนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ใหม่ แต่สมบัติต่างๆ ของพลาสติกประเภทนั้นจะลดลงเนื่องจาก การเสื่อมสภาพของพลาสติก (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556) ดังรูปที่ 2.2

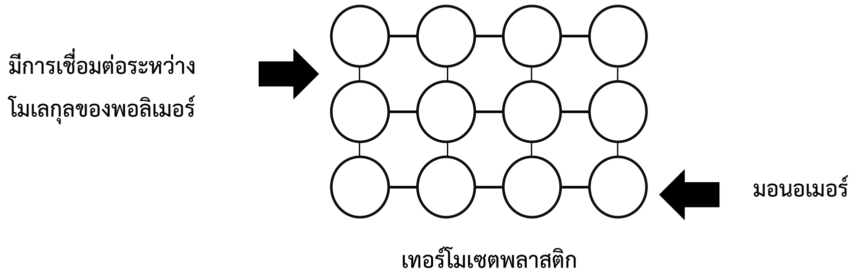


รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างเทอร์โมพลาสติก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Liu *et al.,* 2015

ประเภทของเทอร์โมพลาสติก ประกอบด้วย พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Ligh Density Polyethylene: LDPE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) ไนลอน 66 (Nylon 66) อะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene: ABS) และพอลิเมทิลเมทาตริเลต (Polymethyl Methacrylate: PMMA) (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556)

เทอร์โมเซต (Thermosetting Plastic) คือพลาสติกที่โครงสร้างมีการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล ซึ่งโครงสร้างแบบร่างแหจะจำกัดการเคลื่อนไหวโมเลกุลของพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมขึ้นรูปได้ใหม่ เมื่อให้ความร้อนสายโซ่ของพลาสติกจะไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ เนื่องจากโครงสร้างเป็นร่างแหแล้ว จึงทำให้พลาสติกไม่สามารถอ่อนตัวหรือหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ แต่จะเกิดการสลายตัวหรือไหม้ในที่สุด (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างเทอร์โมเซตพลาสติก
ที่มา: ดัดแปลงจาก Liu *et al.,* 2015

ประเภทของเทอร์โมเซตพลาสติก ได้แก่ เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮต์ (Phenaol Formaldehyde) อิพ็อกซี (Epoxy) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) พอลิยูรีเทน (Polyurethane) และซิลิโคน (Silicone) (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556) โดยพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตพลาสติก มีข้อแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตพลาสติก

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตพลาสติก
เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือกิ่ง	เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
จะอ่อนตัวหรือเหลวเมื่อได้รับความร้อน	จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
ต้องทำให้เย็นก่อนออกจากแม่แบบเพื่อป้องกันการเสียรูปทรง	ไม่ต้องทำให้เย็นก่อนออกจากแม่แบบ
ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในแม่พิมพ์	เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในแม่พิมพ์
นำมารีไซเคิลรูปใหม่ได้	ไม่สามารถนำมารีไซเคิลรูปใหม่ได้

ที่มา: เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556

โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในปริมาณมากในปัจจุบันคือพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ จึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของ

พลาสติก 7 ชนิดในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันบริเวณก้นของภาชนะพลาสติก ได้แก่ หมายเลข 1 พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) หมายเลข 2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) หมายเลข 3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) หมายเลข 4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) หมายเลข 5 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) หมายเลข 6 พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) และหมายเลข 7 พลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก หรือไม่สามารถระบุชนิดพลาสติกได้ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

จากการศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยบนเกาะสีชัง พบว่าขยะที่เป็นปัญหามากที่สุดคือขยะพลาสติก เนื่องด้วยปริมาณที่มาก และมีวิธีการจัดการโดยการเทกองและเผากลางแจ้งซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ซึ่งจะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาให้มีวิธีการที่ถูกต้อง และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการรีไซเคิล (Recycle) เป็นการนำขยะมูลฝอยหมุนเวียนนำกลับมาแปรรูปตามกระบวนการแต่ละประเภทโดยนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ในปัจจุบันเทคโนโลยีการแปลงสภาพของขยะพลาสติกนิยมใช้กับขวดพลาสติกเพียงชนิดเดียว ทำให้มีขยะพลาสติกชนิดอื่นๆ ถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งพลาสติกเหล่านี้สามารถนำกลับมารีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้

2.3 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

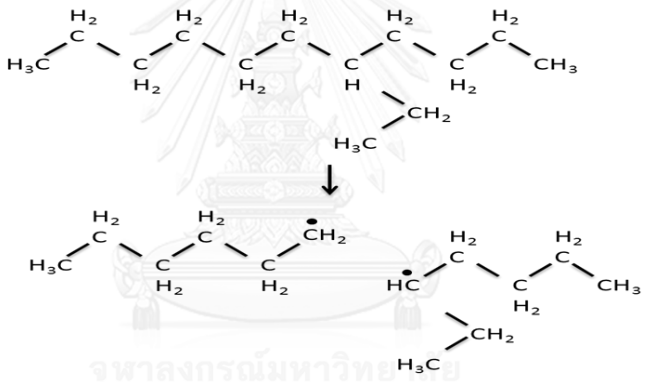
ขยะพลาสติกเป็นวัตถุดิบที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบประเภทเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ โดยขั้นตอนในการผลิตพลาสติกจะใช้สารตั้งต้นจาก ปิโตรเลียมที่ขุดได้ในธรรมชาติ นำมาเข้าสู่กระบวนการกลั่นเพื่อแยกขนาดโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน องค์ประกอบของสารปิโตรเคมีที่กลั่นได้สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นวัสดุพอลิเมอร์หรือพลาสติกชนิดต่างๆ ได้ กล่าวคือพลาสติกมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารตั้งต้นจากน้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ เพียงแต่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า จึงสามารถนำมาทำกระบวนการย้อนกลับโดยการแปลงสภาพพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันจากการแตกขนาดโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลง เรียกว่า กระบวนการปิโตรเคมีย้อนกลับ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

โดยปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีดังนี้ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

2.3.1. กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนหรือกระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการแตกตัวของสารประกอบหรือวัสดุออกเป็นขนาดโมเลกุลที่เล็กลงเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

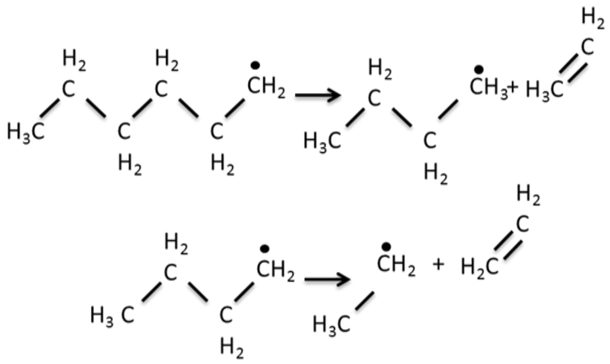
1) ขั้นตอนเริ่มต้น (Initiation Step) เป็นกระบวนการแตกตัวของพันธะคาร์บอนที่เชื่อมกันสองตัวที่อุณหภูมิสูง (Homolysis) ทำให้โมเลกุลหนึ่งๆ แตกออกเป็น 2 ส่วน โดยมีอิเล็กตรอนยังไม่จับคู่ (Unpaired Electron) อยู่ส่วนละหนึ่งตัว โมเลกุลทั้งสองตัวนี้เรียกว่า อนุมูลอิสระ (Free Radicals) ของโมเลกุลนั้นๆ ดังรูปที่ 2.4



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

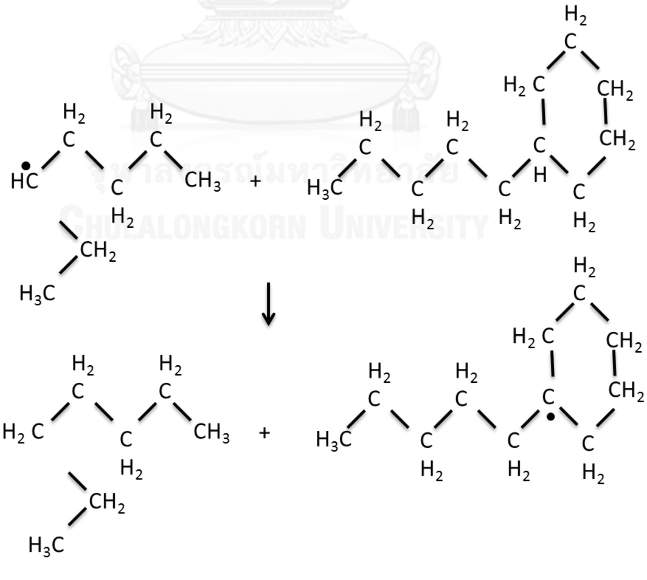
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาขั้นตอนการเริ่มต้นกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน
ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551

2) ขั้นตอนการแตกตัวอย่างต่อเนื่อง (Depropagation Step) เป็นขั้นตอนที่เกิดการแตกตัวของพันธะที่เชื่อมระหว่างคาร์บอน 2 ตัว ณ ตำแหน่งที่สอง นับจากตรงคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนที่ยังไม่จับคู่ (ตำแหน่งบีตา) การแตกตัวตำแหน่งบีตานี้จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ แบบสุ่ม จนกระทั่งโมเลกุลมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถแตกแยกได้อีก ดังรูปที่ 2.5



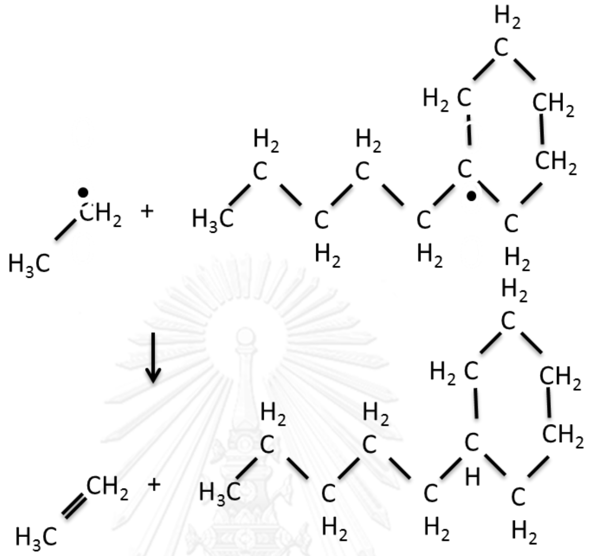
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาขั้นตอนการแตกตัวอย่างต่อเนื่องของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน
ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551

ในขณะเดียวกันโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงนี้อาจจะกลับเข้ามารวมกันใหม่ได้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เรียกว่า ปฏิกิริยาถ่ายโอนสายโซ่ (Chain Transfer Reaction) ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนจากสายโซ่หนึ่งไปอีกสายโซ่หนึ่ง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการถ่ายโอนสายโซ่
ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551

3) ขั้นตอนการสิ้นสุด (Termination Step) เกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างอนุมูลอิสระ 2 ตัว แล้วทำให้อนุมูลอิสระทั้งสองตัวนั้นกลายเป็นโมเลกุลที่สมบรูณ์ และมีพันธะคู่เกิดขึ้นตรงจุดที่ให้โปรตอนของอนุมูลอิสระนั้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอัลคีนเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาขั้นตอนการสิ้นสุดของกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน
ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551

2.3.2. กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

ในการแตกตัวของสารประกอบหรือวัสดุต่างๆ ถ้ามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยจะช่วยในการแตกตัวของวัตถุดิบได้ดีขึ้น ลดอุณหภูมิในการแตกตัวของวัตถุดิบ ช่วยให้เลือกผลิตภัณฑ์ได้อย่างเฉพาะเจาะจง ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ช่วยให้ผลิตกากได้น้อยลง และช่วยลดมลพิษบางตัวที่เกิดจากสารปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

จากการศึกษาของ Jan และคณะ (2015) พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $MgCO_3$ ในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกชนิด HDPE ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าการไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที และคุณภาพของน้ำมันที่ได้มีลักษณะไม่เป็นไขเหมือนน้ำมันที่ได้จากการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยามีขั้นตอนดังนี้ (พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์, 2552)

1) การเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (Dehydrogenation) ทำให้เกิดสารประกอบอัลคีน ดังสมการที่ 2.1

$$R_1CH_2\text{-}CH_2R_2 \longrightarrow R_1CH_2{=}CH_2R_2 + H_2 \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

2) ปฏิกิริยาคาร์โบเนียมไอออนบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ดังสมการที่ 2.2

$$R_1CH{=}CHR_2 + H^+ \longrightarrow R_1C^+H_2\text{-}CHR_2 \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

3) ปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เมทิล (Methyl Group Migration) ของคาร์โบเนียมไอออนเกิดจากที่โครงสร้างคาร์โบเนียมไอออนมีความเสถียรแตกต่างกัน โดยปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ได้คาร์โบเนียมไอออนสาม ดังสมการที่ 2.3

$$CH_3 - CH_2 - C^+HR_3 \longrightarrow C^+H_2 - CH\,(CH_3)\,R_3 \longrightarrow CH_3 - C^+(CH_3)\,R_3 \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

4) ปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮไดรด์ (Hydride transfer) โดยปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบเนียมไอออนโมเลกุลของสายไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ 2.4

$$R_1CH_2\text{-}\ C^+HR_2 + R_4\,CH\,(CH_3)\text{ - }CH_2R_5 \longrightarrow R_1CH_2\text{-}CH_2R_2 + R_4C^+(CH_3)\text{ - }CH_2R_5 \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

5) ปฏิกิริยาบีตาซิสชัน (ß-scission) เป็นปฏิกิริยาแตกพันธะคาร์บอน – คาร์บอน ณ ตำแหน่งบีตาของคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่ และทำให้เกิดสารประกอบโอเลฟิน และคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง ดังสมการที่ 2.5

$$R_3C^+(CH_3)\text{ - }CH_2\text{ -}CH_2R_6 \longrightarrow R_3C(CH_3) = CH_2\ C^+H_2R_6 \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

ศิริรัตน์ จิตการค้า (2551) ได้รายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของพลาสติกได้แก่ 1) ของเหลว หรือน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวสามารถนำไปกลั่นแยกเป็นสัดส่วนตามจุดเดือดได้ แยกเป็นน้ำมันเบนซีน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้คิดเป็นร้อยละ 60 ของน้ำหนักพลาสติกที่ทำการเผา 2) ก๊าซเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบคล้ายกับก๊าซธรรมชาติ ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน 1- 5 ตัวเป็นองค์ประกอบหลัก และก๊าซที่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน 6-8 ตัวเป็นองค์ประกอบรอง โดยก๊าซเชื้อเพลิงนี้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนในระบบการแตกตัวด้วยความร้อนของพลาสติก หรือนำไปใช้แทนก๊าซธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หรือสามารถนำไปแยกองค์ประกอบด้วยระบบเดียวกันกับก๊าซธรรมชาติได้ และ 3) ของแข็ง ถ่าน หรือ

คาร์บอนแบล็ค (Carbon Black) เป็นกากของแข็งที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนที่เหลือจากการแตกตัวของพลาสติกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำมาผ่านกระบวนการให้ ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนจะได้ถ่าน ดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสูงเป็นผลผลิตสามารถใช้เป็นตัวดูดซับคุณภาพสูงได้ เป็นต้น (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากพลาสติก สามารถนำมากลั่นและปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้ได้มาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงทางการค้าได้ เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลองจึงสามารถวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันได้เพียงบางประการ คือค่าความร้อน (Calorific Vulue) เป็นค่ากำหนดพลังงานความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ โดยใช้มาตรฐานASTM D 240 หรือใช้ เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ (Bomb Calorrimeter) และวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการหาร้อยละผลได้น้ำมันดังสมการที่ 2.6

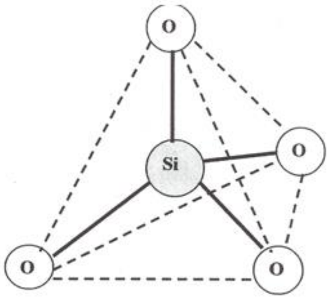
$$\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน (\% Oil Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น}\ x\ 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

กระบวนการแตกตัวของพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้พลาสติกแตกตัวได้ดีขึ้น และช่วยลดอุณหภูมิในกระบวนการแตกตัว และช่วยให้เลือกผลิตภัณฑ์ได้อย่างเฉพาะเจาะจง เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนมากับวัตถุดิบที่ผลิตได้ (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้จะมีสมบัติเป็นกรด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ในวัฏภาคต่างกัน (นพิดา หิญชีระนันท์ และชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556) ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้คือ ซิลิกา-อะลูมินา (วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, 2558) Panda และ Sin (2010) ได้ศึกษาการสลายตัวทางความร้อนของพลาสติกชนิด PP ที่อุณหภูมิ 400 – 550 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา และ Kaoline ซึ่งมีองค์ประกอบของ ซิลิกา และอะลูมินา พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดระยะเวลา ในการเกิดปฏิกิริยาและให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สูงขึ้นโดยตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากถึงร้อยละ 91 ส่วน Kaoline ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 89.50

2.4 ซิลิกา

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบระหว่างซิลิคอน (Si) และออกซิเจนอะตอม (O) ซิลิกาเป็นสารที่นิยมนำมาใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเตรียมได้ง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา การผลิตปูนซีเมนต์ การผลิตเซรามิค การผลิตเครื่องแก้ว เป็นต้น (Velmurugan et al., 2015)

ซิลิกาเป็นสารประกอบระหว่างซิลิคอน (Si) และออกซิเจนอะตอม (O) มีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) โดยออกซิเจน 4 อะตอมอยู่ล้อมรอบซิลิคอนซึ่งเป็นอะตอมกลาง โดยมีโครงสร้างแบบตาข่าย 3 มิติไม่รู้จบ (infinite three dimensional network) ดังรูปที่ 2.8 ที่เกิดจากออกซิเจนอะตอมทั้งหมด ซึ่งใช้ เตตระฮีดรอลกับกลุ่มข้างเคียง (จุรีย์ อนันทการ, 2549)



รูปที่ 2.8 รูปแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อของซิลิกา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Babu *et al.*, 2015

ซิลิกาเป็นสารที่ทนต่อสารเคมีหลายชนิด แต่เมื่อเพิ่มความดัน และอุณหภูมิ ทำให้ซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างและทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อความว่องไวของปฏิกิริยา โดยซิลิกาที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous Silica) มีความว่องไวกว่าซิลิกาโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline Silica) เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่มากกว่าซิลิการูปแบบผลึก (จุรีย์ อนันทการ, 2549 และ ฐิตินันท์ จันทร์เชย, 2556) ซิลิการูปแบบผลึกเป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบและต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ 3 รูปแบบ ควอร์ทซ์ (Quartz) เป็นรูปที่พบมากที่สุด เสถียรที่อุณหภูมิน้อยกว่า 870 องศาเซลเซียส ไทรดิไมท์ (Tridymite) เสถียรที่อุณหภูมิ 870-1,470 องศาเซลเซียส และคริสโตบาไลท์ (Cristobalite) เสถียรที่อุณหภูมิ 1,470 องศาเซลเซียส และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,713 องศา

เซลเซียส ผลึกทั้งสามรูปนี้สามารถเปลี่ยนรูปแบบไปมาระหว่างกันได้โดยการให้ความร้อนหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง (Inversion) ดังนี้ (จุรีย์ อนันทการ, 2549)

ควอร์ทซ์ (Quartz) ⇌ 870 °C ⇌ ไตรดิไมท์ (Tridymite) ⇌ 1,470 °C ⇌ คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) ⇌ หลอมเหลว

ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Biogenic Silica) หรือสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว รูปไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบอาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือ แอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบ เช่น Siloxane (-Si-O-Si-), Silonol (-Si-O-H -), Silane (-Si-H), Organic Silicon (-Si-O-R หรือ -Si-C-R)

การสังเคราะห์จะสามารถสังเคราะห์ได้จากการให้ความร้อนจนมีสภาวะเป็นไอ และการตกตะกอนสารละลาย แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ได้แก่

1) ซิลิกาแก้ว (Silica Glass) เป็นของแข็ง ไม่มีรูพรุน ผลิตได้จากการหลอมเหลวผลึกซิลิกาอสัณฐานแล้วปล่อยให้เย็นตัว

2) ซิลิกาเจล (Silica Gel) มีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง มีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิด และมีพื้นที่ผิวสูง แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือแอโรเจล (Aerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง น้ำหรือตัวทำละลายถูกกำจัดด้วยวิธีสกัดแบบซูเปอร์คริติคอล เตรียมได้จากกระบวนการทำแห้ง ณ อุณหภูมิเหนือจุดวิกฤตอัลโคเจล (Alcogel) มีลักษณะเป็นเจล เตรียมได้จากอัลคอกซี-ไซเลน อะควาเจล (Aquagel) มีลักษณะเป็นเจลเหลว ภายในมีน้ำมาก เตรียมได้จากสารละลาย และซีโรเจล (Xerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง จากการกำจัดน้ำออกด้วยการระเหย มีโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

3) ซิลิกาผง (Powder Silica) เป็นซิลิกาที่เตรียมได้จากสภาวะกลายเป็นไอ และการตกตะกอนของสารละลายที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูง เมื่อตกตะกอนจะได้ซิลิกาที่มีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูง ได้แก่ ไบโอจีนิก (Biogenic) เป็นประเภทของอะควาจีนิคชนิดพิเศษประเภทหนึ่งที่พบในพืช และไดอะตอม อะควาจีนิก (Aquagenic) เตรียมได้จากการตกตะกอนในสารละลายหรือจากอะควาเจล และไพโรจีนิก (Pyrogenic) เตรียมได้จากการระเหยของซิลิกาโดยใช้เปลวไฟหรือการอาร์ค (Arc) ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน และเกิดการรวมตัวกันทางกายภาพ หรือเกิดจากการรวมตัวกันทางเคมีของไอสารประกอบซิลิคอนจากเปลวไฟของไฮโดรเจนกับออกซิเจน

ซิลิกาเป็นสารที่เตรียมได้ง่ายจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นสารในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง และความหนาแน่นใน

วัสดุอื่นๆ ใช้เป็นสารเพิ่มแรงยึดติดในผลิตภัณฑ์กาว ใช้เป็นสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็งที่แขวนลอยในของเหลว ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น จารบี หมึกพิมพ์ สี ยา เป็นต้น ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ทำให้สารที่ไม่ละลายผสมเข้ากันได้ดี เช่น น้ำกับน้ำมัน ใช้เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดโฟม ใช้เป็นสารดูดความชื้น ใช้เป็นสารเติมแต่ง และใช้เป็นสารเพิ่มความเงา เป็นต้น

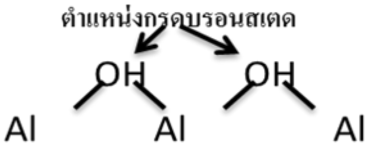
2.5 อะลูมินา

อะลูมินา (Al_2O_3) หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ เกิดจากสารประกอบระหว่างอะลูมิเนียม (Al) และออกซิเจน (O) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่ละลายน้ำ อะลูมินาเป็นสารที่ผลิตได้มาจากแร่บอกไซต์ (Bauxite) โดยนำแร่ชนิดนี้มากำจัดสิ่งเจือปนออกแล้วละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) ได้เป็นสารละลายโซเดียมอะลูมิเนต ตะกอนของซิลิกาและเหล็ก จากนั้นนำไปทำการแยกตะกอนออก แล้วนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เป็นอะลูมินาไตรไฮเดรต ดังสมการ (ฐิตินันท์ จันทร์เชย, 2556)

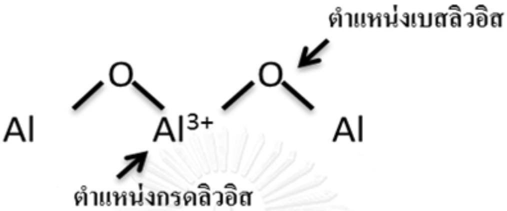
$$2NaOHAlO_2 + {}_4H_2O \longrightarrow Al_2O_3.3H_2O + 2NaOH \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

อะลูมินาสามารถแบ่งออกได้จากความแตกต่างของหมู่ไฮดรอกซิลกรุ๊ป (OH) จากโมเลกุลของน้ำ กล่าวคือเมื่ออะลูมินาสัมผัสกับความชื้นจะทำให้ผิวหน้าปกคลุมด้วยโมเลกุลของน้ำ เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 150 องศาเซลเซียสจะเกิดการคายโมเลกุลของน้ำ แต่ยังมีหมู่ OH อยู่ทำให้อะลูมินามีความเป็นกรด บรอนสเตด (Bronsted) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้และรับโปรตรอน (H^+) แบบอ่อนอยู่ (รูปที่ 2.9) และเพิ่มอุณหภูมิด้วยการแคลไซน์ (Calcination) หรือการเผาที่อุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียส จะทำให้ลดตำแหน่งกรดบรอนสเตด โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หมู่ OH จะรวมตัวใกล้กันและปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา (H_2O) ทำให้เกิดเป็น Al^{3+} ซึ่งเป็นตำแหน่งของกรดลิวอิส (Lewis) ดังรูปที่ 2.10) โดยเป็นตำแหน่งให้และรับอิเล็กตรอนคู่ซึ่งมีผลต่อความเป็นกรดและเบสของอะลูมินา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.9 การหลุดออกของโมเลกุลน้ำจากผิวหน้าอะลูมินา
ที่มา: นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งที่กรดลิวอิส
ที่มา: ดัดแปลงจาก นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556

อะลูมินาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้ (ฐิตินันท์ จันทร์เชย, 2556)

1) คอรันดัม (Corundum) เป็นอะลูมินาธรรมชาติที่มีรูปแบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) หรือรูปแบบผลึกแบบหกเหลี่ยม มีสีสันหลากหลาย และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามสี เช่น สีแดงหรือสีม่วงเรียกทับทิม (Ruby) สีฟ้าหรือสีน้ำเงินเรียกแซพไพร์ (Sapphire) และสีเหลืองเรียก บุษราคัมไทย (Yellow Sapphire) เป็นต้น

2) แอลฟา-อะลูมินา (α-Alumina) เป็นอะลูมินาได้จากการเผาอะลูมินาออกไซด์ที่อุณหภูมิมากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะได้เป็นแอลฟา-อะลูมินา (α-Alumina) ซึ่งเป็นอะลูมินาที่มีความเสถียรมากที่สุด

3) ทรานซิชัน-อะลูมินา (Transition-Alumina) เป็นอะลูมินาสังเคราะห์ที่เกิดจากการเผาที่อุณภูมิต่ำกว่า 1,100 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย Chi (λ), Kappa (K), Gamma (Υ), Delta (δ),Theta (θ), Eta (η) และแอลฟา (α)

เนื่องจากอะลูมินาเป็นสารที่มีความแข็ง มีความหนาแน่นสูง ทนต่อการสึกกร่อน และทนสารเคมี จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมการผลิตฉนวนไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู

2.6 การสังเคราะห์สารประกอบอะลูมินา-ซิลิกา

สารประกอบอะลูมินาซิลิกาถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อการใช้งานทางด้านการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ซิลิกาเป็นวัสดุรองรับ และอะลูมินาเป็นสารที่เพิ่มความเป็นกรดให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะมีความเป็นกรดสูงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านเคมี และปิโตรเลียม โดยโครงสร้างของสารประกอบอะลูมินาซิลิกาจะเกิดจากการรวมตัวของ Al^{3+} และ Si^{4+}ภายในโครงสร้างของซิลิกา

ในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบซิลิกา-อะลูมินา ทำได้โดยการนำอะลูมิเนียมไอโซโพรพร็อกไซด์ (Aluminium Isopropoxide) ซึ่งเป็นแหล่งของอะลูมินาเพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา มาละลายกับตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ซึ่งเป็นตัวพาโมเลกุลของอะลูมินาเข้าสู่ช่องว่างหรือรูพรุนภายในซิลิกา ทำให้เกิดเป็นตำแหน่งกรดบรอนสเตตไซต์ (Bronsted Acid Site) จากนั้นนำไปอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดตัวทำละลายและสารอื่นๆ ออก จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซิลิกา-อะลูมินา จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้ในการเร่งปฏิกิริยา (ฐิตินันท์ จันทร์เชย, 2556)

2.7 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจำเป็นต้องตรวจสอบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความเหมาะสม หรือจำเพาะต่อปฏิกิริยาที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (X-RAY Fluorescence Spectrometry: XRF)

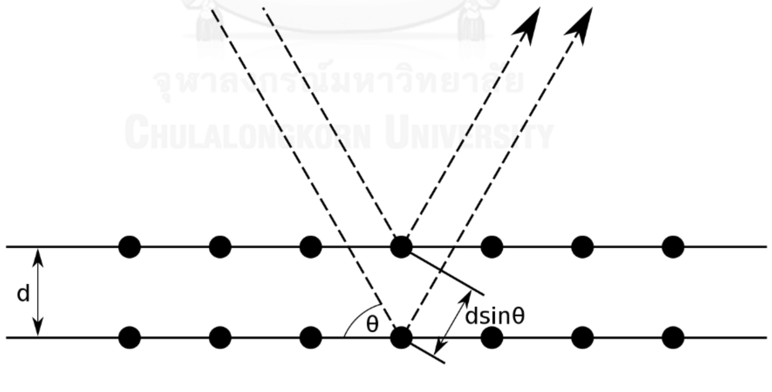
เป็นเทคนิคที่ใช้หาชนิด และปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลวได้ โดยมีข้อดีคือไม่ทำลายเอกลักษณ์ของสาร กล่าวคือเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-Destructive Analysis) เทคนิค XRF อาศัยหลักการโดยการปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงไปกระทบชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการปล่อยโฟตอนออกมา (Fluoresced) เนื่องจากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมากจากธาตุชนิดต่างๆ ในชิ้นงานจะมีความยาวคลื่น (พลังงาน) เฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถ

บ่งชี้ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ทั้งนี้ปริมาณโฟตอนที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุนั้นๆในสารตัวอย่างข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ (นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556 และ วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, 2558)

2.7.2 การตรวจสอบโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-RAY Powder Diffraction:XRD)

เป็นเทคนิคที่ใช้พิสูจน์หาโครงสร้างและผลึกของสารด้วยการยิงรังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวของคลื่นไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆ กัน ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีองศาในการเลี้ยวเบนต่างกัน ทำให้บอกโครงสร้างและองค์ประกอบของสารแต่ละชนิด สามารถบอกความเป็นผลึกของสารแต่ละชนิดได้ เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ในการวิเคราะห์ XRD จะไม่ทำลายเอกลักษณ์ของสารตัวอย่าง ทำให้สามารถนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่นๆ ได้อีก

หลักการวิเคราะห์โดยอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบดังรูปที่ 2.11 (นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556 และ วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, 2558)



รูปที่ 2.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก

ที่มา: ดัดแปลงจาก นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556

จากรูปที่ 2.11 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg 's Law คือ

$$n\lambda = 2d\sin\theta \qquad \text{สมการที่ 2.8}$$

n = เลขจำนวนเต็ม

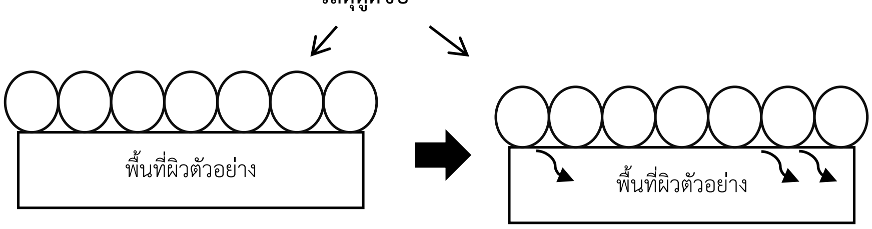
λ = ความยาวคลื่น (A°)

d = ระยะห่างระหว่างระนาบ (A°)

θ = มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบ (degree)

2.7.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการดูดซับแก๊สด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Tell (BET) surface area

BET เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว (Surface Area) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยอาศัยทฤษฎีของนักวิจัย Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller ที่พบว่าการดูดซับก๊าซของผิวหน้าและรูพรุนทั้งหมดของวัสดุ จะมีส่วนหนึ่งเคลือบของผิววัสดุก่อนจากนั้นแก๊สที่เหลือจะแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น (สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล, 2555) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ
ที่มา: ดัดแปลงจาก สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล, 2555

เขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/Po) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น เป็นสมการที่ เรียกว่า “สมการของ BET” ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W\left[\left(\frac{P_0}{P}\right) - 1\right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C - 1}{W_m C}\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

สมการที่ 2.9

W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ P/PO

Wm = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว

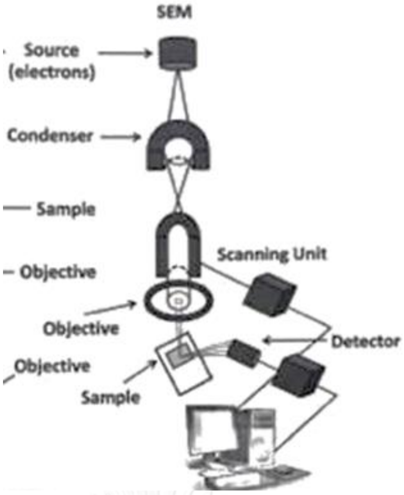
P = ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในขณะทำการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

Po = ความดันอิ่มตัวขอแก๊สไนโตรเจน (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

C = ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ

2.7.4 การวิเคราะห์หาสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (Scanning electron microscopy: SEM)

เป็นเทคนิคที่พิสูจน์ทราบหารูปทรง ขนาด และการกระจายตัวผลึกหรืออนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร และให้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว ความพรุน หรือช่องว่างระหว่างอนุภาค โดยการส่องกราดลำอิเล็กตรอนลงบนตัวอย่างด้วยกำลังขยายตั้งแต่ x20 ถึง x30,00 และระดับความลึกไม่เกิน 500 อังสตรอม มีหลักการทำงานโดยการระดมยิงลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่มีพลังงาน 5-30 กิโลอิเล็กตรอน (Kev) ลงบนพื้นผิวสารตัวอย่าง จากปืนอิเล็กตรอน และเร่งผ่านสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารตัวอย่าง จากนั้นดีเทคเตอร์ภายในเครื่องจะตรวจจับอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เก็บข้อมูล และแปลงสัญญาณอิเล็กตรอนเป็นสัญญาณไฟฟ้าหรีสัญญาณภาพแล้วแสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ (นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556)



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของเครื่อง Scanning Electron Microscopy

ที่มา: นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, 2556

ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานอกจากจะใช้สารตั้งต้นจากสารเคมีแล้วยังสามารถใช้แหล่งสารตั้งต้นมาจากสิ่งมีชีวิตได้ โดยการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา อะลูมินาจะได้จากแร่บอกไซต์ (Boxite) ส่วนซิลิกาสามารถผลิตได้จากสิ่งมีชีวิต (พัชรินทร์ วธธนกุล, 2553) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพืช พบว่าพืชมีธาตุอาหารสำคัญคือซิลิกอน (Si) ซึ่งเมื่อนำมาสกัดโดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้เป็นซิลิกา โดยพบมากในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น อ้อย ข้าว ข้าวโพด และหญ้าคา เป็นต้น (ไกรทิพย์ ทองฤทธิ์ และ ไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ, 2554) จากการศึกษาของ Eng-Poh และคณะ (2015) ได้สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาชนิดซีโลไลต์โดยการเตรียมแหล่ง ซิลิกาจากเถ้าแกลบ Loiha และคณะ (2009) ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดบีตาจากการเตรียมแหล่งซิลิกาจากแกลบ ซึ่งทั้ง 2 งานวิจัยนี้ได้นำวัตถุดิบที่เป็นพืชมาผ่านการบำบัดด้วยกรดเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์ทำให้ซิลิกาที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น (นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ, 2556) และกรดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Chandrasekhar, Pramada, & Praveen, 2005) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา โดยใช้อะลูมินาทางการค้าและซิลิกาที่เตรียมได้จากพืช

2.8 หญ้าคา

หญ้าคา (*Imperata cylindrical* Beauv) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่พบในบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศไทย หญ้าคาเป็นพืชที่มีลำต้นใต้ดินเป็นเส้นกลมสีขาว เจริญใต้ผิวดินแตกแขนงได้รวดเร็วและมากมาย ลำต้นเหนือพื้นดินมีลักษณะแข็ง ตั้งตรงเป็นกอสูงประมาณ 30 - 150 เซนติเมตร มี 2-4 ข้อ และบริเวณข้อมีขน ลักษณะของใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว แข็ง และสากแผ่นใบแคบเรียวปลายใบแหลมยาวถึงประมาณ 150 เซนติเมตร ออกดอกเป็นแบบช่อแขนง รูปทรงกระบอก ดอกมีลักษณะฟูสีขาวเป็นมัน และมีลักษณะของผลแบบธัญพืช รูปร่างเรียวสีน้ำตาลหญ้าคาขยายพันธุ์โดยเมล็ดและส่วนลำต้นใต้ดิน พบขึ้นทั่วไปในทุกภาคของประเทศ ตามริมทาง ที่รกร้าง ในสวน ไร่ แต่ไม่ขึ้นในที่ร่มเงา

หญ้าคาเป็นวัชพืชที่สามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและกำจัดได้ยาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเกษตรกรอย่างมาก จากการศึกษาของไกรทิพย์ ทองฤทธิ์ และ ไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ (2554) พบองค์ประกอบของซิลิกาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดต่างๆ ที่ผ่านการสกัดด้วยการสลายตัวด้วยความร้อน หรือการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าหญ้าคามีองค์ปะกอบของซิลิกาสูงถึงร้อยละ 65.55 ซึ่งเมื่อนำหญ้าคามาเป็นแหล่งวัตถุดิบในการสกัดซิลิกา จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบที่มีอยู่ในธรรมชาติของประเทศไทย และลดปริมาณการนำเข้าซิลิกาจากต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chandrasekhar และคณะ (2005) ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของแกลบเพื่อผลิตเป็นซิลิกา โดยการทดลองหาชนิดของกรดและความเข้มข้นที่เหมาะสม พบว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมีของแกลบได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดไนตริก (HNO_3) กรดอะซิติก (CH_3COOH) และกรดออกซาลิก ($H_2C_2O_4$)

Eng-Poh และคณะ (2015) ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินาชนิดซีโอไลต์ โดยการเตรียมแหล่งซิลิกาจากเถ้าแกลบ ที่ผ่านการบำบัดด้วยกรดไนตริก (Nitric acid) และนำมาเผาได้ซิลิกาอสัณฐาน เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ ได้ผลึกนาโนซีโอไลต์รูปทรงหกเหลี่ยมที่เวลา 28 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และมีสัดส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา (Si/Al) เท่ากับ 1.28 โดยได้ร้อยละของผลผลิตผลึกเท่ากับ 75

Jan และคณะ (2010) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการสลายตัวทางความร้อนกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยของพลาสติกประเภท HDPE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างง่าย คือ $MgCO_3$ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยผ่านการสลายตัวทางความร้อนแบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลาที่นานกว่าคือ 120 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไขถึงร้อยละ 90 แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามาร่วมด้วยจะใช้เวลาที่น้อยลงคือ 90 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวร้อยละ 92 ของปริมาณน้ำหนักพลาสติก

Loiha และคณะ (2009) ได้ทำการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดบีตาจากการเตรียมแหล่งซิลิกาจากแกลบ โดยนำแกลบไปผ่านการบำบัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์ จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ได้ซิลิกาอสัณฐาน เพื่อเป็นแหล่งของซีโอไลต์ และทำการปรับสัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา (Si/Al) ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล ที่อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา 8-20 จะพบซีโอไลต์ชนิดบีตา และ 50-200 จะพบซีโอไลต์ชนิด ZSM-12

Panda และ Sin (2010) ได้ศึกษาการสลายตัวทางความร้อนของพลาสติกชนิด PP ร่วมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา–อะลูมินา และ Kaoline ซึ่งซิลิกา–อะลูมินามีองค์ประกอบของซิลิการ้อยละ 42.45 และ อะลูมินาร้อยละ 35.13 ส่วน Kaolinenมีองค์ประกอบของซิลิกา ร้อยละ 43.12 และอะลูมินาร้อยละ 46.07 ที่อุณหภูมิ 400 – 550 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดระยะเวลา ในการเกิดปฏิกิริยาและให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สูงขึ้นโดยตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์น้ำมากถึงร้อยละ 91 ส่วน Kaoline ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 89.50 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อปริมาณพลาสติกอยู่ที่ 1:3

Syamsiro และ คณะ (2010) พบว่าพลาสติกสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ด้วยกระบวนการสลายตัวทางความร้อน หรือเรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 400 - 800 องศาเซลเซียส ในภาวะไร้ออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวหรือน้ำมัน แก๊ส และของแข็งหรือคาร์บอนแบล็ค ซึ่งในการทดลองนำพลาสติกประเภท HDPE และ PE ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันดังนี้ น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเตา

ไกรทิพย์ ทองฤทธิ์ และ ไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ (2548) พบองค์ประกอบของ ซิลิกาและอะลูมินา จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น แกลบ ซังข้าวโพด ไผ่หวาน และหญ้าคา โดยนำมาผ่านกระบวนการแยกด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิ 500 -700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและลงทุนไม่สูงโดยพบว่าหญ้าคาที่ผ่านกระบวนการเผาแล้วมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ

ซิลิกา และอะลูมินา ร้อยละ 64.55 และ 3.69 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งมีองค์ประกอบซิลิกาอะลูมินาในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้

ฐิตินันท์ จันทร์เชย (2556) ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินา-ซิลิกา โดยใช้สารตั้งต้นซิลิกาจากซิลิกาทรงกลม (Spherical Silica Particle) และอะลูมิเนียมไอโซโพรพรอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide 98%) เพื่อใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดน้ำในเอทานอล (Etanol Dehydration) โดยการละลายอะลูมิเนียมไอโซโพรพรอกไซด์ในไอโซโพรพานอล (Isopropanol) เพื่อเป็นตัวทำละลายนำอนุภาคของอะลูมิเนียมไอโซโพรพรอกไซด์เข้าสู่ซิลิกาทรงกลมซึ่งใช้เป็นวัสดุรองรับในตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำไปเผาเพื่อกำจัดความชื้นด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาตรวจสอบคุณสมบัติด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือที่ 60% $Al(OP^{i})_3$

นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษลักษณะเฉพาะของซิลิกาบริสุทธิ์จากแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรด โดยนำแกลบมาผ่านการบำบัดด้วยสารละลายกรดไฮโดร คลอริก เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ต้มจนเดือด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และโลหะอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำออก พบว่าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดและตามด้วยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส มีปริมาณซิลิกา พื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดจะช่วยชะล้างโลหะที่อยู่ในแกลบออกไปทำให้ซิลิกามีความบริสุทธิ์สูงขึ้น จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับหรือเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

การประยุกต์หญ้าคา *Imperata cylindrica* Beauv เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงบนเกาะสีชังเป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาจากหญ้าคาเพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงบนเกาะสีชัง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง เพื่อจำลองอัตราส่วนชนิดของขยะพลาสติกที่พบบนเกาะสีชัง ระยะที่ 2 ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการแยกซิลิกาจากหญ้าคาผ่านการปรับปรุงสมบัติหญ้าคาด้วยกรดร่วมกับการเผา หาภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากหญ้าคา และสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยหาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสม ระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาต่อปริมาณพลาสติกที่เหมาะสม เปรียบเทียบผลการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคากับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1) หญ้าคา (*Imperata cylindrical* Beauv)

2) ขยะพลาสติก (Plastic Waste)

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, 37%) : AnalaR

2) อะลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide, 98%) : Aldrich

3) ไอโซโพรพานอล (Isopropanal) : Merck

3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาประกอบด้วย

1) เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ แท่งแก้ว

2) เครื่องบดชนิดหยาบและละเอียด (Hammer Mill)

3) เตาเผาความร้อนสูง (Muffle FurnaceLT 5/11/P 330, Germany)

4) ตู้อบความร้อน (Isotemp Oven, Model 725F, Fisher Scientific, U.S.A.)

5) แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Bar)

6) เครื่องกวนสารแม่เหล็ก (Megnetic Stirrer)

7) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Model ML 1602, Mettler Toledo, Swizerland)

8) เครื่องชั่ง (Weighing Scale)

9) ถ้วยกระเบื้อง (Crusible)

10) โถปลอดความชื้น (Crucible)

11) ถาดสแตนเลส (Stainless Steel Tray)

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

1) เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer : XRD) รุ่น SIEMENS D5000 จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจหาโครงสร้างและผลึกของสาร ด้วยการยิงรังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวของคลื่นไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกัน โดยวัดที่มุม 2θ ช่วง 1-50 องศา ทุกๆ 0.02 องศา

2) เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence : XRF) รุ่น Bruker S8 จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

3) เครื่องวัดพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน (BET Surface Area) โดยใช้เครื่อง Brunauer-Emmett-Tell (BET) surface area analyzer จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจหาพื้นที่ผิว ปริมาณรูพรุน ขนาดรูพรุนของตังเร่งปฏิกิริยาโดยวัดการดูดซับของแก๊สไนโตรเจนบนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

4) เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JSM-5800 LV จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นการวัดลักษณะสัณฐาน (Morphology) และขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเทคนิคที่ช่วยให้เห็นลักษณะตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดอะตอม ซึ่งใช้ลำอิเล็กตรอนแทนส่องลงบนชิ้นงาน และเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นสัญญาณข้อมูลภาพ

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1) ชุดเครื่องปฏิกรณ์น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Plastic Oil Reactor)

2) ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature Control)

3) เตาให้ความร้อน (Furnace)

4) เทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple)

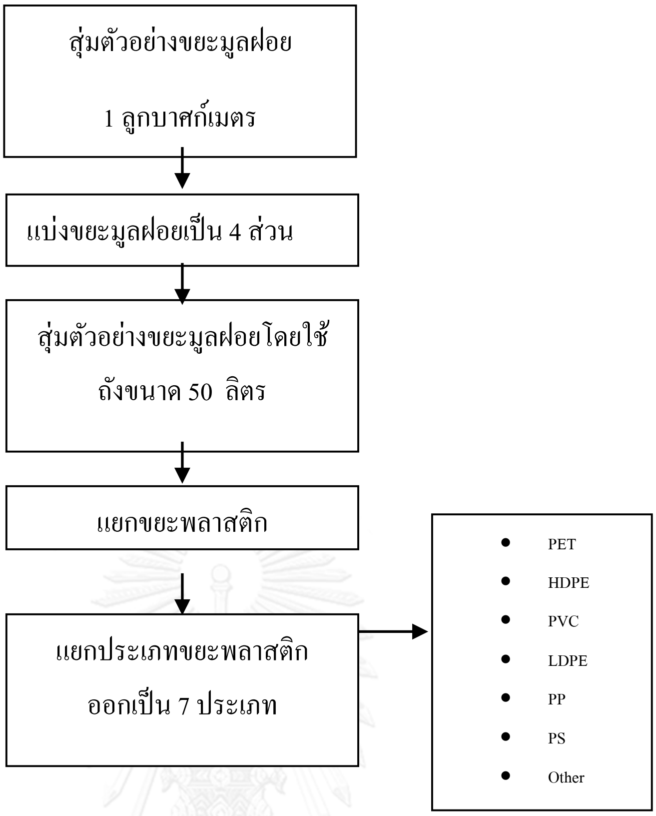
3.4. ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนการดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

3.4.1 ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง

ทำการศึกษาองค์ประกอบขยะพลาสติก ณ ลานเทกองขยะด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) โดยการสุ่มขยะมูลฝอยมา 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วนและสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยโดยใช้ถังขนาด 50 ลิตร ทำการแยกขยะพลาสติกออกจากขยะชนิดอื่นๆ แล้วนำมาแยกเป็นขยะพลาสติก 7 ประเภท ได้แก่ พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) และพลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก (Others) ดังรูปที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.1 วิธีการแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ส่วน (Quartering Method)

3.4.2 ระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

3.4.2.1 เตรียมซิลิกาจากหญ้าคา

<u>การเตรียมหญ้าคา</u>

นำหญ้าคาแห้งปริมาณ 2 กิโลกรัม ที่เก็บเกี่ยวจากอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ในช่วงเดือนมกราคมมาตัดให้ได้ขนาด 15 เซนติเมตร นำไปล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และตากให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปสับเพื่อลดขนาด และทำการตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF

<u>การปรับปรุงสมบัติหญ้าคาด้วยกรด</u>

หญ้าคาที่ได้จากการเตรียมถูกนำมาต้มในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่เดือด เป็นเวลา 90 นาที (หญ้าคา 1000 กรัม : กรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร) จากนั้น

นำมาล้างด้วยน้ำกลั่น และอบเพื่อไล่ความชื้นที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบความร้อน

<u>กระบวนการแยกซิลิกา</u>

นำหญ้าคาที่ได้หลังจากการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดปริมาณ 100 กรัม มาเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากหญ้าคา

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาจากหญ้าคา

นำเถ้าหญ้าคาที่ได้จากการปรับปรุงด้วยกรดและเผาที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาจาก หญ้าคา ได้แก่ องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscope (XRF) โครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค N_2 Adsorption/Desorption (BET Surface area) และลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

3.4.2.2 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา

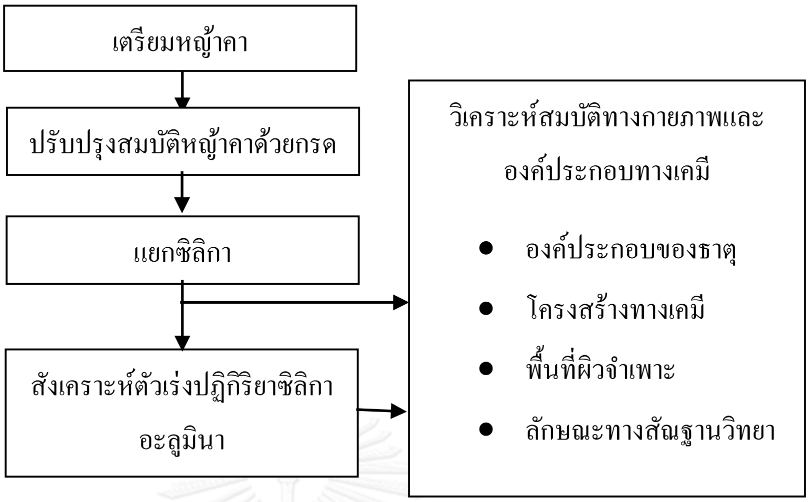
<u>เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่ร้อยละอัตราส่วนโดยมวลของซิลิกาต่ออะลูมินาต่างกัน</u>

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่ร้อยละอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่ 20, 40, 60, 80 เตรียมอะลูมิเนียมไอโซโพรพรอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide) และไอโซโพรพานอล (Isopropanol) โดยกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมซิลิกาที่เตรียมได้จากหญ้าคา ให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

<u>วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้</u>

นำเถ้าหญ้าคาที่ได้จากการปรับปรุงด้วยกรด และเผาที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาดังนี้ องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค XRF โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET Surface area และลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

โดยการศึกษาในระยะที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

3.4.3 ระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

3.4.3.1 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

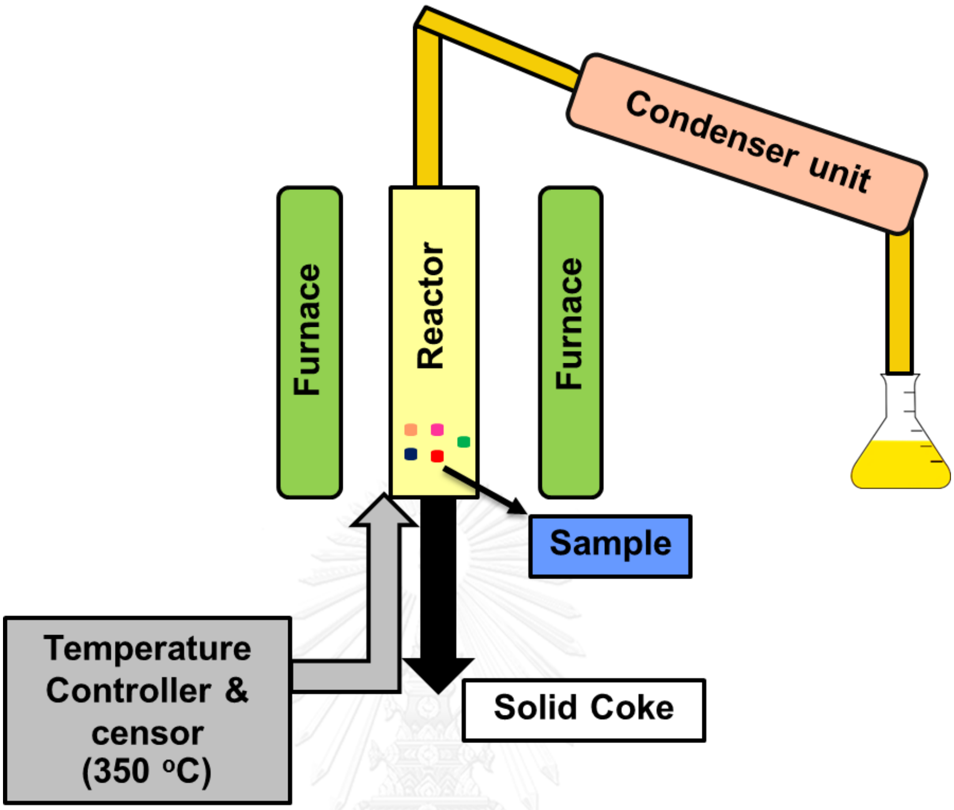
<u>ขั้นตอนการเตรียมขยะพลาสติก</u>

เลือกขยะพลาสติกประเภทที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันได้ ได้แก่ PET, HDPE, LDPE, PP และ PS มาล้างทำความสะอาด อบให้แห้ง และตัดให้มีขนาดเล็กลง

<u>ขั้นตอนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก</u>

นำพลาสติกที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมพลาสติกปริมาณ 15 กรัม จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Plastic Oil Reactor) (รูปที่ 3.3) โดยบันทึกปริมาณน้ำมันสะสมและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปทุกๆ 5 นาที จนถึง 350 องศาเซลเซียส และคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้ของน้ำมันที่เกิดขึ้น (สมการที่ 3.1)

$$\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน (\% Oil Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น}\ x\ 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \qquad \text{สมการที่ 3.1}$$

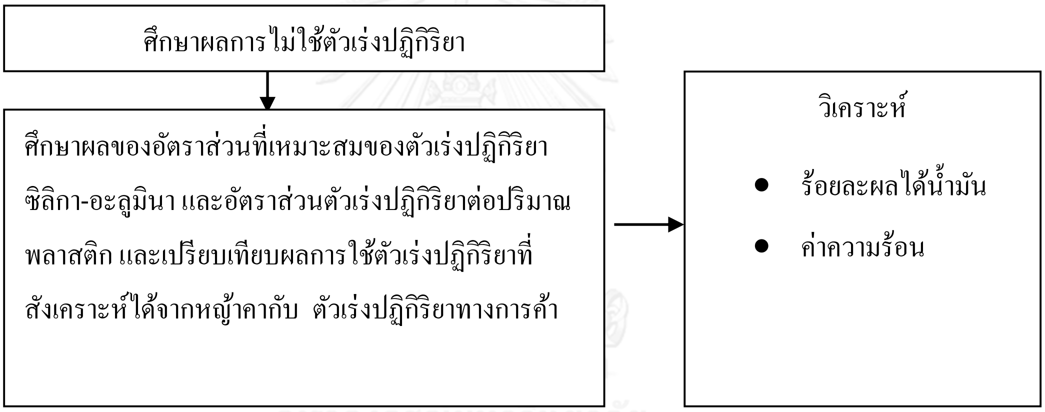


รูปที่ 3.3 แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์น้ำมันไพโรไลซิส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.3.2 ศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 โดย เติมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่ร้อยละ อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่ 20, 40, 60, 80 โดยมวล จากการสังเคราะห์ปริมาณร้อยละ 10 จากนั้นนำอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการคำนวณหาร้อยละผลได้น้ำมันมาทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติกที่ร้อยละ 20 และ 30 โดยวัดร้อยละผลได้ของน้ำมัน ค่าความร้อน (Calorific Value) และเปรียบเทียบผลการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคากับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกเป็นน้ำมัน โดยการศึกษาในระยะที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระยะที่ 3 การใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาจากหญ้าคาเพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงบนเกาะสีชังโดยแบ่งระยะในการศึกษาออกเป็น 3 ระยะได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง เพื่อจำลองอัตราส่วนชนิดของขยะพลาสติกที่พบบนเกาะสีชัง ระยะที่ 2 ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการแยกซิลิกาจากหญ้าคาผ่านการปรับปรุงสมบัติหญ้าคาด้วยกรดร่วมกับการเผา โดยหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากหญ้าคา และสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยหาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสม ระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาต่อปริมาณพลาสติกที่เหมาะสม และเปรียบเทียบกับผลการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

4.1 ผลการศึกษาระยะที่ 1 องค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง

จากการศึกษาองค์ประกอบขยะพลาสติก ณ ลานเทกองขยะด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของขยะพลาสติกที่พบ ณ ลานเทกองขยะบนเกาะสีชัง

ประเภทพลาสติก	สัดส่วน ร้อยละ
พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต (Polyethylene terephthalate: PET)	11.76
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE)	47.32
พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC)	2.20
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE)	21.37
พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP)	8.63
พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS)	7.31
พลาสติกอื่นๆที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก (Others)	0.28

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะพลาสติกที่พบ ณ ลานเทกองขยะบนเกาะสีชัง พบว่าขยะพลาสติกชนิดที่พบมากที่สุดคือ HDPE ร้อยละ 47.32 รองลงมาคือ LDPE ร้อยละ 21.37 และ PET ร้อยละ 11.76 ตามลำดับ เนื่องด้วยสภาพพื้นที่เป็นเกาะและสถานที่ท่องเที่ยวที่มีร้านค้าและร้านสะดวกซื้อจำนวนมากทำให้ประชากรส่วนใหญ่และนักท่องเที่ยวนิยมซื้อสินค้าที่ใส่ถุงพลาสติกเพื่อความสะดวก ประกอบกับพื้นที่โดยรอบเป็นทะเลทำให้ต้องซื้อน้ำเข้ามาดื่มภายในเกาะ จึงทำให้ขยะส่วนใหญ่ที่พบเป็นถุงพลาสติก และขวดน้ำจำนวนมาก

พลาสติกที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่ PET HDPE PVC LDPE PP PS และอื่นๆ โดยพลาสติกแต่ชนิดจะมีโครงสร้างของพอลิเมอร์แตกต่างกัน ได้แก่ โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้นจะประกอบด้วยพลาสติกชนิด HDPE PS PVC PET และโครงสร้างพอลิเมอร์แบบกิ่งประกอบด้วยพลาสติกชนิด LDPE โดยโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้นจะมีการจัดเรียงตัวของมอนอร์เมอร์เรียงชิดกันอย่างหนาแน่นทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโครงสร้างพอลิเมอร์แบบกิ่งที่มีการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์แบบไม่ชิดกันมากทำให้มีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อนำพลาสติกชนิดพอลิเมอร์แบบกิ่งมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีความสามารถในการแตกตัวให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันสูงกว่าพลาสติกชนิดพอลิเมอร์แบบเส้น (พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์, 2009) นอกจากนี้พลาสติกแต่ละชนิดยังให้คุณภาพน้ำมันที่แตกต่างกัน โดยพลาสติกชนิด HDPE LDPE PP จะให้คุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ส่วน PS รองลงมาเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารอะโรมาติกซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำมันต่ำลง และ PVC มีองค์ประกอบของสารคลอรีนซึ่งเป็นอันตรายจึงไม่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง (รัตน์ยาภรณ์ ฉายศรี, 2555) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกชนิดของขยะพลาสติกที่พบมากในเกาะสีชังและสามารถผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้เพื่อทำการศึกษา ได้แก่ พลาสติกประเภท PET HDPE LDPE PP และ PS ซึ่งนำมาจัดอัตราส่วนใหม่ได้ดังนี้ HDPE ร้อยละ 48 LDPE ร้อยละ 22 PET ร้อยละ 13 PP ร้อยละ 10 และ PS ร้อยละ 7

4.2 ผลการศึกษาระยะที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

4.2.1 การเตรียมซิลิกาจากหญ้าคา

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาเพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาโดยผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและเผา แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาจากหญ้าคาดังนี้

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ

เนื่องจากหญ้าคาสามารถพบได้ในหลายภูมิภาคของประเทศไทย ดังนั้นสมบัติของหญ้าคาจึงแตกต่างไปตามลักษณะภูมิประเทศที่พบ โดยหญ้าคาที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้จากจังหวัดสุรินทร์ และนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าคาก่อนการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดด้วยเทคนิค XRF พบว่ามีองค์ประกอบของซิลิกอน (Si) ร้อยละ 1.50 เมื่อนำมาเผาโดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้เป็นซิลิกา (Silica) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าหญ้าคาจะมีปริมาณ Si อยู่แต่พบปริมาณที่น้อยมาก และมีสิ่งเจือปนอยู่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำหญ้าคามาผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดก่อนการเผาเพื่อให้ได้สัดส่วนของซิลิกาเพิ่มสูงขึ้น และในการทดลองได้ศึกษาหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากหญ้าเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุและองค์ประกอบของหญ้าคาหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

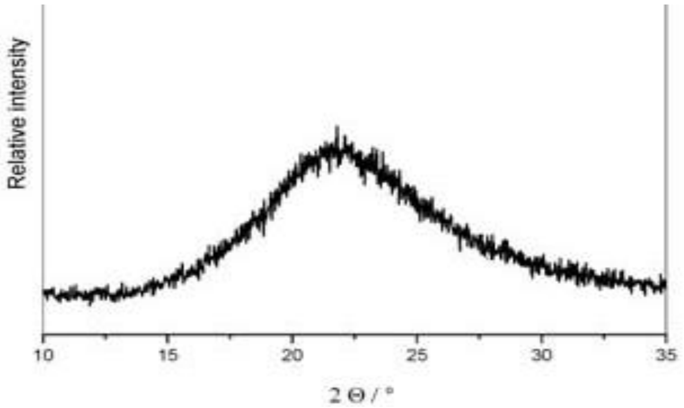
ธาตุองค์ประกอบ (%)	อุณหภูมิ 600 °C		อุณหภูมิ 700°C	
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
SiO_2	97.30	97.70	97.70	97.50
P_2O_5	0.91	0.90	0.70	0.72
CaO	0.43	0.36	0.47	0.53
Fe_2O_3	0.33	0.25	0.23	0.26
SO_3	0.23	0.14	0.17	0.26
Al_2O_3	0.23	0.19	0.13	0.19
ZnO	0.20	0.16	0.27	0.15
MgO	0.14	0.12	0.14	0.15
K_2O	0.16	0.14	0.10	0.14
Other	0.07	0.04	0.09	0.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.2 แสดง ปริมาณธาตุและองค์ประกอบของหญ้าคาหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าธาตุที่พบมากสุดคือซิลิกาอยู่ที่ร้อยละ 97.30 – 97.70 รองลงมาคือ P_2O_5 ร้อยละ 0.72 – 0.91 และ CaO ร้อยละ 0.36 – 0.53 เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาพบว่า ซิลิกาที่ได้จากหญ้าคามีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันเนื่องจากในกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสขึ้นไปสามารถกำจัดสารประกอบคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ออก และการใช้กรดในการปรับปรุงสมบัติสามารถช่วยกำจัดโลหะชนิดอื่นๆ ออกไปได้ โดยกรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ เกิดเป็นโลหะคลอไรด์ (Metallic Chloride) ซึ่งละลายน้ำทำให้ปริมาณของซิลิกาหลังการเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะออกไซด์ชนิดโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ที่พบในหญ้าคาก่อนการเผาและบำบัดด้วยกรดมีปริมาณสูง จะสลายตัวเปนโลหะโปแตสเซียมและเกิดการหลอมที่ผิวของเถ้าหญ้าคา ทำให้คาร์บอนบางส่วนไม่สามารถเผาไหม้ออกไปได้หมด ส่งผลให้ซิลิกาที่ได้รับหลังการเผามีปริมาณต่ำ (นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ, 2556)

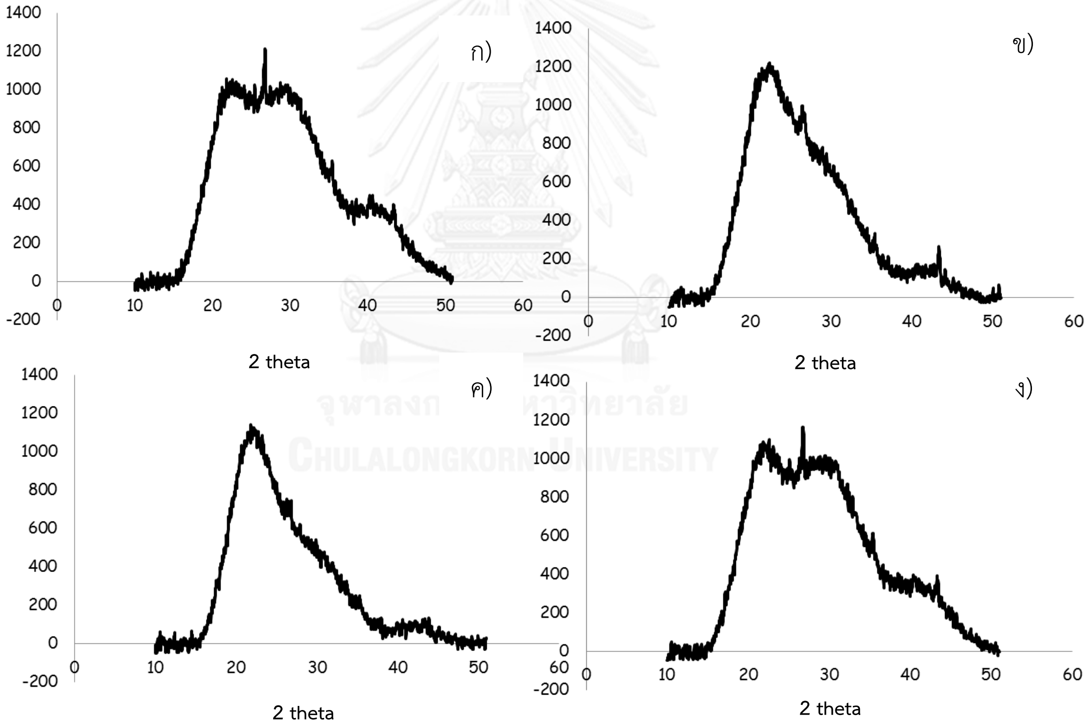
4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาจะให้สัดส่วนของซิลิกาที่ไม่แตกต่างกัน แต่องค์ประกอบของธาตุอื่นๆ มีปริมาณที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อรูปแบบโครงสร้างผลึกของซิลิกาที่ได้รับ ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่าหญ้าคาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง มีลักษณะพีคคล้ายซิลิกาอสัณฐานตามที่รายงานมาก่อนหน้าแล้วโดย Music และคณะ (2011) (รูปที่ 4.1) แต่การเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (รูปที่ 4.2) เกิดพีคที่ประมาณ 22 องศา มีลักษณะพีคที่กว้างคล้ายกับโครงสร้างพีคของซิลิการูปแบบอสัณฐานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าคาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยทั้ง 3 ภาวะนี้มีพีคแหลมเล็กๆเกิดขึ้นที่ประมาณ 27 องศา ซึ่งแสดงโครงสร้างรูปแบบผลึกชนิด ควอตซ์ (Quartz) เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียม (K) จากโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) (ตารางที่ 4.2) ที่เกิดขึ้นหลังการเผาอาจจะไปเร่งให้เกิดการตกผลึกของ ซิลิกาอสัณฐานไปเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystal) (นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ, 2556) ซึ่งซิลิการูปแบบผลึกจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุนที่น้อยกว่าทำให้ไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนที่สูง เพื่อให้เกิดความว่องไวในการทำปฏิกิริยา (พัชรินทร์ วธธนกุล, 2553)



รูปที่ 4.1 โครงสร้างซิลิการูปแบบผลึกอสัณฐานจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

ที่มา: Music และคณะ, 2011



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการเผาที่ ก) 600 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ข) 600 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ค) 700 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง และ ง) 700 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1.3. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ

จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนด้วยเทคนิค BET (ตารางที่ 4.3) พบว่า ซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนสูงที่สุด (172 ตารางเมตร/กรัม และ 0.43 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ที่พบว่า ซิลิกาที่ผ่านการเตรียมด้วยช่วงอุณหภูมิและระยะเวลานี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นอสัณฐานมากที่สุด เนื่องจากซิลิกาที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานทำให้มีพื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุรองรับในการผลิตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (พัชริทร์ วธธนกุล, 2553)

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของหญ้าคาหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

สมบัติ	**อุณหภูมิ 600 °C**		**อุณหภูมิ 700°C**	
	2 ชั่วโมง	**4 ชั่วโมง**	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**
พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	130	108	172	90
ปริมาณรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	0.37	0.31	0.45	0.34

4.2.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากซิลิกาที่ได้จากหญ้าคาร่วมกับอะลูมินาทางการค้าที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวล ประกอบด้วยการวิเคราะห์ดังนี้ องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค XRF โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET Surface area ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ของประกอบธาตุ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของตังเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อัตราส่วนอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวล ด้วยเทคนิค XRF พบว่าปริมาณอะลูมินาจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของอะลูมินาโดยอยู่ในช่วงร้อยละ 24.30-77.90 ส่วนซิลิกาจะมีปริมาณที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอะลูมินาอยู่ที่ร้อยละ 21.50-73.20 (ตารางที่ 4.4)

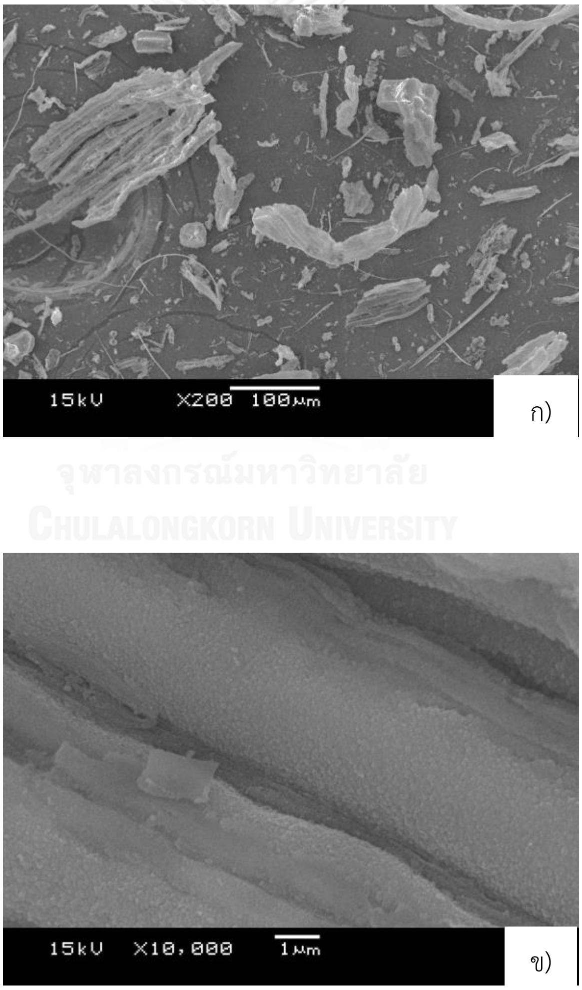
ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ20 40 60 และ 80 โดยมวล

ธาตุองค์ประกอบ (%)	**20%Al**	**40%Al**	**60%Al**	**80%Al**
SiO_2	73.20	60.90	37.60	21.50
Al_2O_3	24.30	37.20	61.10	77.90
CaO	0.71	0.53	0.41	0.15
SO_3	0.53	0.47	0.29	0.23
P_2O_5	0.38	0.26	0.19	0.00
Na_2O	0.36	0.31	0.19	0.00
MgO	0.16	0.00	0.00	0.00
Fe_2O_3	0.15	0.12	777 PPM	684 PPM
K_2O	0.11	760 PPM	529 PPM	300 PPM
Other	0.10	0.21	0.22	0.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

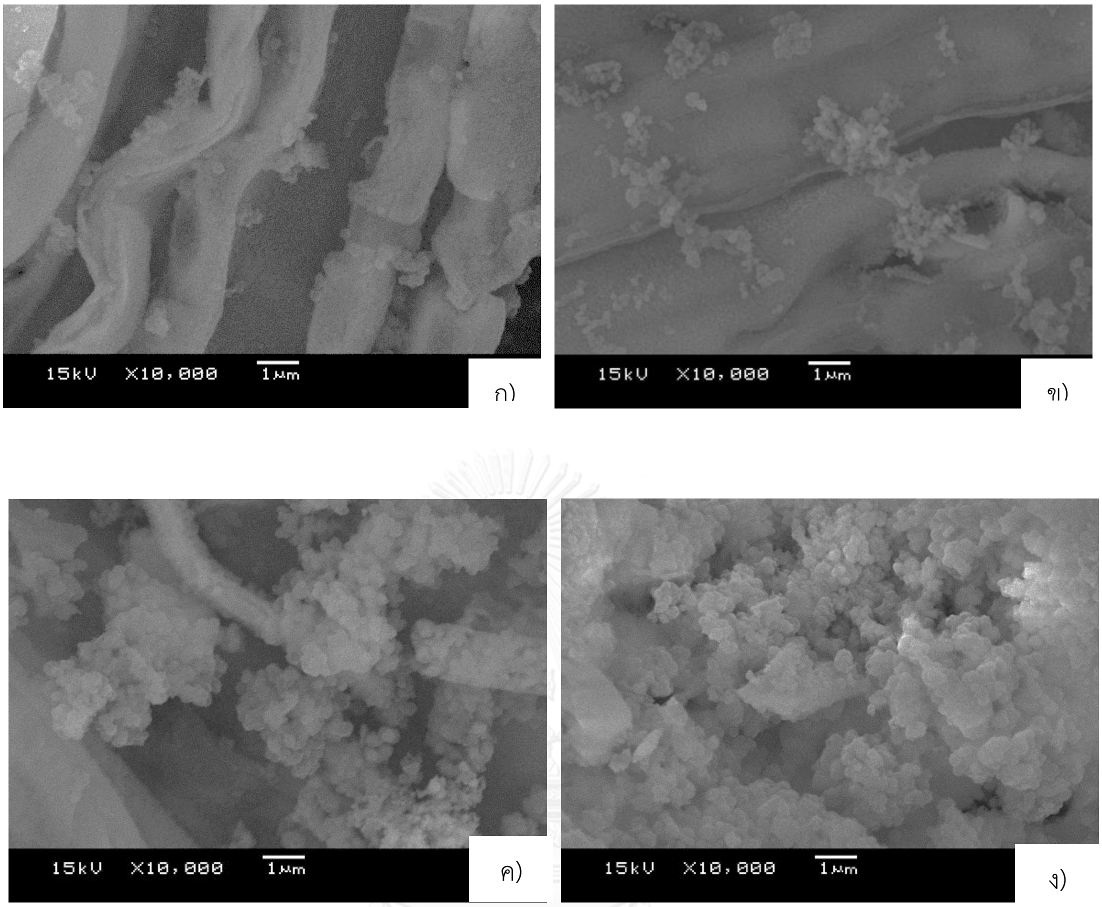
4.2.2.2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของซิลิกาอสัณฐานที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวลถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่าซิลิกาอสันฐานที่สังเคราะห์จากหญ้าคามีพื้นที่ผิวเรียบ (รูปที่ 4.3) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมินาพื้นที่ผิวของซิลิกาจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคอะลูมินาที่เข้ามาปกคลุม (รูปที่ 4.4)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกาจากหญ้าคาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยายเท่ากับ ก) 200 และ ข) 10,000 เท่า

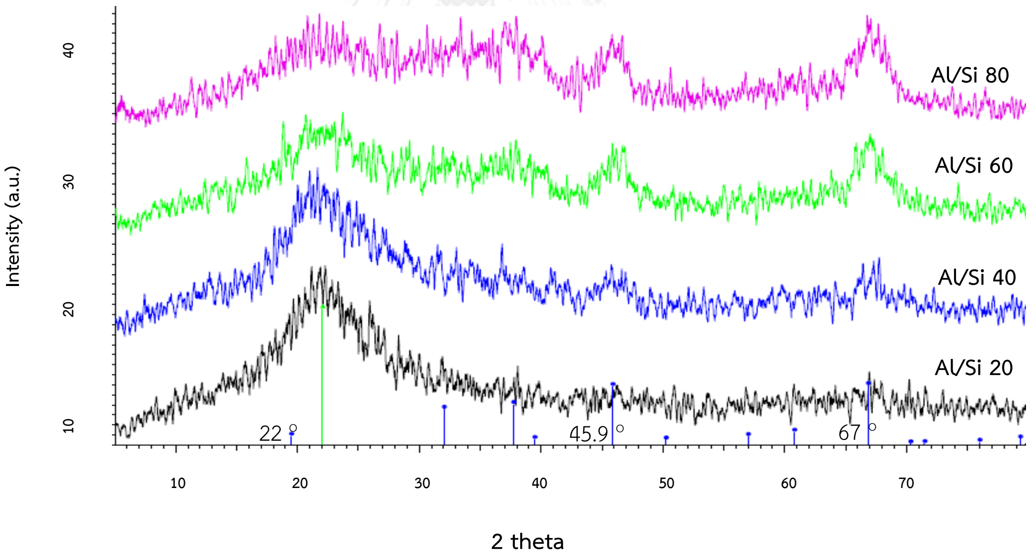


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซิสังเคราะห์ได้จากหญ้าคา ที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ ก) 20 ข) 40 ค) 60 และ ง) 80 โดยมวลที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อะลูมินาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวลด้วยเทคนิค XRD (รูปที่ 4.3) พบว่าจากผลการวิเคราะห์ในข้อ 4.2.1 ซิลิกาที่เตรียมได้จากหญ้าคาที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีพีคกว้างเกิดขึ้นที่ 22 องศา ซึ่งแสดงลักษณะรูปแบบ XRD ของซิลิกาอสัณฐาน แต่เมื่อเติมอะลูมินาตามอัตราส่วนร้อยละโดยมวล 20 40 60 และ 80 พบว่าเกิดพีคสำคัญเกิดขึ้นที่ 45.9 และ 67 องศาซึ่งเป็นลักษณะพีคของ Al_2O_3 (Gramma-Alumina) โดยพีคจะปรากฎชัดเจนมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมินาตั้งแต่อัตราส่วนร้อยละ 40 ขึ้นไป และมีความกว้างที่ลดลงตามอัตราส่วนของอะลูมินาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองตรงสอดคล้องกับผลการทดลองของฐิตินันท์ จันทร์เชย (2556) ที่ศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาจากซิลิกาทรงกลมและอะลูมินาทางการค้าที่อะลูมินาอัตราส่วนเดียวกัน โดยพบว่ารูปแบบผลึกมีพีคของอะลูมินาที่เริ่มชัดเจนขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 40 เช่นเดียวกัน



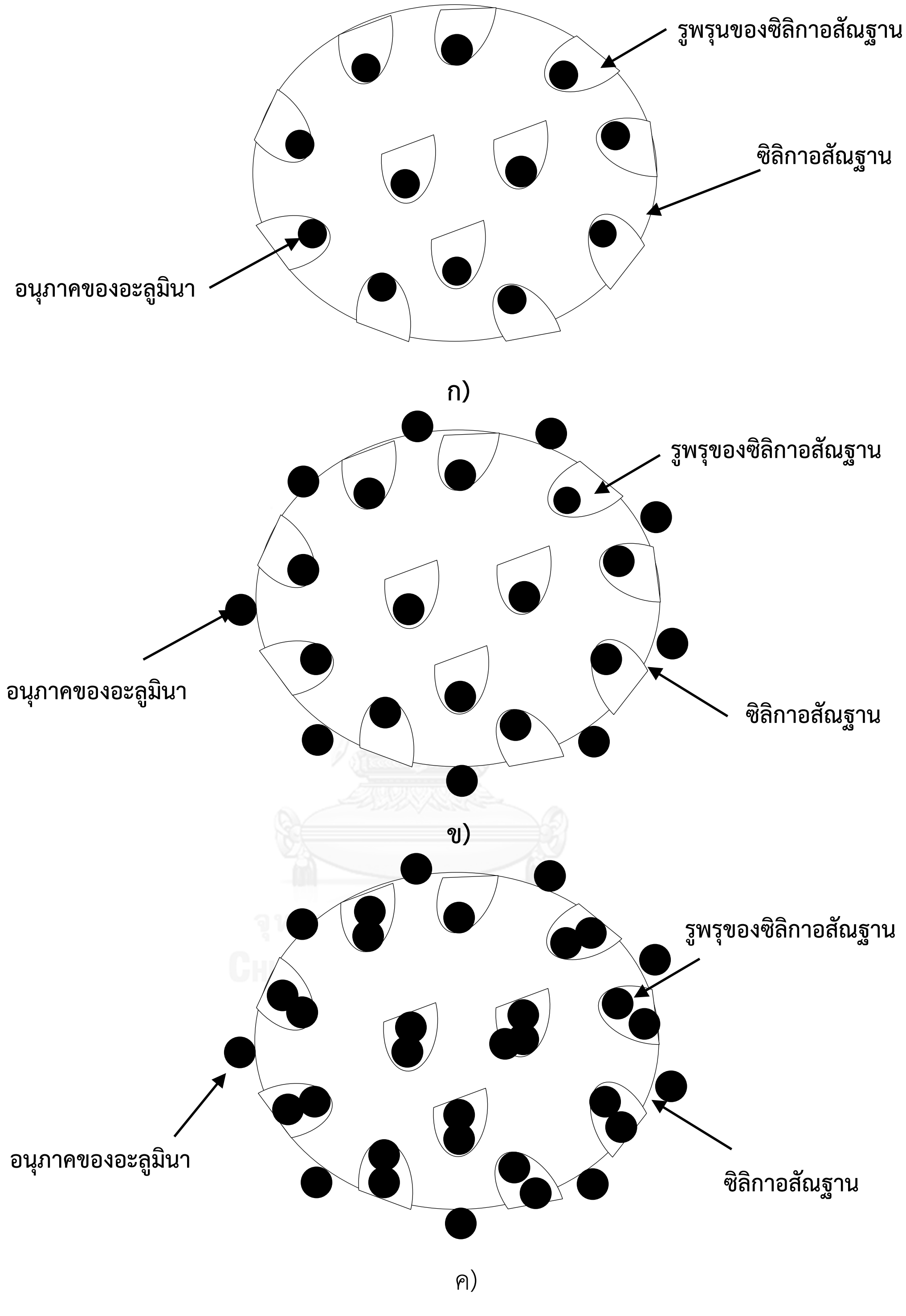
รูปที่ 4.5 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา
ที่อะลูมินาอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 20 40 60 และ 80

4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ

ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ80 โดยมวลด้วยเทคนิค BET Surface Area ดังตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของอะลูมินาลงในซิลิกาสัณฐานพื้นที่ผิวจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากอนุภาคของอะลูมินาจะเข้าไปแทรกอยู่ภายในรูพรุนของซิลิกา (รูปที่4.5-ก) แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอะลูมินาพื้นที่ผิวจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงอัตราส่วนร้อยละ 60 ซึ่งมีค่ามากกว่าซิลิกาอสัณฐาน เนื่องจากอนุภาคของอะลูมินาจะเข้ามาเกาะบริเวณพื้นที่ผิวภายนอกรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวมีปริมาณเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.5-ข) และที่อัตราส่วนร้อยละ 80 พื้นที่ผิวมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณอะลูมินาที่เพิ่มขึ้นอาจมีปริมาณที่มากเกินไปทำให้พื้นผิวจึงมีขนาดลดลง (รูปที่ 4.6-ค) นอกจากนี้ในส่วนของผลการวิเคราะห์ไอโซเทิร์ม (รูปที่ 4.6) พบว่ารูปแบบการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เป็นชนิดรูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous) ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะจำนวนมาก และนิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวล

สมบัติ	**ซิลิกาอสัณฐาน**	**20%Al/Si**	**40%Al/Si**	**60%Al/Si**	**80%Al/Si**
พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	172	102	143	200	163
ปริมาณรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	0.45	0.30	0.47	0.72	0.58

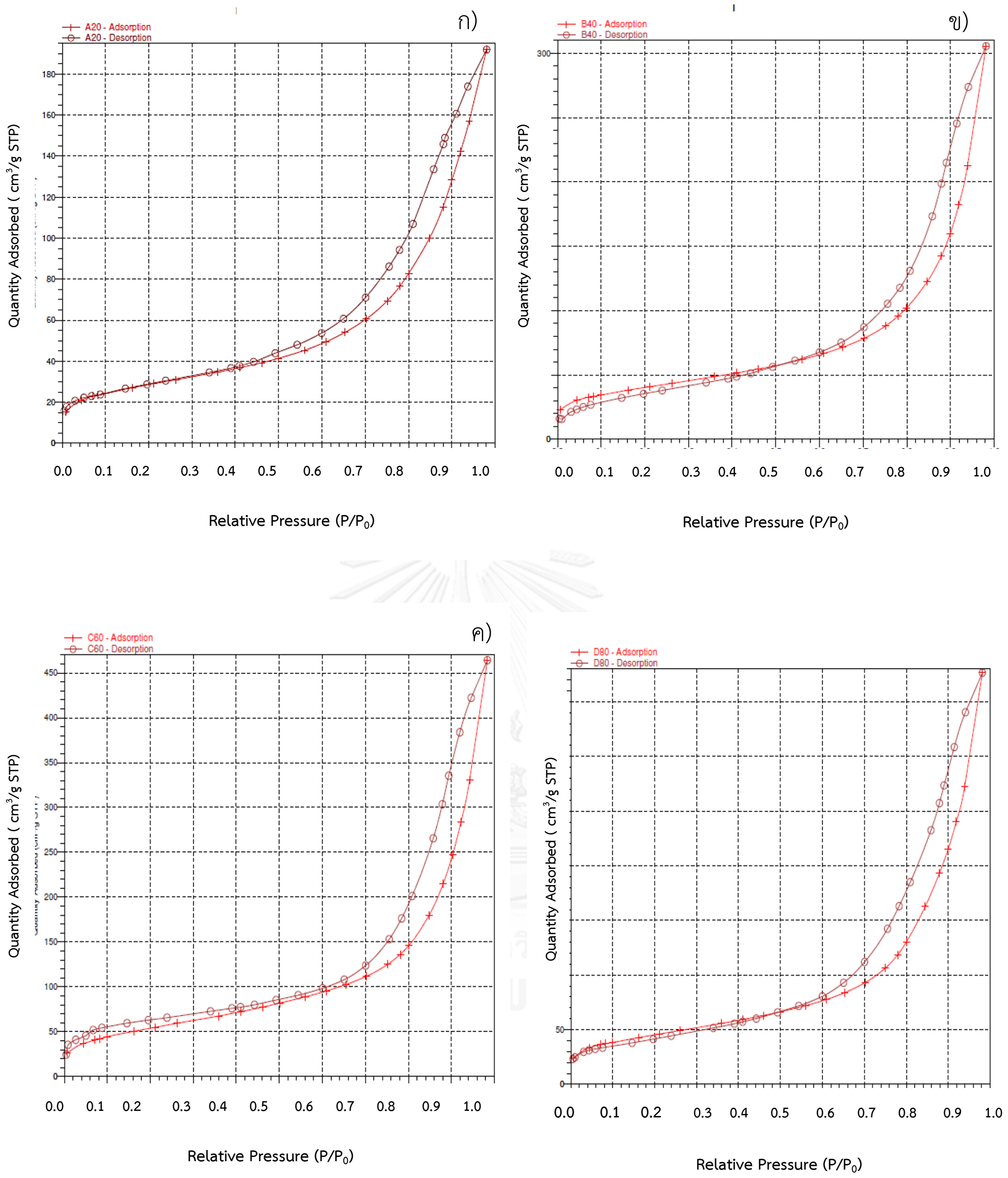


รูปที่ 4. 6 ลักษณะการแทรกตัวของอะลูมินาภายในรูพรุนของซิลิกา

ก) ลักษณะของอะลูมินาที่เข้ามาแทรกในรูพรุนของซิลิกาอสัณฐาน

ข) ลักษณะของอะลูมินาที่เข้ามาแทรกและเกาะบนพื้นที่ผิวของซิลิกาอสัณฐาน

ค) ลักษณะของอะลูมินาที่เข้ามาแทรกและเกาะบนพื้นที่ผิวของซิลิกาอสัณฐานปริมาณมาก



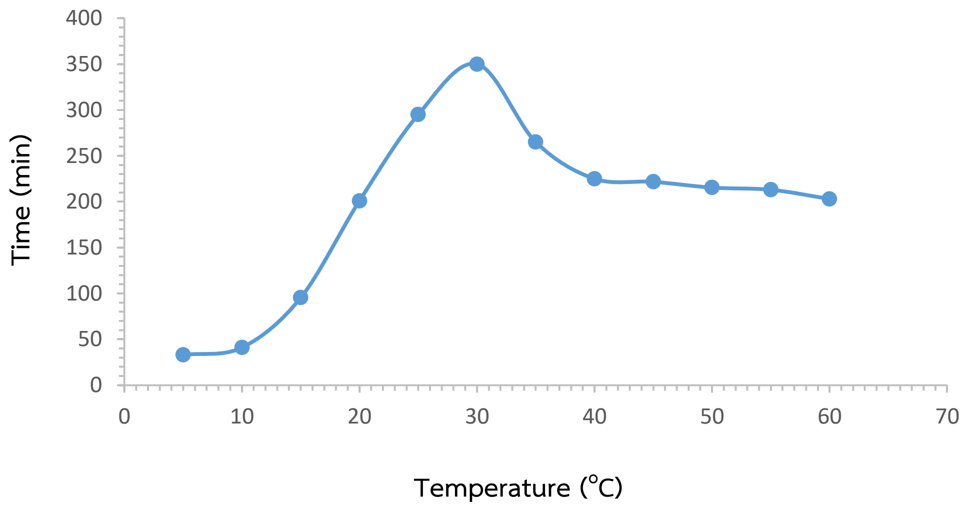
รูปที่ 4.7 รูปแบบไอโซเทิร์มของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซิลิกาอะลูมินาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ ก) 20 ข) 40 ค) 60 และ ง) 80

4.3. ผลการศึกษาระยะที่ 3 ศึกษาการใช้หญ้าคาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

การทดลองในระยะที่ 3 เป็นการศึกษาการแตกตัวของพลาสติกตามอัตราส่วนที่ได้จากผลการศึกษาในระยะที่ 1 ดังนี้ HDPE ร้อยละ 48 LDPE ร้อยละ 22 PS ร้อยละ 13 PP ร้อยละ 10 และ PET ร้อยละ 7 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยศึกษาร้อยละผลได้น้ำมัน และเปรียบเทียบผลที่ได้ในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่าได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันร้อยละ 84.66 ก๊าซร้อยละ 0.41 และส่วนของแข็งที่เหลือ (คาร์บอนแบล็ก) ร้อยละ 14.93 เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (รูปที่ 4.8) พบว่า อุณหภูมิของการแตกตัวของพลาสติกจะมีค่าถึง 350 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 นาที



รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.2 ผลการศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา

ขั้นตอนนี้จะศึกษาความสามารถในเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ในกระบวนการแตกตัวของพลาสติกที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักพลาสติก ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.2.1 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ในการแตกตัวของพลาสติกที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 พบว่าให้ร้อยละผลได้น้ำมันอยู่ที่ 86.67-93.11 เมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ปริมาณร้อยละผลได้น้ำมันมากกว่า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการช่วยให้เกิดการแตกตัวได้ดีขึ้นส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำมันได้ดีขึ้น และนอกจากนี้การแตกตัวได้ดีขึ้นจะส่งผลให้เกิดปริมาณก๊าซที่เพิ่มขึ้น และช่วยให้ผลิตกากของแข็ง หรือคาร์บอนแบล็กได้ลดลง (พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์, 2552)

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต พบว่าเมื่ออัตราส่วนของอะลูมินาเพิ่มขึ้นจะให้ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันสูงขึ้น โดยที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 จะให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อที่ 4.2.1.4 ที่พบว่าพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาต่อซิลิกาที่อัตราส่วนร้อยละ 60 มีค่ามากที่สุด ทำให้ความสามารถให้ในการเข้าทำปฏิกิริยาเกิดได้ดี และส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, 2558)

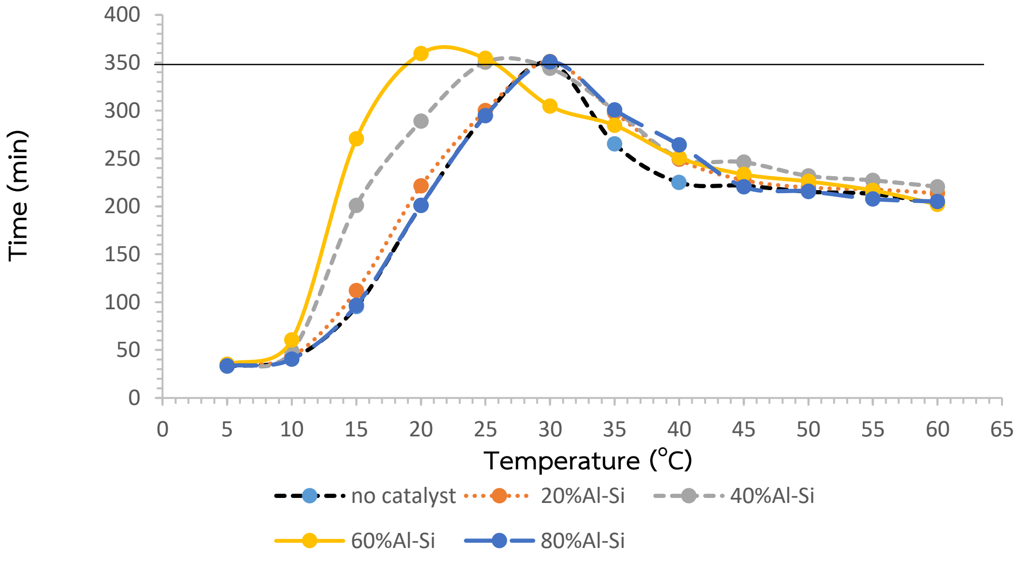
ตารางที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์	ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	20%Al-Si	40%Al-Si	60%Al-Si	80%Al-Si
น้ำมัน	84.66^{d}	86.67^{c}	88.89^{b}	93.11^{a}	89.00^{b}
ก๊าซ	0.41^{c}	$0.65^{b,c}$	1.42^{a}	0.36^{d}	$0.69^{a,b}$
คาร์บอนแบล็ก	14.93^{a}	12.69^{b}	10.42^{c}	9.27^{d}	6.53^{e}

ที่ระดับนัยยะสำคัญ 0.05

4.3.2.2 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติก

ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (รูปที่ 4.9) พบว่ามีผลสอดคล้องกับพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือที่ร้อยละ 60 รองลงมาคือ 40 20 และ 80 โดยที่พื้นที่ผิวที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น และใช้ระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยาลดลง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่อะลูมินาอัตราส่วนร้อยละ 60 ใช้ระยะเวลาต่ำที่สุดในการทำปฏิกิริยาจนอุณหภูมิถึง 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาต่ำกว่า 20 นาที และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยามีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 360 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ระยะเวลานานที่สุดในการทำปฏิกิริยาจนอุณหภูมิถึง 350 องศาเซลเซียส คือที่ 30 นาที



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

4.3.2.3 ผลของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติก

จากผลการการศึกษาความสามารถในเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จาก หญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักขยะพลาสติก พบว่าที่อัตราส่วนของอะลูมินาร้อยละ 60 จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 93.11 ซึ่งเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนนี้ไปทำการศึกษาหาอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อปริมาณพลาสติก โดยทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 20 ต่อปริมาณพลาสติก พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีปริมาณมากเกินไปทำให้พลาสติกเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซมาก และส่งผลให้ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีความดันก๊าซสูง เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน และก๊าซซึ่งเป็นอันตราย และอาจก่อให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ (พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์, 2552)

นอกจากนี้ได้ศึกษางานวิจัยของ Abbas-Abadi และ คณะ (2015) พบว่าการแตกตัวของพลาสติกชนิด LDPE โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซิลิกาอะลูมินาที่อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติกร้อยละ 10 20 40 และ 60 พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 10 จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณของน้ำมันที่เกิดขึ้นลดลง และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทในการส่งเสริมการแตกตัวของพลาสติก การใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะเพิ่มตำแหน่งว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการแตกตัวจะมีสมบัติเป็นกรดและมีตำแหน่งที่เรียกว่า ตำแหน่งกรดบรอนสเตด ซึ่งมีความสามารถในการให้โปรตอน โดยตำแหน่งนี้จะเข้าไปจับกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของพลาสติกเกิดเป็นคาร์โบแคตไอออนได้ดีขึ้น ส่งผลให้ขนาดโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของพลาสติกขนาดสายโซ่ C_5- C_{25} ที่เป็นของเหลวมีการแตกตัวเป็นขนาดสายโซ่ที่เล็กลงที่ C_1-C_4 เพิ่มขึ้นและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซเพิ่มขึ้น

4.3.2.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำมัน

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 ที่อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ของน้ำหนักพลาสติก พบว่า น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นสีดำขุ่นและมีลักษณะเป็นไข (ภาคผนวก ค) ส่วนน้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาพบว่าที่อัตราส่วนของอะลูมินาที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำมันจะมีสีขุ่นและมีลักษณะเป็นไขเพิ่มมากขึ้น โดย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 มีลักษณะสีเหลืองใส และไม่เป็นไข เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมัน (ตารางที่ 4.7) พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำมันจะมีค่าความร้อนอยู่ที่ 10,784 – 10,876 แคลอรี่/กรัม ซึ่งมีค่ามากว่าค่าความร้อนของน้ำมันที่ได้รับจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าค่าความร้อนของน้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภายนอกของน้ำมันที่มีลักษณะใส และไม่เป็นไข ซึ่งไขที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำมันมีค่าความร้อนที่ต่ำลง (รัตน์ยาภรณ์ ฉายศรี, 2555)

ตารางที่ 4.7 ค่าความร้อนของน้ำมันจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกโดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

น้ำมัน	ค่าความร้อน (Cal/g)
ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	10,753
20% Al-Si	10,876
40% Al-Si	10,824
60% Al-Si	10,801
80% Al-Si	10,784
น้ำมันเตา *	10,000

*แหล่งอ้างอิง มาตรฐานน้ำมันเตา ASTM D 240 (ศิริรัตน์ จิตการค้า, 2551)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการกระบวนการไพโรไลซิสของของพลาสติกเป็นน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการกลั่นเพื่อแยกประเภทของน้ำมัน จึงนิยมนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันที่ผลิตได้กับมาตรฐานของน้ำมันเตา (ตารางที่ 4.7) พบว่า มีค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันเตา

จากผลการทดในระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง พบว่าอัตราส่วนของขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นบนเกาะสีชังที่สามารถนำไปผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ประกอบด้วยพลาสติกชนิด HDPE ร้อยละ 48 LDPE ร้อยละ 22 PS ร้อยละ 13 PP ร้อยละ 10 และ PET ร้อยละ 7 และผลการทดลองในระยะที่ 2 คือการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า พบว่า การปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาสามารถช่วยให้ซิลิกาที่ได้จากหญ้าคามีปริมาณเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาคือที่ 700 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณซิลิการ้อยละ 97.70 มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐาน พื้นที่ผิว 172 ตารางเมตร/กรัม และปริมาณ

รูพรุน 0.43 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และเมื่อนำซิลิกามาสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเติมอะลูมินา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนระหว่างอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 60 มีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ 200 ตารางเมตร/กรัม และการทดลองในระยะที่ 3 การแตกตัวของพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 60 พบว่า ให้ร้อยละผลิตน้ำมันมากที่สุดร้อยละ 93.11 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันที่ผลิตได้จากพลาสติกพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิการ้อยละ 20 มีค่าความร้อนของน้ำมันสูงที่สุดคือ 10,876 แคลอรี่/กรัม ส่วนที่อัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 จะให้ค่าความร้อนที่ 10,801 แคลอรี่/กรัม ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนนี้มีค่าความร้อนสูงกว่า 10,000 แคลอรี่/กรัม ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของน้ำมันเตา ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงร้อยละผลผลิตของน้ำมันร่วมกับค่าความร้อนพบว่า การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาต่อซิลิกาที่อัตราส่วนร้อย 60 มีความเหมาะสมที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้กับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าที่นิยมใช้กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกได้แก่ Y-Zeolite B-Zeolite HZSM-5 และซิลิกา (ตารางที่ 4.8) พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาให้ผลผลิตของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาทางการค้า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคามีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าคือที่ 235 ตารางเมตร/กรัม และทำให้มีพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อะลูมินาอัตราส่วนร้อยละ 60 (93.11) มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาทางการค้าที่ให้ผลผลิตของน้ำมันที่ร้อยละ 93.20 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาทางการค้า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงชนิดของพลาสติกที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตน้ำมันพบว่า จากงานวิจัยของ Abbas-Abadi และคณะ (2015) โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินาทางการในการแตกตัวของพลาสติกชนิด LLDPE ที่มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบกิ่งจึงทำให้มีความสามารถในการแตกตัวได้ดี และให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันสูงกว่าโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พลาสติกที่มีโครงสร้างพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด คือแบบกิ่งและแบบเส้น โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันได้ใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแตกตัวของพลาสติกได้ โดยร้อยละผลผลิตของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ตัวเร่งเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้กับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนของซิลิกา/อะลูมินา	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	ชนิดพลาสติก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลได้น้ำมัน	ร้อยละผลได้ก๊าซ	ของแข็งส่วนเหลือ	อ้างอิง
20% Al-Si	20	102	HDPE, LDPE, PP, PS, PET	350	86.67	0.65	12.46	งานวิจัยนี้
40% Al-Si	40	143	HDPE, LDPE, PP, PS, PET	350	88.89	1.42	10.67	งานวิจัยนี้
60% Al-Si	40	200	HDPE, LDPE, PP, PS, PET	350	93.11	0.36	9.27	งานวิจัยนี้
80% Al-Si	80	163	HDPE, LDPE, PP, PS, PET	350	89.00	0.69	6.53	งานวิจัยนี้
Y-Zeolite	80	-	HDPE	500	55.00	38.00	7.00	(Syamsiro et al., 2014)

ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนของซิลิกา/อะลูมินา	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	ชนิดพลาสติก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลได้น้ำมัน	ร้อยละผลได้ก๊าซ	ของแข็งส่วนเหลือ	อ้างอิง
B-Zeolite	17.1	349	HDPE, LDPE, PP, PS, PET, PVC, Other	500	46.8	27.9	25.3	Miskolczi, Ates and Borsodi (2013)
HZSM-5	12.6	367	HDPE, LDPE, PP, PS, PET, PVC, Other	500	43.8	34.6	21.6	Miskolczi, Ates and Borsodi (2013)
Si-Al	13.4	235	LLDPE	450	93.20	2.2	4.6	Abbas-Abadi *et al.*, (2015)
Si-Al	35.13	29	PP	500	91	8	1	Panda and Singh (2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง

จากการศึกษาองค์ประกอบของขยะพลาสติกบนเกาะสีชังพบว่าองค์ประกอบของขยะพลาสติกที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงร้อยละ 48 รองลงมาคือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละ 22 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตร้อยละ13 พอลิโพรพิลีนร้อยละ 10 และพอลิสไตรีนร้อยละละ 7 ตามลำดับ

5.1.2 ผลการศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจาหญ้าคา

ในขั้นตอนจะมีการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ

5.1.2.1 การเตรียมซิลิกาจากหญ้าคาเพื่อเป็นวัสดุรองรับ

ผลจากการปรับปรุงสมบัติหญ้าคาด้วยกรดและเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาสามารถกำจัดสารประกอบโลหะชนิดอื่นๆ ออกไปได้ ทำให้สัดส่วนของซิลิกามีปริมาณสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก พื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาการเผามีผลต่อโครงสร้างผลึก พื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุนของซิลิกา โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซิลิกาคือที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยให้ซิลิการูปแบบผลึกอสัณฐาน มีพื้นที่ผิว 172 ตารางเมตร/กรัม และปริมาณรูพรุน 0.43 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม

5.1.2.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคา

ผลการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 โดยมวล พบว่าเมื่อเติมอะลูมินาลงในซิลิกาอสัณฐานจะทำให้ปริมาณพื้นที่ผิวมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมินาในอัตราส่วนที่สูงขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นถึงอัตราส่วนร้อยละ 60 เนื่องจากอะลูมินาจะเข้าไปเกาะตามพื้นที่ผิวภายนอกรูพรุนทำมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 โดยมวล มีพื้นที่ผิวมากที่สุดอยู่ที่ 200 ตารางเมตร/กรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.3 ผลการศึกษาภาวะของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคา

5.1.3.1 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต พบว่าที่อะลูมินาซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 โดยมวลให้ปริมาณร้อยละผลได้น้ำมันสูงที่สุด คือร้อยละ 93.11 เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามากที่สุด ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี

5.1.3.2 ผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่มีผลต่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยที่อะลูมินาซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 20 นาที ซึ่งน้อยกว่าอุณหภูมิของการแตกตัวโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนอื่น

5.1.3.3 ผลของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติก

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณพลาสติกพบว่าการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักพลาสติก ทำให้เกิดการแตกตัวมาก และเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมากเกินไปทำให้ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีความดันก๊าซสูง ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน และก๊าซ ซึ่งเป็นอันตราย และอาจก่อให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้

5.1.3.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำมัน

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวของพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80 พบว่า ที่อะลูมินาซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 ให้คุณภาพน้ำมันดีที่สุดโดยน้ำมันมีลักษณะใส ไม่เป็นไข และให้ค่าความร้อนสูงที่สุดอยู่ที่ 10876 แคลอรี่/กรัม เมื่อเปรียบกับค่ามาตรฐานของน้ำมันเตาพบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (10,000 แคลอรี่/กรัม) ดังนั้นน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของพลาสติกสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้

5.1.4_ศึกษาการเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคา และตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติก

ผลการเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคา และตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติก พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 60 ให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันมันอยู่ที่ 93.11 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าผลร้อยละของน้ำมันที่ได้รับจากกระบวนการแตกตัวของพลาสติกด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาทางการค้า

ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่าการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่อัตราส่วนของขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากหญ้าคาที่อัตราส่วนร้อยละ 60 จะให้ค่าร้อยละผลผลิตน้ำมันที่ 93.11 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความความร้อนพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 10,876 แคลอรี่/กรัม ส่วนที่อัตราส่วนร้อยละ 60 จะให้ค่าความร้อนที่ 10,801 แคลอรี่/กรัม ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อย 60 จะให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน และความร้อนที่ดี

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์เป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกบนเกาะสีชังอย่างยั่งยืนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการรณรงค์และให้ความรู้กับผู้ที่อาศัยอยู่ภายในเกาะสีชังในการคัดแยกขยะพลาสติกตั้งแต่ต้นทางเพื่อให้สามารถเป็นแนวทางในการนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ามันเชื้อเพลิงภายในเกาะสีชัง

5.2.2 ควรทำการทดลองเปรียบเทียบพลาสติกแต่ละชนิดเพื่อให้ทราบว่าพลาสติกชนิดใดให้ปริมาณร้อยละผลผลิตของน้ำมันในปริมาณที่เหมาะสม

5.2.3 ควรมีการประเมิณวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเป็นแนวทางปรับปรุงให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการนำมาใช้ภายในเกาะ

5.3.4 ควรศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุนเพื่อเปรียบระหว่างการนำขยะพลาสติกภายในเกาะมาส่งขายนอกเกาะ กับการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.5 ควรศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และเชิงพาณิชย์สำหรับการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาจากหญ้าคาเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., and Praveen, L. (2005). Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. *Journal of Materials Science,* 40 (24), 6535-6544.

Mehrdad Seifali Abbas-Abadi, A. G. M., Mehdi Nekoomanesh, and Haghighi, H. Y. (2015). Estimation of pyrolysis product of LDPE degradation using different process parameters in a stirred reactor. *Polyolefins Journal,* 2 (1), 39-47.

Miskolczi, N., Ateş, F., and Borsodi, N. (2013). Comparison of real waste (MSW and MPW) pyrolysis in batch reactor over different catalysts. Part II: Contaminants, char and pyrolysis oil properties. *Bioresource Technology,* 144, 370-379.

Music, S., Filipovic-Vincekovic, N., and Sekovanic, L. (2011). Precipitation of amorphous SiO_2 particles and their properties *Brazilian Journal of Chemical Engineering,* 28 (01), 89-94.

Panda, A. K., and Singh, R. K. (2011). Catalytic performances of kaoline and silica alumina in the thermal degradation of polypropylene. *Journal of Fuel Chemistry and Technology,* 39 (3), 198-202.

Rasul Jan, M., Shah, J., and Gulab, H. (2010). Degradation of waste High-density polyethylene into fuel oil using basic catalyst. *Fuel,* 89 (2), 474-480.

Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., and Yoshikawa, K. (2014). Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors. *Energy Procedia,* 47, 180-188.

Velmurugan, P., Shim, J., Lee, K.-J., Cho, M., Lim, S.-S., Seo, S.-K., Oh, B.-T. (2015). Extraction, characterization, and catalytic potential of amorphous silica from corn cobs by sol-gel method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* 29, 298-303.

Yue Liu, B. Z., Mike Schlaich. (2015). Carbon Fiber Reinforced Polymer for Cable Structures-A Review. *Polymers,* 7, 2078-2099.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรมควบคุมมลพิษ. (2558). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2557. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์. (2556). รอบรู้เรื่องพลาสติก. กรุงเทพมหานคร: บริษัท วีพลัสกรุ๊ป (ไทยแลนด์) จำกัด.

ไกรทิพย์ ทองฤทธิ์, and ไตรรัตน์ เขื่อนสมบัติ. (2544). การแยกซิลิก้าจาก ไผ่ ใบหญ้าคา และข้าวโพดเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรม. (รายงานโครงการปริญญาตรี), มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล. (2555). การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ.วารสารกรมวิทยาสาสตร์บริการ, 62 (189), 22-24.

จุรีย์ อนันทการ. (2549). การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับเหล็กโดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ. (ปริญญานิพนธ์), มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ฐิตินันท์ จันทร์เชย. (2556). ปฏิกิริยาขจัดน้ำของเอทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยาวัสดุเชิงประกอบอะลูมินาซิลิกา. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทศบาลตำบลเกาะสีชัง. (2557). รายงานสถานการณ์ ปัญหา และการบริหารจัดการขยะมูลฝอย ปี 2557. ชลบุรี.

นพิดา หิญชีรนันทน์ และชวลิตร งามจรัสศรีวิชัย. (2556). เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันทพร คงคะจันทร์, ณัฐรุจา สายสิน และศุภรัตน์ แก้วเงิน. (2556). การหาลักษณะเฉพาะของซิลิกาบริสุทธิ์จากแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21 (เมษายน-มิถุนายน), 159-165.

พัชรกันย์ สุชามาลาวงษ์. (2552). การแตกตัวของพอลิเอทิลีน และพอพริลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชริทร์ วธธนกุล. (2553). Sol-Gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากชานอ้อย *Technology Bio*, 36 (209), 39-43.

รัตน์ยาภรณ์ ฉายศรี. (2555). การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันจากขยะพลาสติกให้ได้มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์. (2558). เคมีวัสดุ เคมีพื้นผิว และปฏิกิริยาเร่ง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริรัตน์ จิตการค้า. (2551). จากขยะสู่น้ำมัน เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแลสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิทธิโชค พวงทองทับ, สราวุธ ศรีทองอุทัย, วรพจน์ กนกกันฑพงษ์, ภศิชา ไชยแก้ว, นุตา ศุภคต, ฐาปนี แสงแก้ว, จรรยา พันธมา, ปฐมพงศ์ วิภาตะพันธ์,. (2559). แนวทางจัดการขยะมูลฝอย: เศษอาหาร พลาสติก และเศษแก้ว. วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม), 83-87.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การคำนวณสำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

การคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Aluminium IsoPropoxide) เพื่อปรับอัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาที่อัตราส่วนอะลูมินาร้อยละ 20 40 60 และแสดงได้ดังนี้

สารเคมี - อะลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Aluminium IsoPropoxide) 98% ($Al(OPr^1)_3$)

มวลโมเลกุล = 204.25 กรัม/โมล

มวลโมเลกุลของอะลูมินา (Al_2O_3) = 101.9614 กรัม/โมล

- วัสดุรองรับ: ซิลิกาอสัณฐาน
- ไอโซโพรพานอล (Isopropanal)

<u>**ตัวอย่างคำนวณ**</u> ที่อะลูมินาร้อยละ 20 โดยมวล จะใช้ซิลิกา 80 กรัม เพื่อเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 100 กรัม

101.9614 กรัมของ Al_2O_3 ต้องการ 2 x 204.25 กรัมของ ($Al(OPr^1)_3$)

ถ้า 20 กรัมของ Al_2O_3 ต้องการ $\frac{2 \, x \, 204.25 \, x \, 20}{101.9614}$ กรัมของ ($Al(OPr^1)_3$)

= 80.13 กรัมของ ($Al(OPr^1)_3$)

จาก 98% ($Al(OPr^1)_3$) แสดงว่าเนื้อสาร 100 กรัม จะมีปริมาณ ($Al(OPr^1)_3$) 98 กรัม

ดังนั้น ถ้าต้องการ ($Al(OPr^1)_3$) 98 กรัม จะใช้สาร 100 กรัม

ถ้าต้องการ ($Al(OPr^1)_3$) 80.13 จะใช้สาร $\frac{100 \, x \, 80.13}{98}$ กรัม

= 81.77 กรัม

ภาคผนวก ข
การคำนวณร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์

ร้อยละผลได้น้ำมัน

ร้อยละผลได้น้ำมัน (% Oil Yield) $= \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น } x\ 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}}$

ร้อยละผลได้ของแข็ง

ร้อยละผลของแข็ง (%Solid Residue) $= \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือ } x\ 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}}$

ร้อยละผลได้ของก๊าซ

ร้อยละผลได้ของก๊าซ (Gas Yield) = 100 – (ร้อยละผลได้น้ำมัน +ร้อยละผลได้ของแข็ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ลักษณะของน้ำมัน

ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20% Al-Si 40% Al-Si 60% Al-Si 80% Al-Si

รูป ค 1 ลักษณะน้ำมันที่ภาวะการแตกตัวโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากหญ้าคาที่อะลูมินาต่อซิลิกาอัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 และ 80

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง
ค่ามาตรฐานของน้ำมันเตา

มาตรฐานน้ำมันเตา

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2547

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันเตา					วิธีทดสอบ
			ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4	ชนิดที่ 5	
1.	ปริมาณกำมะถันร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5	ASTM D 4294
2.	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 ซ^{0}	ไม่สูงกว่า	0.985	0.990	0.995	0.995	0.995	ASTM D 1289
3.	ความหนืด ณ อุณหภูมิ50 ซ^{0} เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า	7	81	181	231	-	ASTM D 445
4.	จุดวาบไฟ	ไม่ต่ำกว่า	60	60	60	60	60	ASTM D 93
5.	จุดไหลเท	ไม่สูงกว่า	24	24	30	30	57	ASTM D 97
6.	ปริมาณความร้อน (แคลอรี่/กรัม)	ไม่ต่ำกว่า	10,000	9,900	9,900	9,900	9,900	ASTM D 240
7.	เถ้าร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	ASTM D 482

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฐาปนี แสงเพชร เกิดเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2534 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนสตรีนนทบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบการนำเสนอ ในหัวข้อ “การประยุกต์หญ้าคา Imperata cylindrica Beauv เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกบนเกาะสีชัง” (APPLICATION OF Imperata cylindrica Beauv AS CATALYST FOR PRODUCING FUEL OIL FROM PLASTIC WASTE ON KOH SICHANG) ในงานการประชุมวิชาการระดับประเทศครั้งที่ 13 จัดขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY