รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกเป็นน้ำมันดีเซล โดยใช้แอคติเวเต็ดเคลย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Treatment of pyrolysis oil from waste plastic to diesel by activated clay

โดย

นายชยุต ตั้งมั่นคงวรกูล รหัสนิสิต 5832918623

นายสิทธิเดช สมศรี รหัสนิสิต 5832970123

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

รายงาน

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกเป็นน้ำมันดีเซลโดยใช้แอคติเวเต็ดเคลย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Treatment of pyrolysis oil from waste plastic to diesel by activated clay

จัดทำโดย

นายชยุต	**ตั้งมั่นคงวรกูล**	**รหัสนิสิต 583 29186 23**
นายสิทธิเดช	**สมศรี**	**รหัสนิสิต 583 29701 23**

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 2306499 Senior Project

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ชื่อโครงการ การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกเป็นน้ำมันดีเซลโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ นายชยุต ตั้งมั่นคงวรกูล

นายสิทธิเดช สมศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

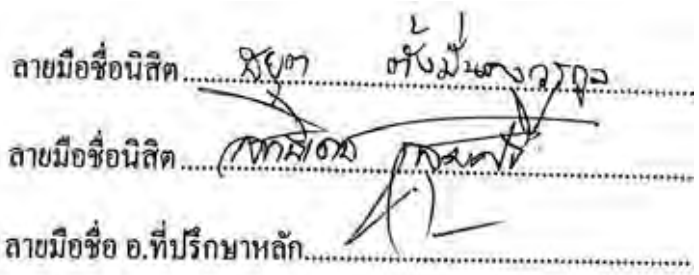
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกเพื่อเป็นอีกแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับพลังงานหมุนเวียนและศึกษาผลของตัวแปรต่างๆในการทดลองที่เหมาะสมต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยแอคติเวเต็ด เคลย์ ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่หาง่ายและมีราคาถูก ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1, 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที ความเร็วเครื่องเขย่าช้า ปานกลาง และเร็ว ขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ ใหญ่ และเล็ก และอัตราส่วนแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ความเร็วเครื่องเขย่าช้า แอคติเวเต็ด เคลย์ขนาดเล็ก และอัตราส่วนแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ100 โดยน้ำหนัก ซึ่งที่สภาวะนี้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีสีใกล้เคียงน้ำมันดีเซลจากปั๊ม PTมากที่สุด แอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนและหลังการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสนำไปวิเคราะห์โดยวิธี X-ray fluorescence (XRF) และ X-ray diffraction (XRD) เพื่อศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างผลึก

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส, แอคติเวเต็ด เคลย์, ขยะพลาสติก

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม



Title Treatment of pyrolysis oil from waste plastic to diesel by activated clay

Student name Mr. Chayut Tangmankongworakool

Mr. Sittidech Somsri

Advisor Prof. Dr. Tharaphong Vitidsant

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2018

ABSTRACT

This research was aimed to study the performance of activated clay that used as an adsorbent for decolorization of pyrolysis oil from waste plastic, and to find the optimum condition for decolorization of pyrolysis oil from waste plastic by activated clay, which is natural and inexpensive adsorbent. Several parameters were investigated, i.e., ; size of activated clay of large and small; activated clay ratio to oil of 25, 50, 75 and 100 wt%; temperature of 30, 40 and 50 ºC; shaking speed of slow, medium and fast and contact time of 1, 5, 15, 30, 45 and 60 minutes. The optimum condition for decolorization of pyrolysis oil was at 30 ºC, 1 minute, slow shaking speed, small activated clay and activated clay ratio of 100 wt% to oil. Resulting the liquid oil has color close to diesel oil from the PT gas station. The results from X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction(XRD) analysis show that the main component and crystal structure of activated Clay before and after decolorization of pyrolysis oil respectively.

Keywords: Pyrolysis oil, Activated clay, Waste plastic

Department of Chemical Technology Student's signature ..... Chayut Tangmankongworakool

Major: Chemical Engineering Student's signature ..... Sittidech Somsri

Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ ที่ได้ให้ความรู้ แนวทาง คำปรึกษา และความช่วยเหลือทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์และอนุเคราะห์สนับสนุนทุนการวิจัยในการพัฒนางานวิจัย

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อนุญาตให้ใช้ศูนย์การเรียนรู้และบริการวิชาการเครือข่ายแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรีในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่พสธร ขุนโอษฐ์ และพี่นักวิทยาศาสตร์ผู้ดูแลและควบคุมห้องเครื่องมือของศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรีทุกคน ที่คอยรับฟังคำปรึกษา ให้คำแนะนำตลอดจนการช่วยเหลือทุกๆอย่างเกี่ยวกับการทำวิจัยด้วยความเต็มใจเสมอมา

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บิดา-มารดา ครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านและผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยและนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย	3
2.2 ปิโตรเลียม	5
2.2.1 แก๊สธรรมชาติ	5
2.2.2 น้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ	6
2.3 พลังงานทดแทน และพลังงานหมุนเวียน	7
2.4 ชีวมวล	7
2.5 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อน	8
2.5.1 การเผาไหม้โดยตรง	8
2.5.2 แกซิฟิเคชัน	9
2.5.3 ไพโรไลซิส	9
2.5.3.1 ผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิส	10
2.5.3.2 ประเภทของการไพโรไลซิส	11
2.5.3.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับไพโรไลซิส	11
2.5.4 ลิควิแฟคชัน	13
2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.6.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา	16
2.6.2 การเกิดปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์	17

2.7 ดินเบนโทไนท์ 19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย 24
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี 24
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง 24
3.3 วิธีการทดลอง 26
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 28
4.1 การฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยแอคติเวเต็ด เคลย์ 28
4.1.1 ผลของขนาดแอคติเวเต็ดการทำปฏิกิริยาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 28
4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิส
จากขยะพลาสติกต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 29
4.1.3 ผลของความเร็วเครื่องเขย่าต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 30
4.1.4 ผลของอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 31
4.1.5 ผลของเวลาการทำปฏิกิริยาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 32
4.2 ปริมาณองค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์โดยวิธีการวิเคราะห์XRF 33
4.3 โครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์โดยวิธีวิเคราะห์XRD 35
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 37
5.1 สรุปผลการทดลอง 37
5.2ข้อเสนอแนะ 37
บรรณานุกรม 38

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

-ตารางที่ 2.6 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างๆ 15

-ตารางที่ 3.1 จำนวนการทดลองสำหรับการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส จากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ 26

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่ **หน้า**

-รูปที่ 2.1 อัตราส่วนการนำเข้าพลังงานต่อการผลิตพลังงานภายในประเทศปีพ.ศ. 2554 3

-รูปที่ 2.2 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนของใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ 4

-รูปที่ 2.3 (ก) แหล่งปิโตรเลียมและการขุดเจาะ 6

(ข) กรรมวิธีในการกลั่นน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ [6] 6

-รูปที่ 2.4 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ 8

-รูปที่ 2.5 แผนผังกระบวนการเทคโนโลยีไพโรไลซิส [11] 10

-รูปที่ 2.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่แสดงในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Batch) 12

-รูปที่ 2.7 เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์ (ก) แบบฟองแก๊ส (ข) แบบไหลเวียน 13

-รูปที่ 2.10 พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา [13] 14

-รูปที่ 2.11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ [14] 17

-รูปที่ 2.12 การแพร่ของสารตั้งต้นจากภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ 17

-รูปที่ 2.13 การแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ 18

-รูปที่ 2.14 การดูดซับทางเคมีของสาร A บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา 18

-รูปที่ 2.15 การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาจากโมเลกุล A ไปเป็นโมเลกุล B 18

-รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่าสาร 24

-รูปที่ 3.2 ชุดกรองสุญญากาศ 25

-รูปที่ 4.1 ผลของขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบ 28
กับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

-รูปที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว 29
เปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

-รูปที่ 4.3 ผลของความเร็วของเครื่องเขย่าต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบ 30
กับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

-รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT 31

-รูปที่ 4.5 ผลของเวลาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT 32

-รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจุดยอดขององค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 33

-รูปที่ 4.7 องค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 33

-รูปที่ 4.8 กราฟแสดงจุดยอดขององค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 34

-รูปที่ 4.9 องค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 34

-รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจุดยอดของโครงสร้างผลึกในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 35

-รูปที่ 4.11 กราฟแสดงจุดยอดของโครงสร้างผลึกในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส 36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม และจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการการใช้พลังงานของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น แหล่งพลังงานหลักอย่างน้ำมันดิบซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดจึงมีราคาสูงขึ้นทุกวัน ทำให้แหล่งพลังงานทางเลือกเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยหนึ่งในนั้นก็คือการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเทคโนโลยีไพโรไลซิสใช้กันอย่างแพร่หลาย ปลอดภัย และไม่ก่อมลพิษกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรที่เหลือใช้ให้เกิดประโยชน์อันสูงสุด เราสามารถนำขยะพลาสติกมาเผาแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ450องศาเซลเซียสเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบจากสภาวะของแข็งระเหิดกลายเป็นไอน้ำมันและก๊าซสังเคราะห์ต่างๆและทำการควบแน่นให้กลายไปสู่สถานะของเหลว ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ ของเหลวน้ำมันไพโรไลซิส แต่น้ำมันดังกล่าวมีCarbon Number 6-30 จึงต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยนำมาเปลี่ยนองค์ประกอบโดยใช้Activated Clayเป็นตัวดูดซับในการดึงเอาWaxออกจากน้ำมันไพโรไลซิส เนื่องจากActivated Clayเป็นสารดูดความชื้นชนิดเม็ด ที่มาจากแร่ธรรมชาติ สามารถดูดความชื้นได้ดีและดูดซับก๊าซที่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษได้ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปลอดภัย ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไม่เป็นอันตราย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทั้งยังราคาถูก ดังนั้นในโครงการนี้เราจะศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้Activated Clayเป็นตัวดูดซับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนของน้ำมันดีเซลที่มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาความสามารถในการใช้Activated ClayในการดึงเอาWaxออกจากน้ำมันที่ได้จากการทำไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก
2. ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆในการทดลองที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก เช่น สัดส่วนActivated Clayต่อน้ำมันไพโรไลซิส อุณหภูมิ ขนาดของActivated clay เป็นต้น
3. เพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการฟอกสีของActivated clay
2. ทราบถึงผลของตัวแปรต่างๆในการทดลองที่มีผลต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสโดยใช้Activated clayเป็นตัวดูดซับ
3. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสโดยใช้Activated clayเป็นตัวดูดซับ

1.4 วิธีดำเนินงาน

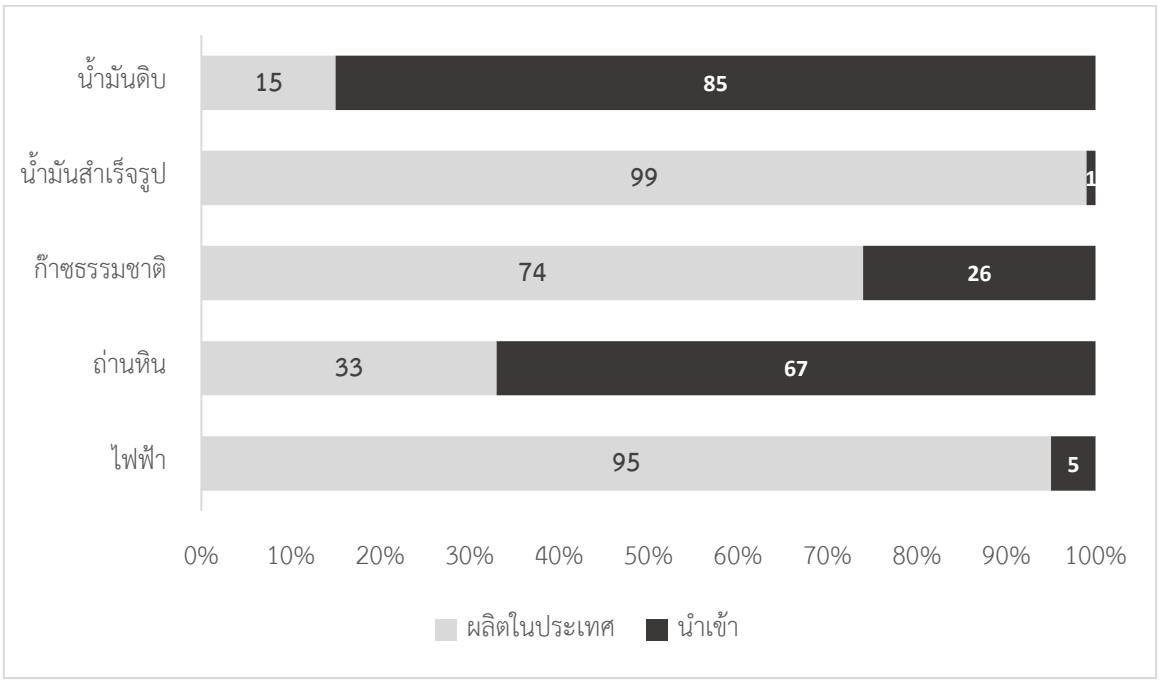
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้เครื่องปฏิกรณ์ และข้อมูลทางเทคนิค
3. ศึกษาองค์ประกอบ และสมบัติทางกายภาพของสารตั้งต้น ดังนี้
   - วิเคราะห์หาองค์ประกอบของแอคติเวเต็ด เคลย์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)
   - วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)
4. ออกแบบการทดลอง โดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษาประกอบด้วย
   - อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส
   - เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที
   - อัตราส่วนแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก
   - ความเร็วเครื่องเขย่า 3 ระดับ ช้า, ปานกลาง และ เร็ว
   - ขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ แบบผงละเอียด(เล็ก) และแบบเม็ด(ใหญ่)
5. ดำเนินการทดลอง วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของแข็งและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ ดังนี้
   - วิเคราะห์ผลการทดลอง และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสโดยใช้Activated clayเป็นตัวดูดซับ
   - วิเคราะห์หาองค์ประกอบของแอคติเวเต็ด เคลย์หลังการฟอกสี ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)
   - วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์หลังการฟอกสี ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)
6. เขียนรายงานสรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยและนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย [1,2,3]

จากข้อมูลในปี 2554 ที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยกว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นมาจากการนำเข้า โดยสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาแก๊สธรรมชาติเป็นหลักมากกว่า ร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนแก๊สธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ่งกังหันลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล แก๊สชีวภาพ และขยะ ซึ่งหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต



รูปที่ 2.1 *อัตราส่วนการนำเข้าพลังงานต่อการผลิตพลังงานภายในประเทศปีพ.ศ. 2554*

เพื่อแก้ปัญหาทางพลังงานดังกล่าว ประเทศไทยจึงได้มีการผลักดันนโยบายเกี่ยวกับพลังงานให้เป็นวาระแห่งชาติภายใต้ “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 10 ปี” หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP 2012-2021 ที่กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเป็น 25,000 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบในปี2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานทั้งหมด

โดยได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนตามแผน AEDP ใน 6 ประเด็น ดังนี้

1. การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง

2. การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์

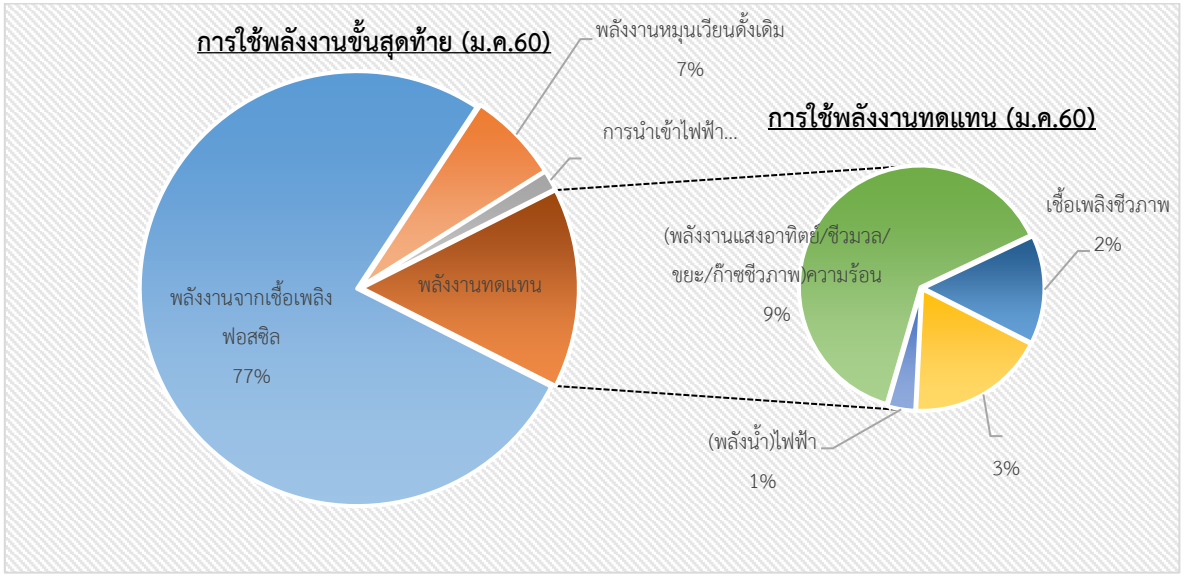
3. การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน

4. การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่งสายจำหน่ายไฟฟ้ารวมทั้งการพัฒนาสู่ระบบ Smart Grid

5. การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน

6. การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร

โดยในเดือนแรกของปี 2560 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.5 เมื่อเทียบจากช่วงเดียวกันของปีก่อน



รูปที่ 2.2 *แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนของใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ*

2.2 ปิโตรเลียม [4,5]

ปิโตรเลียมเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ยุ่งยากและซับซ้อนซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในชั้นหินใต้พื้นผิวโลก มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน และไฮโดรเจน โดยเกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์สารจำนวนมาก ทับถมกันในหินตะกอนภายใต้ความร้อนและความดันมหาศาล ปิโตรเลียมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ (Natural Gas) และน้ำมันดิบ (Crude Oil)

2.2.1 แก๊สธรรมชาติ (Natural Gas)

เป็นแหล่งไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะแก๊ส จัดเป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแหล่งพลังงานสะอาดเมื่อเทียบกับแหล่งไฮโดรคาร์บอนประเภทอื่นๆ จึงมีอัตราการการขยายตัวสูงแต่มีข้อจำกัดด้านการจัดเก็บและการขนส่ง เนื่องจากสถานะที่เป็นแก๊สทำให้จัดเก็บและขนส่งยากจึงมีต้นทุนในการจัดเก็บและขนส่งสูงมาก

แหล่งแก๊สธรรมชาติส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง แต่เนื่องจากความต้องการของครัวเรือนและอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงนิยมนำแก๊สธรรมชาติไปแยกไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่ามีเทนออก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแก๊สธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก แก๊สธรรมชาติที่นำมาแยกองค์ประกอบต้องมีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก (C_2+ ขึ้นไป) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8-9 หรือที่เรียกว่าแก๊สเปียก (Wet Gas) ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการแยกแก๊สธรรมชาติ ได้แก่

1. แก๊สมีเทน (Methane) เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก แต่บางประเทศใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตเคมีภัณฑ์ เช่น เมทานอล ปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น

2. แก๊สอีเทน (Ethane) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำคัญของปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นแก๊ส (Gas Base Petrochemicals) ใช้ผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นคือ เอทิลีน (Ethylene) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญและมีปริมาณการใช้มากที่สุด

3. แก๊สโพรเพน (Propane) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตโพรพิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง

4. เอ็นจีวี (Natural Gas for Vehicles - NGV) ประกอบด้วยอีเทนและโพรเพน ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

5. แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas - LPG) เป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สโพรเพนและแก๊สบิวเทนที่สัดส่วนต่างๆกัน เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้หุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน จึงเป็นที่รู้จักกันทั่วไปอีกชื่อหนึ่งว่า แก๊สหุงต้ม และยังใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย

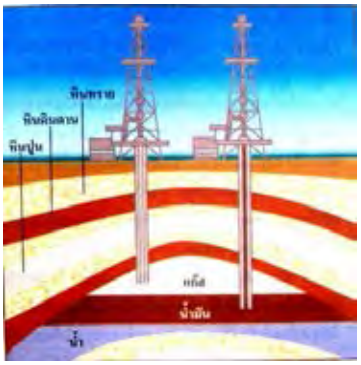
6. แก๊สโซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline - NGL) สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นร่วมกับแนฟทาในโรงงานปิโตรเคมีขั้นต้นได้เช่นกัน

2.2.2 น้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ (Crude Petroleum, Crude Oil)

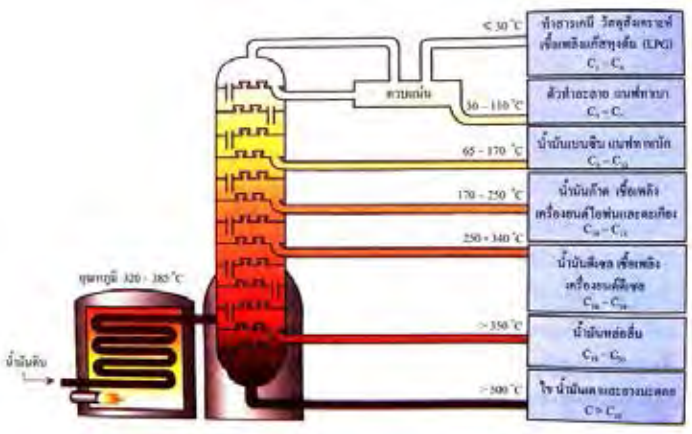
น้ำมันดิบเป็นปิโตรเลียมที่เป็นของเหลว ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่โมเลกุลเล็กที่สุดจนถึงใหญ่ที่ละลายอยู่ด้วยกัน โดยทั่วไปน้ำมันดิบจะมีสีดำหรือน้ำตาล ซึ่งแบ่งออกได้อีกเป็น 3 ชนิดตามคุณสมบัติและชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบอยู่ คือ น้ำมันดิบชนิดที่ไม่มีไขมาก (Paraffin Base) น้ำมันดิบชนิดที่มียางมะตอยมาก (Asphalt/Naphthenic Base) และน้ำมันดิบชนิดผสม (Mixed Base)

ก่อนนำน้ำมันดิบมาใช้ประโยชน์ต้องนำไปกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนกลั่นที่มีช่วงจุดเดือดต่างๆ และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมหลายชนิด ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลวหรือแก๊สหุงต้ม แนฟทา เบนซินหรือแก๊สโซลีน น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น

- แนฟทา (Naphtha) สำหรับสายการผลิตของโรงกลั่น แนฟทาส่วนใหญ่จะถูกใช้ผลิตเป็นน้ำมันเบนซิน แต่ก็มีบางส่วนที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับโรงงานปิโตรเคมี โดยโรงงานปิโตรเคมีที่ใช้แนฟทาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเรียกว่า ปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นของเหลว (Liquid Base Petrochemicals) หรือบางกรณีเรียกเฉพาะว่าปิโตรเคมีที่มีพื้นฐานเป็นแนฟทา (Naphtha Base Petrochemicals)
- แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas - LPG) สามารถเป็นได้ทั้งเชื้อเพลิงและวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเช่นเดียวกับแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ได้จากการแยกแก๊สธรรมชาติ
- แก๊สออยล์ (Gas Oil) ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลหรือใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 *(ก) แหล่งปิโตรเลียมและการขุดเจาะ*

(ข) กรรมวิธีในการกลั่นน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ [6]

2.3 พลังงานทดแทน และพลังงานหมุนเวียน [7]

พลังงานทดแทน (Alternative Energy) หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงและแก๊สธรรมชาติ สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลังงานสิ้นเปลือง (Non-Renewable Energy) คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ ถ่านหิน นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น
2. พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) คือ พลังงานทดแทนที่สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก มักเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่นพลังงาน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน

2.4 ชีวมวล [8,9,10]

ชีวมวล หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลายปาล์ม เศษไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน โดยการนำสารชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานนั้นทำให้เกิดสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มปริมาณของแก๊สเรือนกระจก เนื่องจากการเผาไหม้สารชีวมวลนั้นก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ก็จริง แต่เมื่อพืชนั้นๆถูกปลูกขึ้นอีกครั้ง คาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตแทน ซึ่งหลักการนี้ใช้ได้กับระบบการปลูกต้นไม้ทดแทนที่เหมาะสม อาจใช้ไม่ได้กับประเทศที่พัฒนาแล้ว เนื่องจากป่าไม้ที่ผลิตชีวมวลนั้นไม่ได้รับการปลูกทดแทนเท่ากับปริมาณที่ถูกใช้ไป โดยชีวมวลสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทดังนี้

1. ชีวมวลธรรมดา (Conventional Biomass) เช่น ไม้ชนิดต่างๆ และผลผลิตทางการเกษตร

2. ชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและของเสียจากชุมชน (Biomass Waste) เช่น ทะลายปาล์ม กากอ้อย กะลามะพร้าว มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตร

3. ชีวมวลจากการเพาะปลูก (Plantation Biomass) คือ พืชชีวมวลที่ปลูกเพื่อใช้ผลิตพลังงาน เช่น ปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซล อ้อยเพื่อผลิตเอทานอล

สารชีวมวลนั้นมีคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ความชื้นและคุณสมบัติอื่นๆที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเปลี่ยนสารชีวมวลไปเป็นพลังงานนั้นต้องใช้วิธีที่แตกต่างกัน ซึ่งการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานมี 3 ลักษณะประกอบด้วย

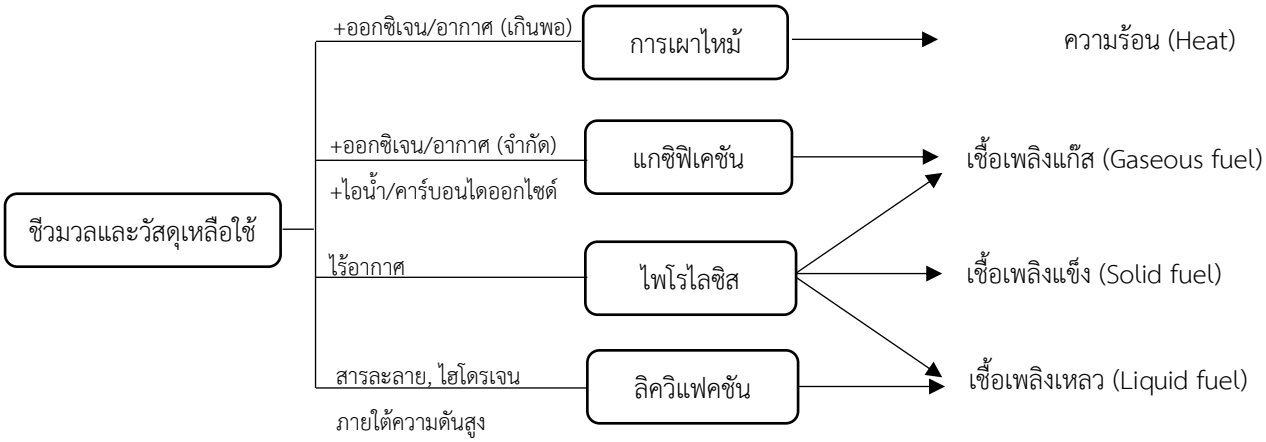
1. การแปลงสภาพชีวมวลเชิงกายภาพ (Physical Conversion) ได้แก่ การบดสีและการใช้ไอน้ำเพื่อสลายโครงสร้างของสารชีวมวล ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น การอัดแท่ง (Densification) เป็นแท่งเชื้อเพลิงขยะ

(Refuse Derived Fuel: RDF) การคัดแยกเฉพาะส่วน การหีบสกัดน้ำมัน (Oil Extraction) และการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งการเปลี่ยนทางกายภาพมักใช้ก่อนทำปฏิกิริยาเพื่อเร่งกระบวนการหลักเรียกว่าการบำบัดก่อน

2. การแปลงสภาพชีวมวลเชิงเคมีความร้อน (Thermochemical Conversion) ได้แก่ การเผาไหม้ โดยตรง (Direct Combustion) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) แกซิฟิเคชัน (Gasification) ลิควิแฟกชัน (Liquefaction) และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)
3. การแปลงสภาพชีวมวลเชิงชีวเคมี (Biochemical Conversion) ส่วนใหญ่หมายถึงกระบวนการหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ (Biomass Fermentation) โดยกระบวนการย่อยสลายขยะมูลฝอย กากและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มูลสัตว์ หรือกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน

2.5 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อน (Thermochemical Conversion) [10,11]

การแปลงสภาพชีวมวลเชิงเคมีความร้อน เป็นกระบวนการที่อาศัยความร้อนร่วมกับปฏิกิริยาเคมี โดยทั่วไปหมายถึงกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.4 *การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์*

2.5.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจน เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สที่มีองค์ประกอบหลักที่เสถียรสองชนิดคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ นับเป็นรูปแบบที่นิยมและง่ายที่สุดสำหรับชีวมวลและวัสดุเหลือใช้เพื่อให้ได้พลังงานความร้อนออกมา เพราะเทคโนโลยีของเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถประยุกต์ใช้ได้และการเกิดขึ้นของ NO_X So_X HCl และไดอาซินต่ำ โดยความร้อนจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำไปแปลงสภาพต่อเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น ไฟฟ้าโดยผ่านระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) หรือ กังหันแก๊ส (Gas turbine)

2.5.2 แกซิฟิเคชัน (Gasification)

แกซิฟิเคชัน คือกระบวนการแปลงสภาพทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนสารป้อนซึ่งเป็นได้ทั้งเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลวให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สที่เผาไหม้ให้ความร้อนหรือใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆที่มีมูลค่าได้ แกซิฟิเคชันจะคล้ายการเผาไหม้แต่จะจำกัดปริมาณออกซิเจนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยรวมแล้วแกซิฟิเคชันจะไม่เปลี่ยนพลังงานเคมีของสารป้อนให้เป็นพลังงานความร้อนทั้งหมด แต่จะเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมีเช่นเดิมแต่จะอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แก๊สหรือเชื้อเพลิงแก๊สเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน เป็นองค์ประกอบหลัก ในกรณีที่เน้นการนำผลิตภัณฑ์แก๊สไปใช้ประโยชน์ด้านการผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆ แก๊สที่ได้มักถูกเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (Synthetic gas – Syngas) ซึ่งโดยปกติจะหมายถึงไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลัก

2.5.3 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการสลายตัวทางเคมีความร้อน (Thermochemical decomposition) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรืออากาศ โดยทั่วไปประกอบด้วยหลายปฏิกิริยาเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น โดยรวมเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible Process) และต้องการพลังงานหรือความร้อนเพื่อสลายพันธะเคมีของโครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการมีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เขียนสมการปฏิกิริยาอย่างง่ายได้ดังนี้

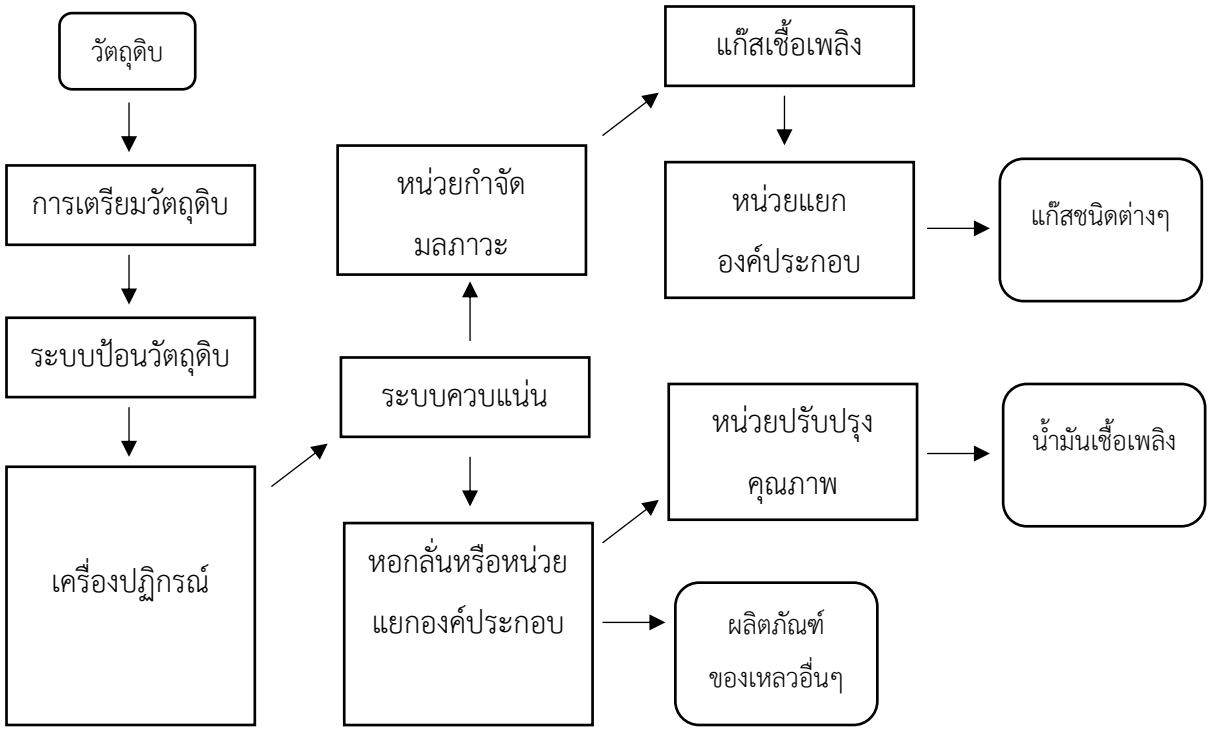
$$\underset{\text{ชีวมวล}}{(C_6H_{12}O_6)_m} \xrightarrow{Heat\ (500-600\ ^\circ C)} \underset{\text{แก๊ส}}{(H_2 + CO + CH_4 + \cdots + C_5H_{12})} + \underset{\text{ของเหลว}}{(H_2O + \cdots + CH_3OH + CH_3COOH + \cdots)} + \underset{\text{ถ่านชาร์}}{C}$$

ไพโรไลซิสเป็นกลไกหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการอื่นๆ อาทิ การแตกตัว (Cracking) การปลดปล่อยสารระเหย (Devolatilization) คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) การสลายตัวด้วยความร้อน (Thermolysis) ทำให้บางครั้งเมื่อกล่าวถึงกระบวนการดังกล่าวจะมีความหมายเดียวกับไพโรไลซิส นอกจากนี้ไพโรไลซิสยังถูกพิจารณาเป็นกระบวนการย่อยที่เกิดขึ้นในกระบวนการอื่นที่มีความซับซ้อนหรือมีสารร่วมทำปฏิกิริยา เช่น การเผาไหม้ แกซิฟิเคชัน และลิควิแฟคชัน โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-650 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ขั้นแรกการสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) ขั้นที่สองเป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถแตกตัวได้ที่สภาวะที่ใช้ก็จะแตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อยๆตามเวลาที่ให้ หรืออุณหภูมิที่กำหนดจนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตถุดิบ โดยอุณหภูมิแต่ละขึ้นแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการให้ความร้อนและเวลามากเกินไป สารที่ได้จากการแตกตัวของวัตถุดิบจะกลับมารวมตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะกลายเป็นของแข็งข้นเหนียวติดอยู่ตามอุปกรณ์ต่างๆได้ ดังนั้น ภาวะที่ใช้ในการไพ

โรไลซิสจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ด้วย การมีความรู้อย่างดีเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ป้อนเข้ากระบวนการ จะทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณที่สูง และไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่ไม่ต้องการ เช่น โค้ก (Coke) หรือก่อให้เกิดผลผลิตที่ทำให้ต้องหยุดการผลิตชั่วคราว เพื่อทำการซ่อมแซมอุปกรณ์

ในบางครั้งอาจมีการเติมไฮโดรเจน หรือไอน้ำเข้าในกระบวนการไพโรไลซิสด้วย ทั้งเพื่อเปลี่ยนการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันมีความเสถียรมากขึ้นเนื่องจากไฮโดรเจนจะเข้าไปรบกวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนที่มีอยู่ในเนื้อของวัตถุดิบ การเติมน้ำในปริมาณไม่มากเกินไปเข้าไปเป็นตัวกลางในกระบวนการไพโรไลซิสจะทำให้ไปเพิ่มความดันให้กับกระบวนการ ทำให้วัตถุดิบเกิดเป็นของไหลได้ง่าย และทำให้ถ่านที่ได้จากกระบวนการมีค่าพื้นที่ผิวสูงขึ้น (ในกรณีที่ต้องการถ่านกัมมันต์ หรือถ่านดูดซับ) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 *แผนผังกระบวนการเทคโนโลยีไพโรไลซิส [11]*

2.5.3.1 ผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิส

- ของแข็งหรือชาร์ โดยทั่วไปมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อนอยู่ประมาณ 32 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับแอกติเวตเตดคาร์บอน (Activated carbon) อย่างไรก็ตามปริมาณชาร์ทั้งหมดจะถูกใช้เป็นแหล่งความร้อนของระบบไพโรไลซิส

- ของเหลว เป็นของเหลวสีน้ำตาลหรือดำ ผลิตภัณฑ์ส่วนนี้ถูกเรียกได้หลากหลาย อาทิ น้ำมันชีวภาพหรือไบโอออยล์ (Bio-oil) น้ำมันทาร์ (Tar) น้ำมันดิบชีวภาพ (Bio-crude) น้ำส้มควันไม้ ของเหลวควันไม้ เป็นต้น โดยทั่วไปน้ำมันชีวภาพมักมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 20- 40 โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ประมาณ 12.5-12 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยเมื่อมีปริมาณความชื้นสะสมมาก ของเหลวที่ได้จะมีความหนืดต่ำและมีค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ต่ำด้วย แต่อย่างไรก็ตามของเหลวที่ได้จาก ไพโรไลซิสยังไม่สามารถนำไปผสมกับเชื้อเพลิงของยานพาหนะได้ ต้องอาศัยการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นเสียก่อน
- แก๊ส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้งการสลายตัวด้วยความร้อนทั้งขั้นต้นและการสลายตัวขั้นที่สอง ซึ่งปลดปล่อยไอระเหยที่ไม่ควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง (Noncondensable Gas) ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นโดยทั่วไปประกอบไปด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน อีเทน และเอทิลีน มีค่าความร้อนต่ำประมาณ 10-15 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอาจใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานในลักษณะต่างๆได้

2.5.3.2 ประเภทของการไพโรไลซิส

1. ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow pyrolysis)

ไพโรไลซิสแบบช้าหรืออาจเรียกว่าคาร์บอไนเซชัน เป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ตั้งแต่อดีตในการผลิตถ่านจากไม้ อุณหภูมิถูกเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในภาวะอับออกซิเจน/อากาศ ที่อุณหภูมิไม่สูงมากประมาณ 400 องศาเซลเซียส และใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมงเพื่อเพิ่มผลิตภัณฑ์ในส่วนของของแข็งหรือถ่าน แต่สำหรับไพโรไลซิสแบบช้าที่ไม่เน้นผลิตภัณฑ์ของแข็งจะดำเนินการที่อุณหภูมิประมาณ 500-600 องศาเซลเซียสและใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

2. ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis)

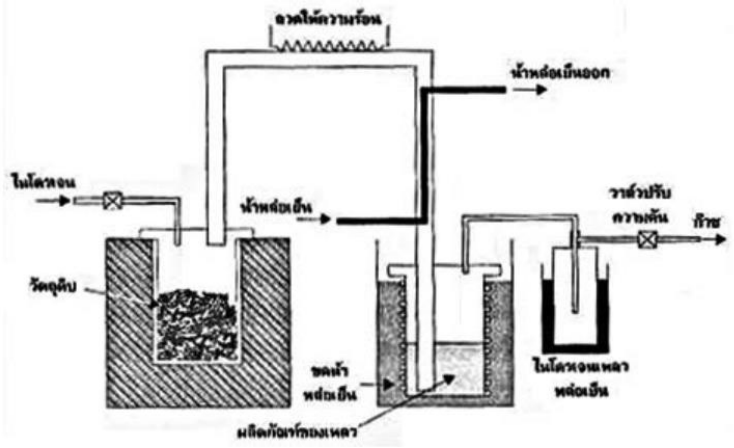
ไพโรไลซิสแบบเร็วเน้นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ในส่วนของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพ ชีวมวลจะถูกให้ความร้อนอย่างรวดเร็วไปที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยเป็นอุณหภูมิที่มีอัตราการสลายตัวสูงสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลหรือสารตั้งต้น หากอุณหภูมิสูงกว่า 650 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นแก๊สจะเพิ่มขึ้น อัตราการให้ความร้อนแบบเร็วอยู่ที่ประมาณ 1000-10000 องศาเซลเซียสต่อวินาที

2.5.3.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการไพโรไลซิส

เครื่องอุปกรณ์ของเทคโนโลยีไพโรไลซิสสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ตามลักษณะองค์ประกอบและการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ ได้แก่

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-Bed Reactors)

เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการออกแบบอย่างง่ายให้มีการบรรจุวัตถุดิบคงที่ภายในเครื่อง โดยวัตถุดิบจะไม่มีการเคลื่อนที่เลยขณะที่ถูกให้ความร้อนและจนกระทั่งแตกตัวหมด สิ่งที่เคลื่อนที่ในเครื่องปฏิกรณ์ก็คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของไหลซึ่งไหลออกจากระบบได้โดยการนำพาของแก๊สเฉื่อย ด้วยความดันภายในหรือด้วยการดูดออกโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้เป็นปฏิกรณ์อย่างง่ายที่สุด จึงนิยมใช้กันมากในระดับการทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดสอบการผลิตเบื้องต้นไม่ต้องใช้วัตถุดิบมากนัก แต่ในระดับการผลิตมีการนำระบบนี้มาใช้เช่นกัน ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ก็คือ จะต้องมีการเปิดของเครื่องปฏิกรณ์ทุกครั้งหลังจากที่ปฏิบัติการเสร็จไปแล้วครั้งหนึ่งเพื่อนำเอาผลผลิตที่เป็นของแข็งออกจากเครื่องปฏิกรณ์และป้อนวัตถุดิบชุดใหม่ลงไปเป็นครั้งๆไป (Batch Systems) ดังนั้น ระบบการผลิตจึงเป็นในรูปแบบกึ่งต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องเท่านั้น (Batch or Semi Continuous Batch Reactor System)



รูปที่ 2.6 *เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่แสดงในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Batch)*

2. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์ (Fluidized Bed Reactors)

เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไซด์เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการออกแบบให้วัตถุดิบเกิดการเคลื่อนตัวในระบบปฏิกรณ์แบบปั่นป่วน (Turbulence) จนกระทั่งแตกตัวหมด วัตถุดิบที่ป้อนเข้าจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะสามารถเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนได้อย่างอิสระและใช้พลังงานในการทำให้เกิดความปั่นป่วนน้อยจากนั้นวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าระบบแบบเป็นครั้งๆตามปริมาณที่ต้องการ เมื่อวัตถุดิบเข้าถึงภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการป้อนแก๊สตัวพาด้วยความเร็วสูงพอที่จะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนตัวแบบปั่นป่วน (ระบบนี้เป็นระบบที่มีการผสมของแก๊ส-ของแข็ง) จากนั้นให้ความร้อนแก่ระบบจนกระทั่งวัตถุดิบแตกตัวหมดแล้วจึงจะป้อนวัตถุดิบเข้าอีกครั้งหนึ่ง

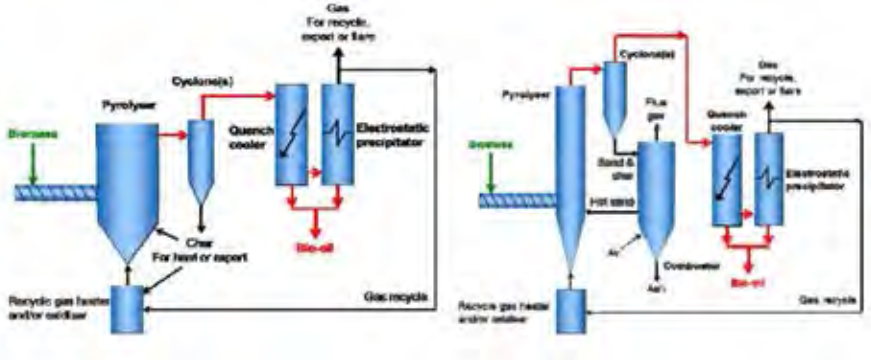
เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์สามารถแบ่งออกตามลักษณะการเคลื่อนตัวของวัตถุดิบในเครื่องปฏิกรณ์ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์แบบฟองแก๊ส (Bubbling Fluidized Bed)

เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทำให้เกิดการไหลของวัตถุดิบแบบปั่นป่วนตามการเคลื่อนที่ของฟองแก๊สที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ การทำงานเริ่มจากการป้อนแก๊สที่เป็นตัวพาเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับป้อนวัตถุดิบและตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปด้วย ความเร็วของแก๊สที่ใช้จะทำให้เกิดการรวมตัวของวัตถุดิบและแก๊สแล้วทำให้วัตถุดิบเกิดการเคลื่อนตัวแบบปั่นป่วน และเกิดการยกตัวขึ้นไปตามทิศทางการไหลของแก๊ส (ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นการเคลื่อนตัวขึ้นตามความสูงของเครื่องปฏิกรณ์) การเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนภายในระบบจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวัตถุดิบแตกตัวหมด

2. เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์แบบไหลเวียน (Circulating Fluidized Bed)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของวัตถุดิบและตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบปั่นป่วน การทำงานก็จะคล้ายกับเครื่องปฏิกรณ์แบบฟองแก๊ส คือมีการใช้แก๊สเป็นตัวนำพา แต่ต่างกันตรงที่มีการไหลเวียนของวัฏภาคของแข็ง ซึ่งในที่นี้หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยา โดย วัฏภาคที่เป็นของแข็งจะถูกพาออกจากเครื่องปฏิกรณ์ และการหมุนเวียนเอากลับไปใช้ใหม่ในระบบ



รูปที่ 2.7 *เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์ (ก) แบบฟองแก๊ส (ข) แบบไหลเวียน*

2.5.4 ลิควิแฟคชัน (Liquefaction)

กระบวนการเปลี่ยนรูปของแข็งหรือแก๊สที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสหรือกระบวนการแกซิฟิเคชันให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ อาจแบ่งได้ตามลักษณะการดำเนินการได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ลิควิแฟคชันทางตรง

การเปลี่ยนรูปแบบขั้นตอนเดียวจากเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว กรณีที่ไม่ใช้ตัวกลางหรือสารร่วมทำปฏิกิริยาจะหมายถึง ไพโรไลซิสแบบเร็ว แต่สำหรับกระบวนการที่ใช้ตัวกลางหรือสารร่วมทำปฏิกิริยาตัวกลางที่ใช้มักเป็นของเหลว ในกรณีของชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ซึ่งมีความชื้นสูง นิยมใช้น้ำเป็นตัวกลางหลักอาจมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย กระบวนการดังกล่าวถูกเรียกว่า ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟคชัน (Hydrothermal

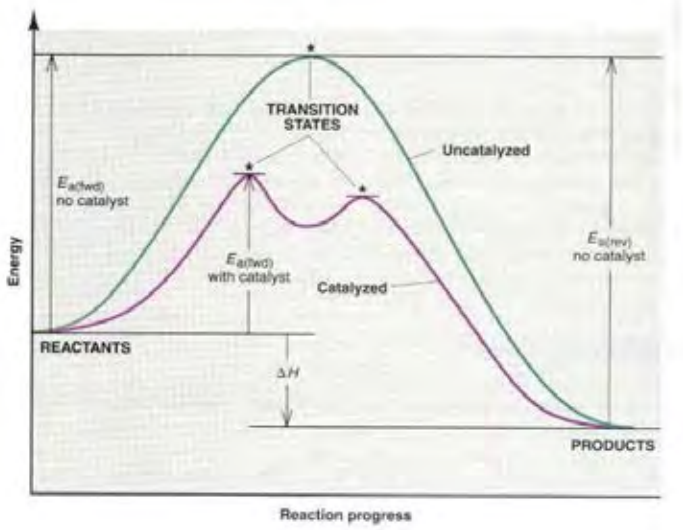
liquefaction) ข้อได้เปรียบที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือการใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงได้โดยตรง ช่วยลดการใช้พลังงานสำหรับการทำแห้งวัตถุดิบ กระบวนการนี้จึงเหมาะกับวัสดุจำพวกชีวมวลที่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ขยะ มูลสัตว์ กากตะกอนน้ำเสีย หรือพืชพลังงานต่างๆที่เติบโตในแหล่งน้ำ เช่น สาหร่าย ผักตบชวา เป็นต้น

2. ลิควิแฟคชันทางอ้อม

ลิควิแฟคชันทางอ้อมเป็นการเปลี่ยนรูปที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากการแปลงสภาพของเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊สผ่านกระบวนการแกซิฟิเคชัน จากนั้นแก๊สที่มีส่วนประกอบหลักเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการแลงสภาพจากแก๊สเป็นของเหลว (gas-to-liquid process) หรือนิยมเรียกว่า จีทีแอล (GTL) โดยปกติจะดำเนินการที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส ความดันสูง และมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การสังเคราะห์ฟิชเชอร์โทรปช์ (Fischer-Tropsch synthesis) การสังเคราะห์เมทานอล (Methanol synthesis) เป็นต้น โดยปฏิกิริยาหลักของกระบวนการคือ พอลิเมอไรเซชัน และไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์

2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา [12]

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) คือ สารที่ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยาเร็วขึ้นเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีของปฏิกิริยา (Chemical Path) ส่งผลให้วิถีใหม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Activation Energy, E_a) ต่ำกว่าวิถีเดิม อย่างไรก็ตามพลังงานของสารที่เกิดขึ้นต้องไม่ต่ำกว่าพลังงานของผลิตภัณฑ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มค่าการแปลงผันทางเคมี (Conversion) ค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Selectivity) และผลได้ของผลิตภัณฑ์ (Yield) ได้



รูปที่ 2.10 *พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา [13]*

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งตามลักษณะของวัฏภาคระหว่างสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธุ์ (Homogeneous Catalysts) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัฏภาค (phase) เดียวกับสารตั้งต้น (reactant) และผลิตภัณฑ์ (product) ที่ได้เป็นเนื้อเดียวกันและละลายอยู่ด้วยกัน ส่วนใหญ่อยู่ในวัฏภาคของเหลวหรือแก๊ส ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับการเร่งปฏิกิริยาที่ชัดเจนทำให้ง่ายต่อการศึกษา เนื่องจากสามารถวิเคราะห์สารในรูปสารละลายได้สะดวกและหากฎอัตราของปฏิกิริยาได้ง่าย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ได้รับความสนใจมากเนื่องจากส่วนใหญ่มีความสามารถในการเลือกทำปฏิกิริยาสูงและไวต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะปฏิกิริยาที่คายความร้อน แต่มีข้อจำกัดคือสลายตัวหรือเสียสภาพในภาวะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูงและแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ยาก
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous Catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในวัฏภาคแตกต่างกับสารตั้งต้น เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นเป็นแก๊สหรือของเหลว ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มากในอุตสาหกรรม เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งมีความแข็งแรงเชิงกล ทนต่อความดันและอุณหภูมิสูง สามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นได้ง่าย ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นของเหลว สารตั้งต้นมักผสมอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ในภาวะที่ต้องการและการแยกผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการกลั่น
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์ (Enzyme Catalysts) ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์-เอกพันธุ์ (Heterogeneous Homogeneous Catalyst) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์คืออยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นแต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น สารประกอบโปรตีน มีประสิทธิภาพสูงมากเพราะมีความจำเพาะเจาะจงต่อการเลือกทำปฏิกิริยาสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา เอกพันธุ์และวิวิธพันธุ์ ใช้เวลาเร่งปฏิกิริยาสั้น ภาวะทำปฏิกิริยาต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์และ วิวิธพันธุ์ ส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมยาและอาหาร

ตารางที่ 2.6 *สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างๆ*

สมบัติ	**ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์**	**ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์**	**ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์**
ความว่องไวเมื่อเทียบในปริมาณที่เท่ากัน	สูง	แปรค่าได้	สูงมาก
ค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์	สูง	แปรค่าได้	สูงมาก
ภาวะทำปฏิกิริยา	ไม่รุนแรง	รุนแรง	ไม่รุนแรง

อายุการใช้งาน	แปรค่าได้	นาน	แปรค่าได้
ความว่องไวต่อการเกิดภาวะพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยา	ต่ำ	สูง	-
ปัญหาจากการแพร่ของสารตั้งต้น	ไม่มี	อาจมีผล	-
การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่	ทำได้ยาก	ทำได้ง่าย	-

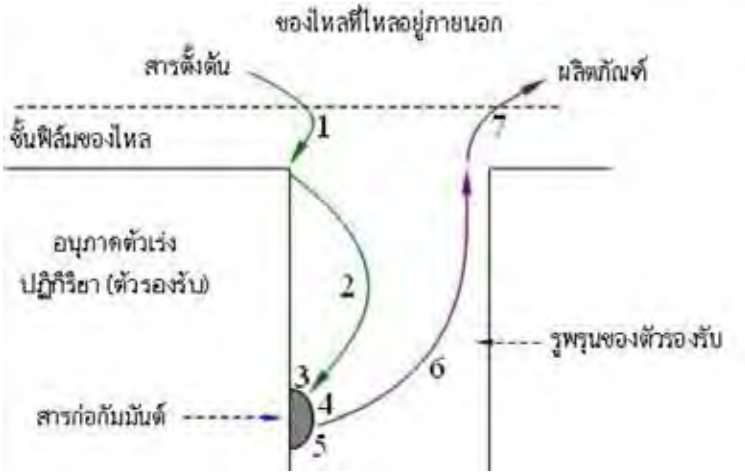
2.6.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งออกเป็นสมบัติทางกายภาพ ซึ่งจะมีผลต่อการของสารตั้งต้นที่จะเข้าไปยังตำแหน่งกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยาและสมบัติทางเคมี ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

1. พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Surface Area) เป็นสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแปรผันกับความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา การเพิ่มพื้นที่ผิวทำได้ด้วยการลดขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาให้เล็กลง หรือเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความพรุนสูง โดยพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถวัดได้โดยการใช้วิธีการดูดซับของไนโตรเจน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกใช้งานแล้วจะมีพื้นที่ผิวลดลงเป็นอย่างมาก
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (Pore Diameter) เป็นสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยเพิ่มค่าการเลือกเกิด (Selectivity) ของปฏิกิริยาที่ต้องการได้โดยขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาต้องเหมาะสมกับโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reactant) และโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Desired Product) รูพรุนแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามระบบ International Union of Pure and Applied Chemistry : IUPAC คือ
   2.1 รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร
   2.2 รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2-50 นาโนเมตร
   2.3 รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 50 นาโนเมตร
3. ความว่องไว (Activity) ของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อเข้าสู่สมดุลในการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์
4. ความเป็นกรด (Acidity) ของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความสามารถในการถ่ายโอนโปรตอน (H^+) ของตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับสารตั้งต้น ซึ่งมีความสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
5. ตำแหน่งกัมมันต์ (Active Sites) คือ ตำแหน่งหรือพื้นผิวที่มีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา เมื่อสารตั้งต้นแพร่เข้ามาสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตำแหน่งกัมมันต์การเร่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น

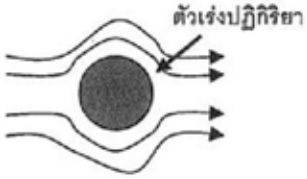
2.6.2 การเกิดปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

การเกิดปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นที่แพร่เข้าไปยังรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ การเกิดปฏิกิริยาเร่งบนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 2.11 แบ่งได้ 7 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 2.11 *กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ [14]*

1. การแพร่ของสารตั้งต้นจากภายนอก (External Diffusion) ผ่านชั้นขอบเขตไปยังผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งซึ่งยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี



รูปที่ 2.12 *การแพรของสารตั้งต้นจากภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์*

โดยในขั้นตอนนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.27)

$$k_{exit.\ diff.} = (k_g)(S_{exit}) \qquad (2.27)$$

เมื่อ $k_{exit.\ diff.}$ คือ ค่าคงตัวของการแพร่ภายนอก (external diffusion coefficient)

k_g คือ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient)

S_{exit} คือ พื้นที่ผิวภายนอกของอนุภาคต่อปริมาตรของอนุภาค

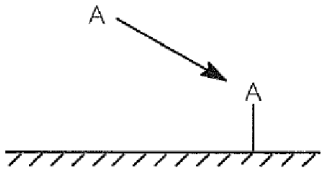
2. การแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา (Internal Pore Diffusion)

เนื่องจากรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดและรูปทรงที่ไม่แน่นอน ทำให้โมเลกุลของสารตั้งต้นจึงชนกันเองและชนกับผนังของรูพรุนดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 *การแพรของสารตั้งต้นเข้าไปภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์*

3. การดูดซับ (Adsorption) ของสารตั้งต้นบริเวณพื้นผิว

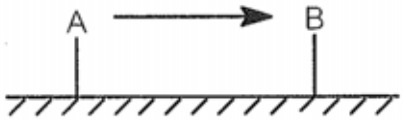
โดยสารตั้งต้น A จะถูกดูดซับที่พื้นผิวด้านนอกภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เนื่องจากเกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้นกับพื้นผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.14 โดยกรณีนี้สารตั้งต้น A เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งเรียกว่าตัวดูดซับ (adsorbent) เกิดการจับติดของสารตั้งต้นเป็นชั้นเดียวที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.14 *การดูดซับทางเคมีของสาร A บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา*

4. ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface Reaction)

โมเลกุลของสารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ตำแหน่งกัมมันต์ (Active site) บนพื้นผิวภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 *การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาจากโมเลกุล A ไปเป็นโมเลกุล B*

5. การคายซับ (Desorption) ของผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นผิว

ขั้นตอนนี้โมเลกุลของผลิตภัณฑ์ B จะเกิดการคายหรือหลุดออกจากพื้นผิวด้านนอกภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังสิ้นสุดปฏิกิริยา นับเป็นการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีขั้นตอนสุดท้าย

6. การแพร่ของผลิตภัณฑ์ออกจากรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์ B ที่เกิดขึ้นจะแพร่ผ่านรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยากลับไปที่ผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา หากปฏิกิริยาพื้นผิวในขั้นตอนที่ 4 เกิดไม่สมบูรณ์จะมีสารตั้งต้นแพร่ออกมาด้วย

7. การแพร่ของผลิตภัณฑ์จากผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังชั้นขอบเขตที่ล้อมรอบตัวเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการทั้ง 7 ขั้นตอนจะเกิดขึ้นสมบูรณ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นรูพรุน ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นมีขนาดรูพรุนใหญ่หรือมีรูพรุนน้อยมากๆ จนนับไม่ได้ว่ามีรูพรุนอยู่จะทำให้การแพร่หรือการถ่ายเทมวลเกิดได้อย่างรวดเร็วและถือได้ว่ากระบวนการโดยรวมไม่มีขั้นตอนที่ 2 และ 6

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญบนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ คือ การดูดซับและการคายซับ ซึ่งการดูดซับแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physic-Sorption)

   เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งประกอบด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ (Electrostatic Attraction) แรงกระทำของขั้วถาวร (Dipole Moment) ของโมเลกุล และแรงระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลที่มีขั้ว (Induced Dipolar Attraction) แรงเหล่านี้ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางกายภาพบริเวณผิวโดยโมเลกุลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คือ ไม่มีการเกิดหรือสลายพันธะใดๆ

2. การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

   เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาดูดซับโมเลกุลของแก๊สหรือของเหลว โมเลกุลดังกล่าวจึงเกาะติดบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการเรียงตัวใหม่ (Rearrangement) ของโมเลกุลโดยอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุล

2.7 ดินเบนโทไนท์[15]

ดินเบนโทไนท์ Bentonite clay จัดเป็นหินเถ้าภูเขาไฟที่แปรเปลี่ยนเบื้องต้นไปเป็นเนื้อดิน ถูกแช่ในน้ำมาเป็นเวลา 200 ล้านปี อยู่ในกลุ่มแร่เสม็คไทท์ (Smectite) หรือมอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite)เป็นองค์ประกอบหลัก

มีส่วนประกอบรองลงมาคือ ซิลิคอน อลูมิน่า เหล็ก แคลเซียม ควอร์ท แมกนีเซียม Na_2O K_2O $TiO_2P_2O_5$ MnO Cr_2O_3 Ge ฯลฯ อีก 20 กว่าชนิด

ดินเบนโทไนท์ Bentonite clay ไม่ได้ประกอบด้วยดินเกาลินแต่เป็นผลึกดินมีโครงสร้างเป็นผลึกตาข่ายที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดมาก มีพื้นที่ผิวจำเพาะปฐมภูมิ (Primary specific Surface) สูงมาก ระหว่าง 50 ถึง 120 ตารางเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะทุติยภูมิ (Secondary specific Surface) สูงได้ถึง 840 ตารางเมตรต่อกรัม

เรียกว่า ดินเบนโทไนท์ เพียง 100 กรัม จะสามารถคลอบคลุมสนามฟุตบอล ได้เต็มสนามอย่างสบายๆ ด้วยขนาดอนุภาคที่เล็กละเอียด ดังนี้จึงทำให้พืชจึงสามารถที่จะดูดซับธาตุอาหารจากดินเบนโทไนท์ไปใช้ได้ทันที

ดินเบนโทไนท์ มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดี สามารถดูดน้ำไว้ได้มากซึ่งเป็นผลให้ดินมีลักษณะขยายตัว (Swell ability) สูง 5 – 20 เท่าของปริมาตรดินแห้งหรือเกิดการพองตัวบวมเมื่ออุ้มน้ำไว้ได้มาก ๆ คล้ายกาว จึงจัดเป็นตัวเคลือบปุ๋ย ยึดเกาะเม็ดปุ๋ย (Blender) ที่ดีที่สุด

ดินเบนโทไนท์ มีสูตร Al2O3 * 4SIO2 * 2H2O แร่ดินชนิดนี้สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไอออน กับเชื้อโรคและดูดซับกลิ่นได้ดีเมื่อเปียกน้ำจะดูดซับสารที่มีประจุบวกได้ดีจำพวกเชื้อโรคต่างๆไว้ ทำให้สามารถช่วยป้องกันอาการของโรคเน่าในพืชและดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น โรคเชื้อรา โรครากเน่า โคนเน่า ฯลฯมีเกษตรกรหลายรายนำดินเบนโทไนท์ไปช่วยดูดซับกลิ่นของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ได้ผลชัดเจน

ด้วยคุณสมบัติคล้ายกาวของดินเหนียวภูเขาไฟชนิดนี้ ในอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยขึ้นรูปเม็ดปุ๋ยจะนิยมใช้ ดินเบนโทไนท์เพื่อเพิ่มความเหนียวให้วัตถุดิบผลิตปุ๋ยปั้นเม็ดได้ง่ายต่อการขึ้นรูปจึงจัดเป็นตัวเคลือบปุ๋ย(Blender) ที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถช่วยขึ้นรูปงานปั้นเม็ดปุ๋ยได้รวดเร็วสะดวกดีกว่า โดยการใช้ดินเบนโทไนท์10% - 20% ในสูตรเดิม ทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณภาพให้แก่ปุ๋ยอีกด้วย

แร่ดินเบนโทไนท์มี 2 ชนิด คือ

1. โซเดียมเบนโทไนท์ เหมาะสำหรับใช้เพื่องานอุตสาหกรรม (Sodium bentonite use for industrial)
2. แคลเซียมเบนโทไนท์ เหมาะสำหรับใช้เพื่อชีวิต (Calcium bentonite use for life) ซึ่งบริษัทฯของเราจำหน่ายชนิดแคลเซียมเบนโทไนท์ ที่จะปลอดภัยต่อคน พืช สัตว์ สิ่งแวดล้อม ทั้งยังเป็นประโยชน์มากต่อการเกษตร

องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ทางเคมี ในดินเบนโทไนท์ Bentonite clay

SiO2	74.25
Al2O3	13.56
Fc2O3	3.90
TiO2	0.87
K2O	0.53
CaO	0.38
MgO	0.33
P2O5	0.02
MnO	0.01
H2O	0.67
Cr	42 ppm

Zn Ge (Germanium)	23 ppm 4. 5 ug / g
ลักษณะการขยายตัว	5 – 20 เท่า
มีแร่ธาตุเสริมอื่น ๆ อีกกว่า 20 ชนิด	

คุณสมบัติของธาตุเสริมต่าง ๆ ในดินเบนโทไนท์ (Bentonite clay)

ดินเบนโทไนท์มีธาตุซิลิคอน โครงสร้างเนื้อดินเป็นผลึกตาข่ายมีค่าความเป็นกรดอ่อนๆ ค่า PH = 5 จากธรรมชาติได้มาจากการแตกตัวของสารประกอบที่เรียกว่า กรดซิลิซิค Silicic Acid ซึ่งแปลว่า ซิลิเคทที่อมน้ำสูง สามารถละลายน้ำได้ง่ายและมีปฏิกิริยาเร็วกว่าหินถึง 3 เท่า แม้ว่าชนิดหินจะถูกบดละเอียดกว่า 300 เมซ ก็ไม่สามารถจะแตกตัวปล่อยธาตุอาหารได้รวดเร็วเท่าดินเบนโทไนท์ ประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กละเอียดมาก ทำให้ประจุของซิลิเคทที่ปะปนอยู่ เมื่อถูกน้ำแล้วจะแตกตัวสามารถให้ธาตุซิลิคอนกระจายตัว เพื่อให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารซิลิคอนไปใช้ได้ทันที เพื่อทำให้พืชมีความแข็งแรงเสมือนพืชติดเกราะเหล็ก มีความต้านทานต่อโรคและแมลง หนอน เพลี้ย ได้ดียิ่งขึ้น ช่วยในการเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตได้อย่างดีเยี่ยม

กลไกการทำงานของแร่ธาตุซิลิคอนในดินเบนโทไนท์

เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารเสริมโดยเฉพาะธาตุซิลิคอน เมื่อพืชดูดซึมธาตุซิลิคอนผ่านทางรากแล้วก็จะกระจาย ไปทั่วทั้งลำต้นและใบทั่วทุกผนังเซลล์ผิวลำต้นและใบขึ้นไปพร้อมน้ำและธาตุอาหารต่าง ๆ ต่อมาน้ำจะระเหยออกทางผิว แต่ธาตุซิลิคอนไม่ระเหยจึงสะสมอยู่ที่ผิวมากขึ้นก็กลายเป็นผลึกควอร์ท โอปอล หรือ เปลี่ยนเป็นซิลิเกตเคลือบที่ใบพืชที่มีธาตุซิลิคอนเคลือบอยู่จะมันเงาและมีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อโรคและแมลงเกษตรกรควรจะนำปุ๋ยที่มีธาตุซิลิคอนเข้ามาเป็นตัวเสริมด้วยจะทำให้ผลผลิตดียิ่งขึ้น

ดินเบนโทไนท์มีธาตุอะลูมิน่า , แคลเซียม , โซเดียม ฯลฯ

ธาตุเสริมจำพวกอลูมิโนซิลิเกตและธาตุเสริมอื่น ๆ มีประโยชน์สำหรับพืชช่วยปรับสภาพความเป็นกรดด่างของดินช่วยให้พืชดูดซึมธาตุอาหารเสริมไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดีเยี่ยม

ดินเบนโทไนท์มีธาตุโปแตสเซียม (K) มีธาตุโปแตสเซียม ตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถแตกตัวได้ดีเมื่อเปียกน้ำและจะทำปฏิกิริยาเร็วกว่าหินถึง 3 เท่า แม้ว่าชนิดหินจะถูกบดละเอียดกว่า 300 เมซ ก็ไม่สามารถจะแตกตัวปล่อยธาตุอาหารได้รวดเร็วเท่าดินเบนโทไนท์เนื่องจากเนื้อดินมีอนุภาคที่เล็กละเอียดกว่าเนื้อหิน ทำให้การแตกประจุของธาตุอาหาร K ทำได้ดีกว่า การดูดซึมธาตุอาหารของพืชจึงได้รับอย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้ลำต้นผนังเซลล์แข็งแรงไม่หักโค่นหรือ

ล้มง่ายช่วยในกระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาลที่สะสมในพืช พืชมีความแข็งแรงต้านทานต่อโรคและแมลง ติดดอกออกผลดีเป็นพิเศษ

ดินเบนโทไนท์มีธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุสังกะสี (Zn) ธาตุรองอื่น ๆ

ธาตุเหล็ก Fe ช่วยในขบวนการหายใจและช่วยสร้างคลอโรฟิลล์ในการปรุงอาหารของพืชและยังมีธาตุอาหารเสริมอื่น ๆ มี 20 กว่าชนิดที่พืชต้องการเป็นอย่างยิ่ง

ดินเบนโทไนท์ ช่วยปล่อยปุ๋ยละลายช้า (Slow release)

โดยปกติพืชจะใช้ปุ๋ยเคมีที่เราใส่ลงไปในดินได้ไม่เกิน 50 % ส่วนที่เหลือจะระเหยหรือถูกน้ำชะล้างไป นอกจากนี้สภาพดินที่มีปัญหา เช่น ดินเปรี้ยว ดินเค็ม จะขัดขวางไม่ให้พืชดูดซับปุ๋ยจากดินไปใช้ได้ ดินเบนโทไนท์ มีค่าแลกเปลี่ยนประจุ (CEC) สูง ซึ่งจะช่วยจับปุ๋ยไว้ไม่ให้ระเหย ช่วยปล่อยปุ๋ยละลายช้า slow release ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยและช่วยประหยัดปุ๋ยเคมีได้

ดินเบนโทไนท์ นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย อาทิ

- การทำโคลนเจาะต่าง ๆ ใช้ผสมกับน้ำเพื่อช่วยหล่อเลี้ยงหัวเจาะในการเจาะบ่อน้ำบาดาลหรือเจาะบ่อน้ำมัน
- การขจัดสีในน้ำมัน อุตสาหกรรมฟอกสี
- ใช้ผสมอาหารสัตว์ให้สัตว์กินเพื่อเพิ่มแร่ธาตุเสริม
- การผลิตเครื่องสำอาง
- การขจัดคราบไขมัน ในบ่อบำบัดน้ำเสีย
- อุตสาหกรรมเซรามิก
- ทำบ่อเก็บกักน้ำ ในพื้นที่ที่เก็บกักน้ำไม่อยู่
- การเลี้ยงกุ้ง , ปลา ช่วยดูดซับสารพิษ ช่วยให้กุ้งลอกคราบง่ายขึ้น
- บำบัดน้ำเสีย รักษาคุณภาพน้ำ ขจัดแก๊สพิษ โลหะหนัก กลิ่นไม่พึงประสงค์
- ช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน ปรับสภาพดินทำให้ดินดี มีความอุดมสมบูรณ์
- ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ ใช้ผสมกับมูลสัตว์เพื่อลดกลิ่นและลดปริมาณเชื้อโรคได้ดี
- ใช้ผสมดินหรือคอนกรีตในการก่อสร้างเขื่อนหรือคลอง เพื่อป้องกันการรั่วซึม

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[16] **Teng-Chien Chen et al. (2016)** ศึกษาความสามารถในการฟอกสีของแอคติเวเต็ด เคลย์(เบนโทไนท์)ในการกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์จากเชื้อเพลิงดีเซล งานวิจัยนี้พิสูจน์ว่ากระบวนการออกซิเดทีฟ ดีซัลเฟอไรเซชันมีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการไฮโดรดีซัลเฟอไรเซชัน กระบวนการออกซิเดทีฟ ดีซัลเฟอไรเซชันใช้ไฮโดรเจน

เปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิแดนท์ กรดฟอสโฟทังสติกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เตตระออกทิลแอมโมเนียมโบรไมด์เป็นตัวเปลี่ยนเฟส เพื่อเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟอร์ในดีเซลให้อยู่ในรูปซัลโฟน สารประกอบซัลโฟนโดนกำจัดโดยแอคติเวเต็ดเคลย์เป็นตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสารประกอบซัลโฟนของแอคติเวเต็ด เคลย์ประเมินค่าผ่านสมดุลเคมีและจลนศาสตร์ จลนศาสตร์การดูดซับเป็นแบบจำลองอันดับที่สอง

[17] **Renji Zheng et al. (2017)** ศึกษาผลการเตรียมแอคติเวเต็ด เบนโทไนท์และการประยุกต์ในการกำจัดรงควัตถุสีเขียวในน้ำมันจากน้ำมันพืชหรือน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอาหาร การทดลองปัจจัยต่างๆทดลองเพื่อหาปัจจัยในการเตรียมแอคติเวเต็ด เบนโทไนท์ โดยมีตัวแปรต่างๆ คือ เวลา อัตราส่วนตัวดูดซับ อุณหภูมิ และความเข้มข้นรงควัตถุสีเขียวในน้ำมัน ส่วนประกอบทางเคมี โครงสร้างผลึก โครงสร้างเล็กๆ ฟังก์ชันกรุ๊ปถูกวิเคราะห์โดยXRF, XRD, SEM, FT-IRตามลำดับ ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับและไอโซเทอมสมดุลเพื่อหากระบวนการดูดซับที่เหมาะสมกับแบบจำลองอันดับที่สองและไอโซเทอมแบบฟรุนดิช

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

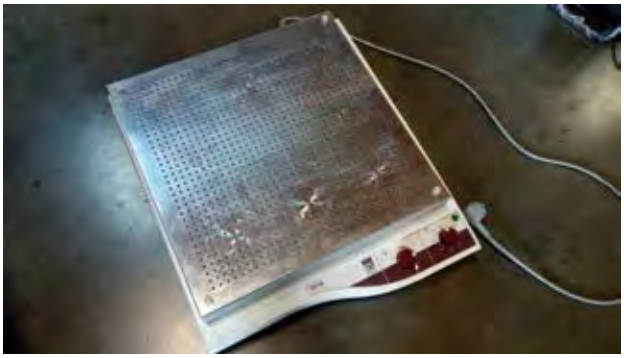
งานวิจัยนี้ศึกษาการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ เพื่อหาสภาวะที่การฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกดีที่สุดโดยเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT โดยการทดลองเริ่มจากออกแบบการทดลองการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที อัตราส่วนของแอคติเวเต็ด เคลย์ 25, 50, 75 และ 100 wt% (หรือ 30, 60, 90 และ 120 กรัมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ 120 กรัมน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก) ความเร็วเครื่องเขย่า 3 ระดับ ช้า, ปานกลาง และเร็ว และขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ เล็กและใหญ่ จากนั้นทำการทดลอง วิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT โดยสามารถเปรียบเทียบด้วยตาเปล่า และวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์ ก่อนและหลังการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก (Pyrolysis oil from waste plastic)
2. แอคติเวเต็ด เคลย์(Activated Clay)
3. น้ำมันเบนซินจากปั๊มPT
4. น้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

1. เครื่องเขย่าสาร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ *3.1 เครื่องเขย่าสาร*

2. ชุดกรองสุญญากาศประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศที่ต่อกับชุดเครื่องแก้ว เพื่อกรองแยกของเหลวออกจากของแข็งแบบสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Microfiber Filter) ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ *3.2* ชุดกรองสุญญากาศ

3. กระดาษกรองใยแก้ว
4. กระดาษทิชชู
5. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. ตู้อบ
7. เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กรวยกรอง หลอดหยด ขวดรูปกรวย เป็นต้น
8. ช้อนตักสาร
9. ขวดใส่ตัวอย่าง

3.3 วิธีการทดลอง

1. ออกแบบการทดลองสำหรับการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ กำหนดตัวแปรที่ศึกษา ดังตารางที่ 3.1 คือ

- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส
- เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที
- อัตราส่วนแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก
- ความเร็วเครื่องเขย่า 3 ระดับ ช้า, ปานกลาง และ เร็ว
- ขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ แบบผงละเอียด(เล็ก) และแบบเม็ด(ใหญ่)

ตารางที่ 3.1 *จำนวนการทดลองสำหรับการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์*

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ปริมาณแอคติเวเต็ดเคลย์ (wt%)	ความเร็วเครื่องเขย่า	ขนาดแอคติเวเต็ดเคลย์
1	30	60	50	เร็ว	ใหญ่
2	30	60	50	เร็ว	เล็ก
3	30	60	25	เร็ว	เล็ก
4	30	60	75	เร็ว	เล็ก
5	30	60	100	เร็ว	เล็ก
6	30	60	100	ปานกลาง	เล็ก
7	30	60	100	ช้า	เล็ก
8	40	60	100	เร็ว	เล็ก
9	50	60	100	เร็ว	เล็ก
10	30	45	100	เร็ว	เล็ก
11	30	30	100	เร็ว	เล็ก
12	30	15	100	เร็ว	เล็ก
13	30	5	100	เร็ว	เล็ก

14	30	1	100	เร็ว	เล็ก

2. การฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์
   2.1. เตรียมชุดการทดลองประกอบด้วยเครื่องเขย่าสารและชุดกรองสุญญากาศ
   2.2. ชั่งน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก 120 กรัม ในขวดรูปกรวย(ทุกการทดลอง)
   2.3. ทำการทดลองที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที อัตราส่วนของแอคติเวเต็ด เคลย์ 25, 50, 75 และ 100 wt% (หรือ 30, 60, 90 และ 120 กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อ 120 กรัมน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก) ความเร็วเครื่องเขย่า 3 ระดับ ช้า, ปานกลาง และเร็ว และขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ เล็กและใหญ่ ดังตารางที่ 3.1 โดยเทแอคติเวเต็ด เคลย์ลงในขวดรูปกรวยที่มีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก และนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร
   2.4. นำของเหลวที่ได้จากการเขย่าไปกรองโดยชุดกรองสุญญากาศเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวและของแข็งแอคติเวเต็ด เคลย์ โดยผลิตภัณฑ์ของเหลวใส่ในขวดใส่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ของแข็งแอคติเวเต็ด เคลย์นำไปอบระเหยน้ำมัน เพื่อส่งวิเคราะห์XRDและXRF
3. วิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT โดยสามารถเทียบด้วยตาเปล่า
4. วิเคราะห์หาองค์ประกอบของแอคติเวเต็ด เคลย์ ก่อนและหลังการฟอกสี ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)
5. วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์ ก่อนและหลังการฟอกสี ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)

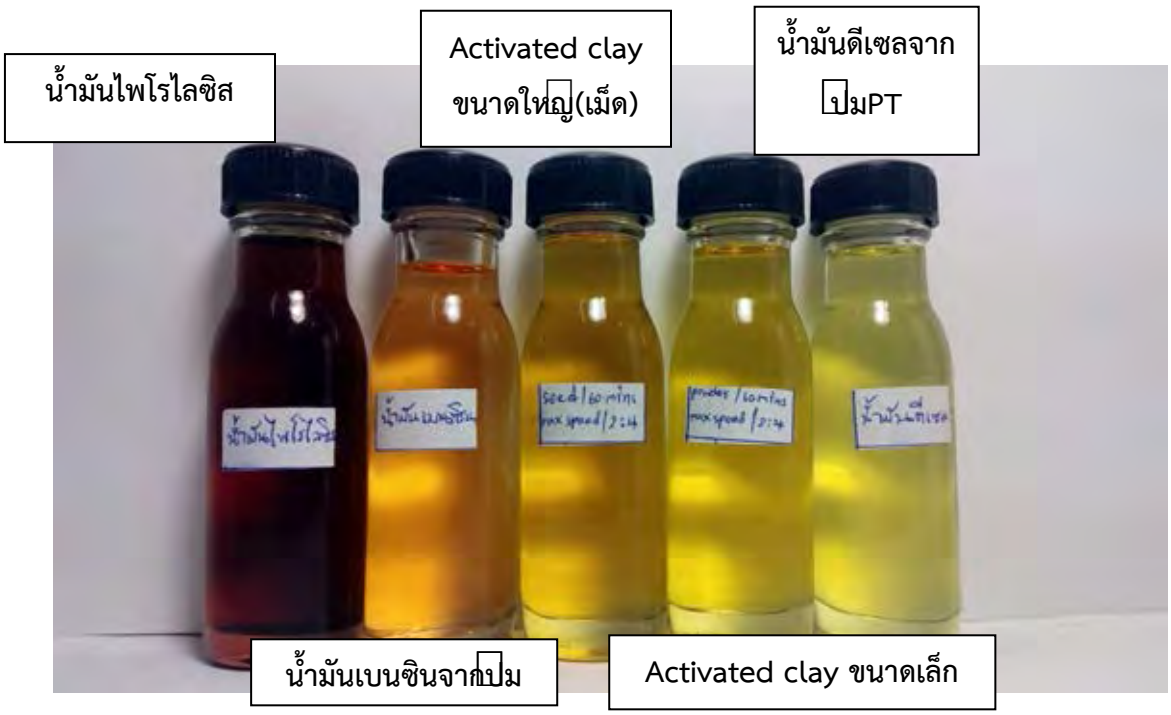
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทนี้รายงานผลของขนาดแอคติเวเต็ด อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด ความเร็วเครื่องเขย่า อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา และเวลาการทำปฏิกิริยา เคลย์ผลเชิงปริมาณ คือ ผลของตัวแปรที่ศึกษาต่างๆและปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดที่สภาวะที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยา ผลเชิงคุณภาพ ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

4.1 การฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกโดยแอคติเวเต็ด เคลย์

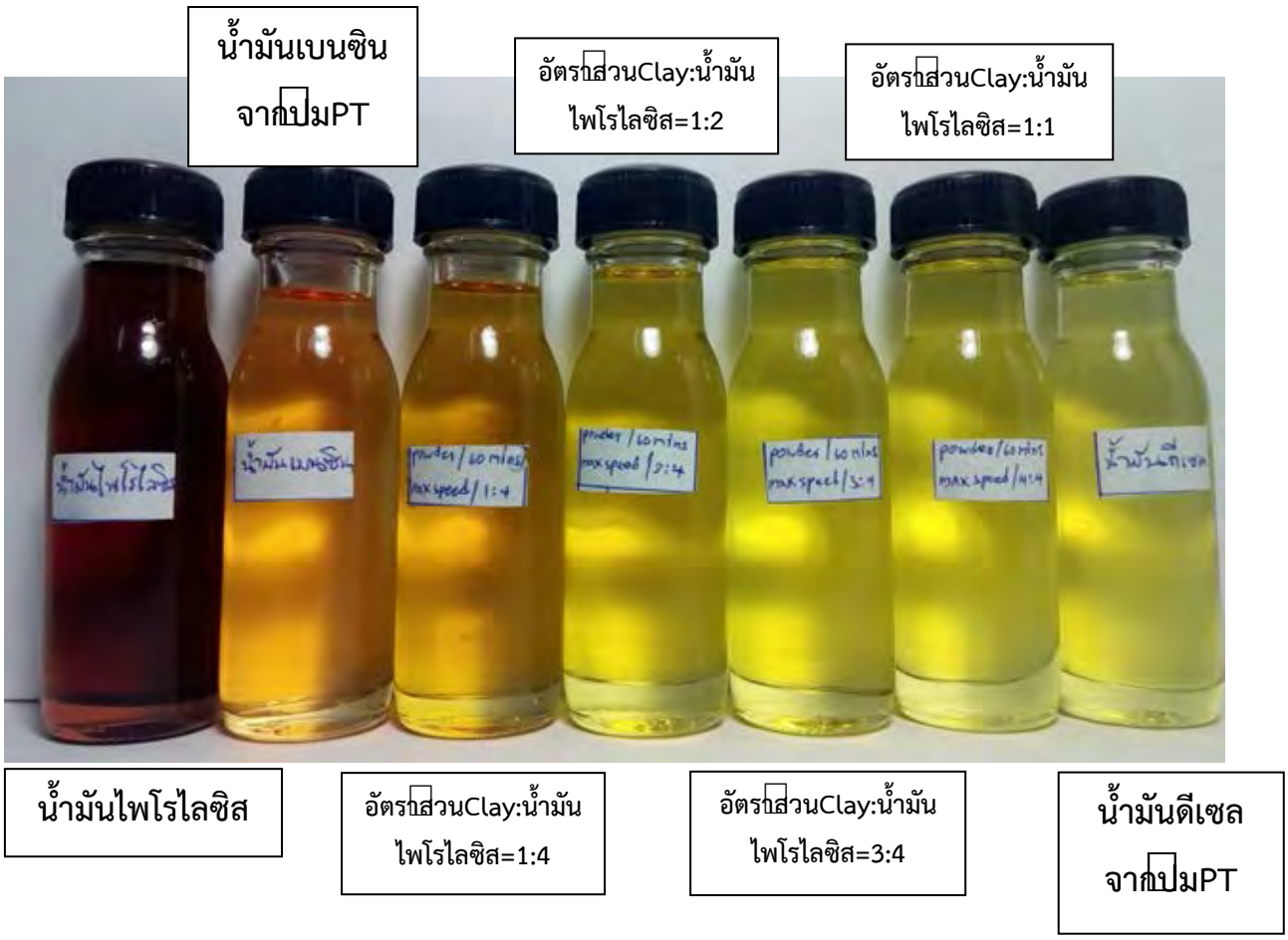
4.1.1 ผลของขนาดแอคติเวเต็ดต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.1 ผลของขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

รูปที่ 4.1 แสดงผลของขนาดแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยแอคติเวเต็ด เคลย์ขนาดเล็กมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยแอคติเวเต็ด เคลย์ขนาดใหญ่ เนื่องจากแอคติเว เต็ด เคลย์ขนาดเล็กที่มีรูปแบบเป็นผง มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าขนาดใหญ่ที่เป็นแบบเม็ด จึงสามารถฟอกสีได้ดีกว่า

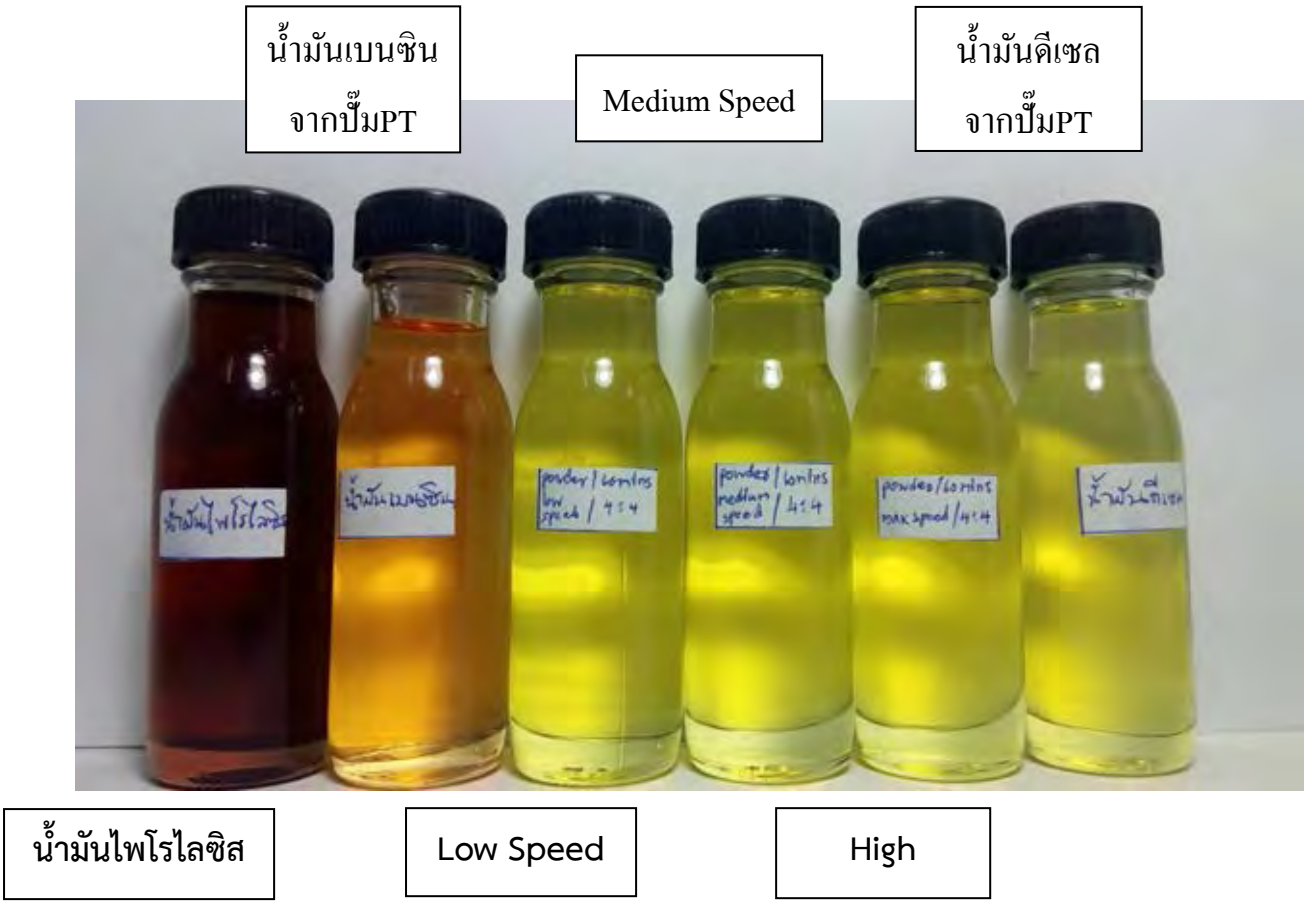
4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

รูปที่ 4.2 แสดงผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแอคติเวเต็ด เคลย์ต่อน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยแอคติเวเต็ด เคลย์ปริมาณมากมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยแอคติเวเต็ด เคลย์ปริมาณน้อย เนื่องจากแอคติเวเต็ด เคลย์ปริมาณมากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับต่อหน่วยที่มากกว่าจึงสามารถฟอกสีได้ดีกว่า

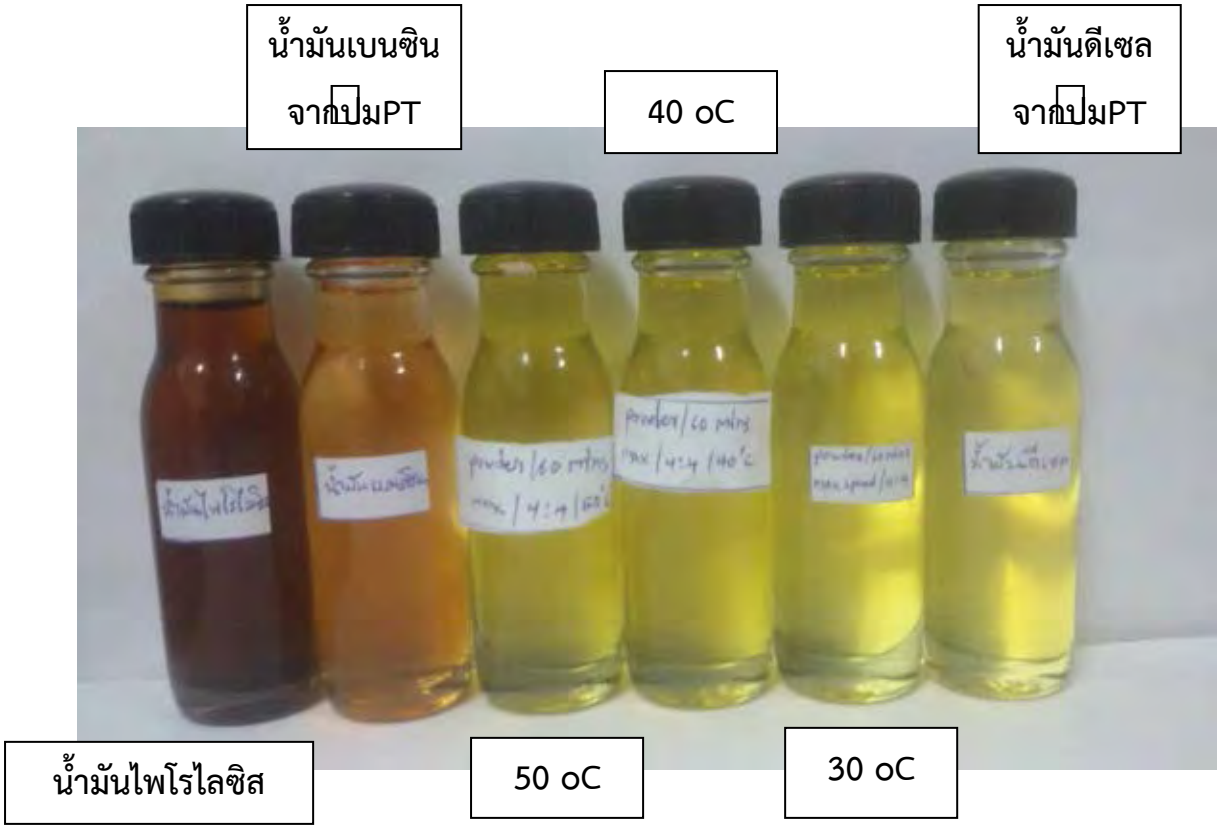
4.1.3 ผลของความเร็วเครื่องเขย่าต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.3 ผลของความเร็วของเครื่องเขย่าต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

รูปที่ 4.3 แสดงผลของความเร็วเครื่องเขย่าต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยความเร็วต่างๆไม่ต่างกัน เนื่องจากแอคติเวเต็ดเคลย์มีอัตราการดูดซับที่เร็วมาก จึงไม่ต้องการความเร็วในการเขย่ามาช่วยให้เกิดการสัมผัสมากขึ้น ความเร็วของเครื่องเขย่าจึงไม่มีผลต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

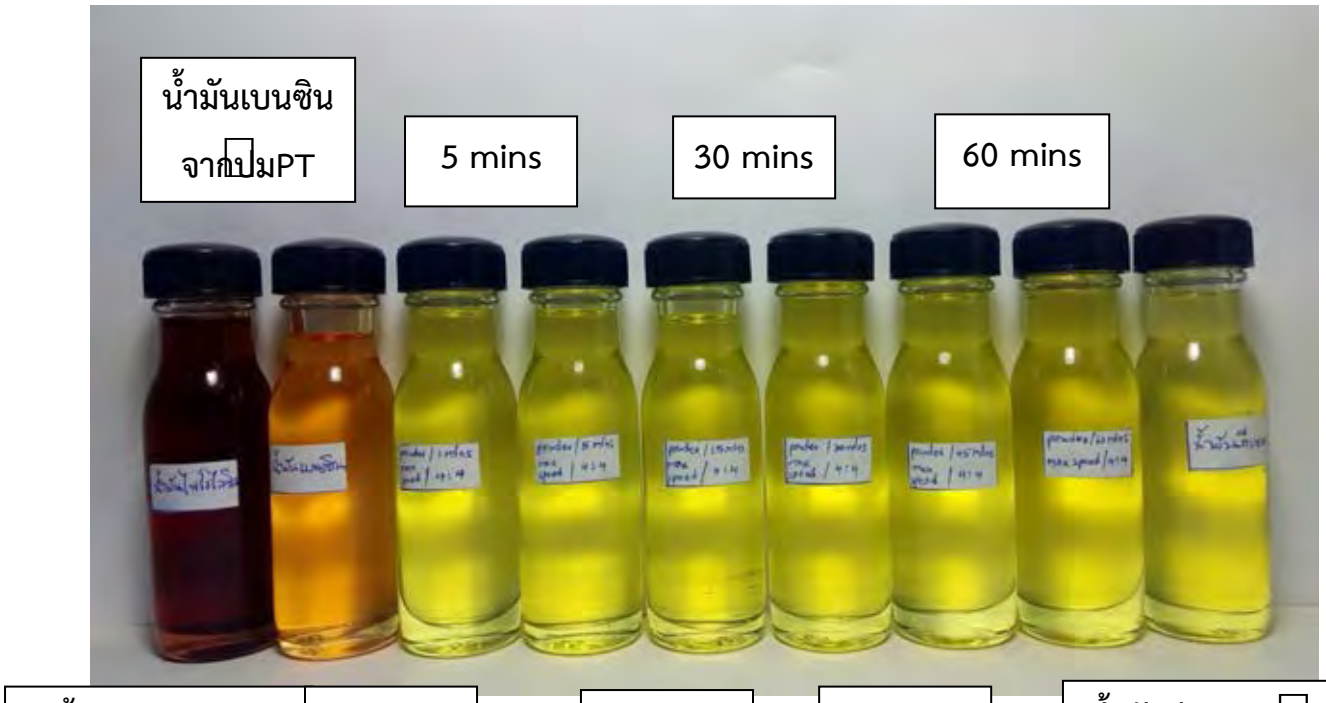
4.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

รูปที่ 4.3 แสดงผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยอุณหภูมิต่างๆไม่ต่างกัน เนื่องจากแอคติเวเต็ด เคลย์มีการดูดซับทางกายภาพ แต่ไม่มีการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิจึงไม่ส่งผลต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

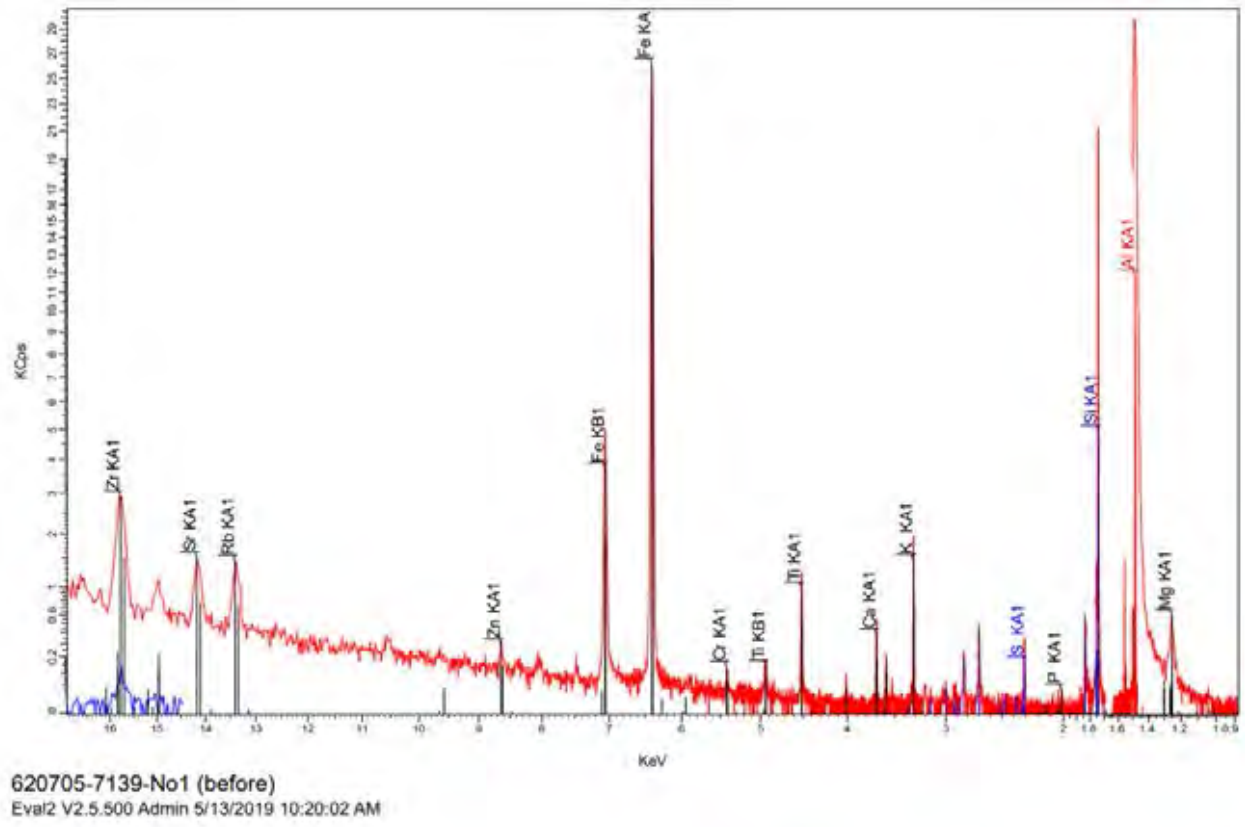
4.1.5 ผลของเวลาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.5 ผลของเวลาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT

รูปที่ 4.5 แสดงผลของเวลาการทำปฏิกิริยาต่อสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับสีของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลจากปั๊มPT พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังฟอกด้วยเวลาต่างๆไม่ต่างกัน เนื่องจาก เนื่องจากแอคติเวเต็ด เคลย์มีอัตราการดูดซับเร็วมาก ระยะเวลาในการดูดซับของแอคติเวเต็ด เคลย์มีค่าน้อยมาก น้อยกว่า 1 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยที่สุดในการทดลอง การเพิ่มเวลาจึงไม่ส่งผลต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

4.2 ปริมาณองค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์โดยวิธีการวิเคราะห์XRF

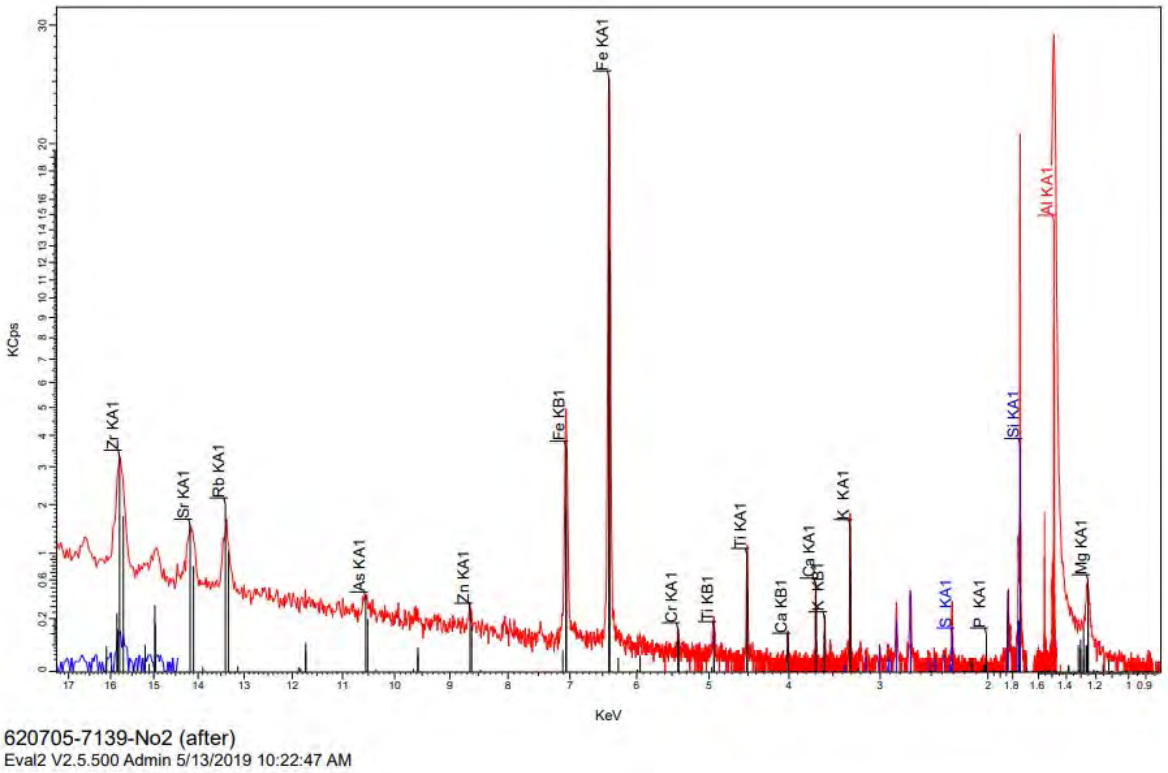


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจุดยอดขององค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

SiO2	Al2O3	Fe2O3	K2O	TiO2	MgO	SO3	CaO	P2O5	Cr2O3	ZrO2
20.6 KCps	8.9 KCps	25.7 KCps	1.8 KCps	1.1 KCps	0.4 KCps	0.4 KCps	0.5 KCps	0.0 KCps	0.1 KCps	2.2 KCps
56.6 %	20.5 %	5.09 %	1.56 %	0.998 %	0.688 %	0.638 %	0.516 %	817 PPM	346 PPM	298 PPM

Rb2O	SrO	ZnO
0.9 KCps	0.9 KCps	0.1 KCps
160 PPM	152 PPM	101 PPM

รูปที่ 4.7 องค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส



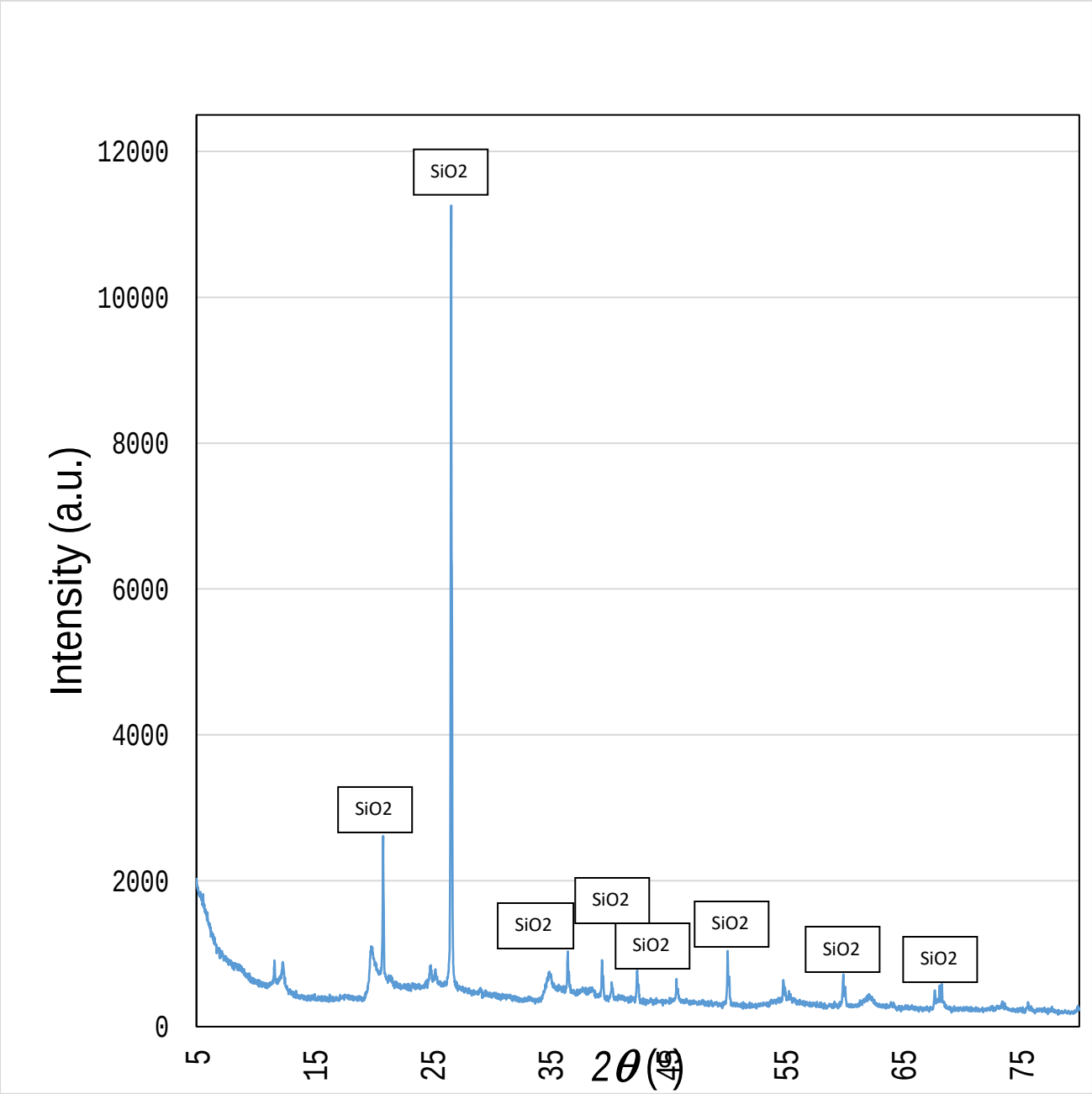
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงจุดยอดขององค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

SiO2	Al2O3	Fe2O3	K2O	TiO2	MgO	SO3	CaO	P2O5	Cr2O3	ZrO2
20.6 KCps	8.9 KCps	25.7 KCps	1.8 KCps	1.1 KCps	0.4 KCps	0.4 KCps	0.5 KCps	0.0 KCps	0.1 KCps	2.2 KCps
56.6 %	20.5 %	5.09 %	1.56 %	0.998 %	0.688 %	0.638 %	0.516 %	817 PPM	346 PPM	298 PPM

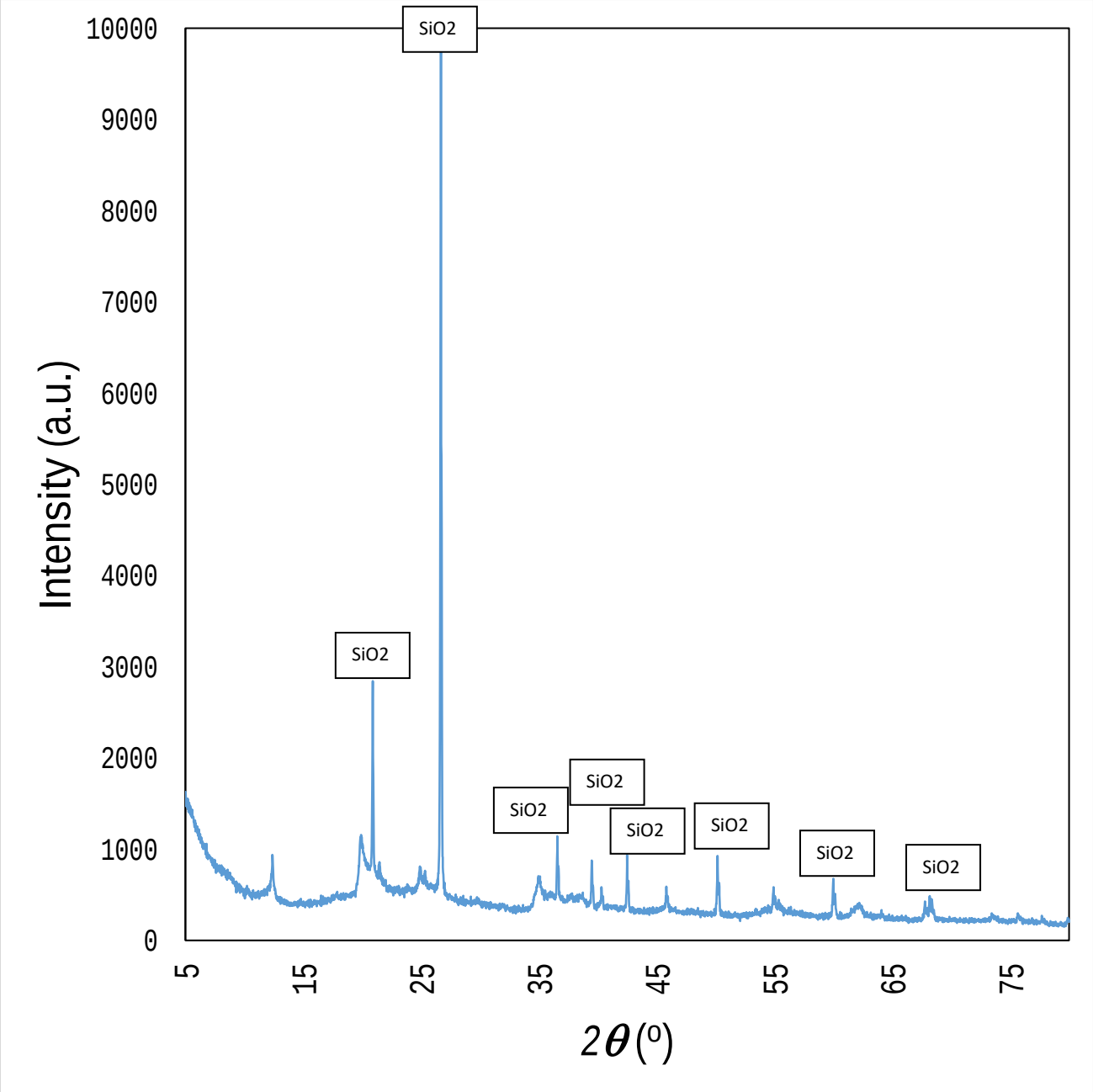
Rb2O	SrO	ZnO
0.9 KCps	0.9 KCps	0.1 KCps
160 PPM	152 PPM	101 PPM

รูปที่ 4.9 องค์ประกอบในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

4.3 โครงสร้างผลึกของแอคติเวเต็ด เคลย์โดยวิธีวิเคราะห์XRD



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจุดยอดของโครงสร้างผลึกในแอคติเวเต็ด เคลย์ก่อนฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงจุดยอดของโครงสร้างผลึกในแอคติเวเต็ด เคลย์หลังฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิส

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สร้างมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์จากน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกในการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกเพื่อนำไปสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลต่อไป โดยใช้แอคติเวเต็ด เคลย์ในการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่หาง่าย และราคาถูก โดยแอคติเวเต็ด เคลย์สามารถดูดซับรงควัตถุสีและคาร์บอนหนักออกจากน้ำมันไพโรไลซิสได้ ทำให้น้ำมันไพโรไลซิสที่ผ่านการฟอกสีโดยแอคติเวเต็ด เคลย์มีสีใสขึ้นและนำไปสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลได้ง่ายขึ้น จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการฟอกสีน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก พบว่าสภาวะที่ดีที่สุด คือ ที่อุณหภูมิห้อง(30 องศาเซลเซียส) เวลา 1 นาที อัตราส่วนแอคติเวเต็ด เคลย์ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก แอคติเวเต็ดเคลย์ขนาดเล็ก และความเร็วเครื่องเขย่าช้า ซึ่งที่สภาวะนี้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีสีใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปั๊มPTมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมในชุดการทดลองสเกลใหญ่กว่านี้ก่อนนำไปสู่การผลิตเพื่อใช้งานจริง
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลจากน้ำมันไพโรไลซิสที่ผ่านการฟอกสีโดยแอคติเวเต็ด เคลย์

บรรณานุกรม

[1] **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/aedp25.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[2] แนวทางดำเนินการด้านพลังงานไทย. (2555). **Energy Plus**, (34), 3-4 เข้าถึงได้จาก http://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/volume-34.pdf.

[3] **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยมกราคม-ธันวาคม ๒๕๖1.** (2561) กระทรวงพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/download/stat62/sit_2_61_dec.pdfสืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2560.

[4] **ข้อเท็จจริงและการสำรวจปิโตรเลียม.** ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www2.pttep.com/Energyliteracy/PTTEP/issue.aspx?id=21. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[5] สิริจุฑารัตน์ โควาวิสารัช, เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, ปาริชาต ศิริ และจุฑามาศ นันทิทรรภ. (2554). ภาพรวมอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. **สารานุกรม เปิดโลกปิโตรเคมี.** กรุงเทพฯ : บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). เข้าถึงได้จาก http://www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge /Documents/MD24%20knowledge01/PetrochemicalEncyclopedia2011.pdf.

[6] **ปิโตรเลียม**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.vcharkarn.com/lesson/1464. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[7] มณฑาสินี หอมหวาน. พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต. **Executive Journal.** 100-104. เข้าถึงได้จาก http://www.bu.ac.th/knowledgecenter/executive_journal/jan_ mar_12/pdf/aw014.pdf.

[8] **พลังงานชีวมวล**. กระทรวงพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/kmmf/ download/นวัตกรรม/สวค/คู่มือพลังงานชีวมวล.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[9] ประพันธ์ คูชลธารา และศศิธร สรรพ่อค้า. (2558). การแปลงสภาพทางเคมีความร้อน. **พลังงานจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้,** 36-75. กรุงเทพฯ: คิวพริ้นแมเนจเม้นท์.

[10] Toshimi A. et al. (2551). แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้ชีวมวล. **คู่มือสารชีวมวลเอเชีย.** 84-105. เข้าถึงได้จากhttp://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf.

[11] **เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก.** (2550). กรมอตุสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก www.dpim.go.th/service/download?articleid=3499. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[12]ฐิติพรรณ ฉิมสุข. **ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/t_chimsook/คม443-ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม1p.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[13] สรชัย แซ่ลิ่ม. **อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.mwit.ac.th/~teppode/sheet_rate.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[14] ธราธร มงคลศรี. **การดูดซับบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.** (2555). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://tamagozzilla.blogspot.com/2012/02/mo-memoir-monday-13-february-2555.html. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[15] ดินเบนโทไนท์.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.tewada9.com/bentonite.html. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2562.

[16] Teng-Chien Chen, Jhomee Fe(Jaja) F. Sapitan, Florencio C. Ballesteros Jr. and Ming-Chun Lu. **Using activated clay for adsorption of sulfone compounds in diesel**. Journal of Cleaner Production, 2016(124): 378-382.

[17] Renji Zheng, Huimin Gao, Zijie Ren, Duidui Cen and Zhijie Chen. **Preparation of activated bentonite and its adsorption behavior on oil-soluble green pigment.** Physicochem. Probl. Miner. Process., 2017(53(2)): 829-845.