

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟรไลซิสของยางใช้แล้ว

นายทศพร
นางสาวบุศรินทร์

สุภาจรรยา
ทรัพย์ไสวผล

วันที่
พิมพ์
2529

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62628
วัน,เดือน,ปี..2.1.ส.ค. 2549

b.....11627281
i.....

ปฏิญานี้พนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Factor Affecting a Pyrolysis of Scrap Tires



Mr. Thossaporn Supajaron
Miss Bussarin Sapsawaipol

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2005


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสของยางใช้แล้ว
โดย นาย ทศพร สุภาจรูญ
นางสาว บุศรินทร์ ทรัพย์ไสวผล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นำเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ)


กรรมการ
(รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)


กรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสของยางใช้แล้ว	
โดย	นาย ทศพร	สุภาจรุญ
	นางสาว นุศรินทร์	ทรัพย์ไสวผล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อภินันท์	นัมคณิศรณ
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เปรียบเทียบกับแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ เพื่อศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำไพโรไลซิสยางใช้แล้วเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันมากที่สุด โดยน้ำมันและก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิง หรือนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ผลของการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือที่ 480°C ได้ปริมาณ น้ำมัน 45.61 %wt และแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 คือ ที่อุณหภูมิ 450°C ได้ปริมาณน้ำมัน 43.41 %wt จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของน้ำมันจากการไพโรไลซิส มีความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าเชิงพาณิชย์ที่เห็นได้ชัดระหว่าง การไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีปริมาณของเบนซีน 2.5 %wt, ปริมาณของโทลูอิน 11.3 %wt, ปริมาณของไซลีน 7.65 %wt และ ปริมาณของเอทิลเบนซีน 6.2 %wt ตามลำดับ ในขณะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีสัดส่วนที่ต่ำกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title **A Study of Factor Affecting a Pyrolysis of Scrap Tires**

By **Mr. Thossaporn Supajaroon**
 Miss Bussarin Sapsawaipol

Advisor **Dr. Apinan Namkanisorn**

Report for **Bachelor Degree of Chemical Engineering**
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The effect of temperature on the product obtained from Pyrolysis of scrap tires was investigated by comparing the pyrolysis with and without using catalyst. The catalyst used in this study was ZSM-5. The principle objective of this project was to find an optimum condition suitable for pyrolysis of the scrap tires in order to maximize the oil content with can be further used as fuel or feedstock in petroleum industrial. The experimental results revealed that for the case of pyrolysis without catalyst the temperature of the reactor should be set at 480 °C, while the temperature of 450 °C should be used for pyrolysis with ZSM-5. In the absence of ZSM-5, the yield of the pyrolysis contained 45.61 %wt compared to 43.41 %wt as the ZSM-5 was used. The valuable product obtained from the pyrolysis with catalyst contained Benzene 2.5 %wt, Toluene 11.3 %wt, Xylene 7.65 %wt and Ethylbenzene 6.2 %wt. On the other hand pyrolysis without catalyst yielded a much lower valuable product.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคลากรหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการนี้มีความสมบูรณ์

รศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ ดร. สุรสาธินี เนรมิตตกพงค์ และ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในโครงการนี้ และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการนี้มีความสมบูรณ์

คุณ พิสันต์ ผลโพธิ์ และ คุณพิมใจ ภูษณะกิจ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำงาน โครงการนี้

คุณวัชรารณ ปราณิ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุคลากร เพื่อนนักศึกษา และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การกำลังใจมาโดยตลอด ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัย และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา	5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 การไพโรไลซิส (Pyrolysis)	
2.1 การไพโรไลซิส (Pyrolysis)	6
2.2 การไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis)	6
2.3 ลักษณะทางเคมี	7
2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิส	8
2.5 การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Pyrolysis Catalysis)	10
2.6 ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (Pyrolysis liquid)	11
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตผลิตภัณฑ์	12
2.8 องค์ประกอบของยางรถยนต์	13
2.9 กระบวนการวัลคาไนเซชัน	16
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและวิธีการเตรียม	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	21
3.5 การหาสถานะเบื้องต้นในการไพโรไลซิสโดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก	22
3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การหาสถานะเบื้องต้นในการไพโรไลซิสโดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก	24
4.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์	25
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง	27
4.4 การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	27
4.5 การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	29
4.6 การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ	32
4.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมัน	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบและโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5	43
ภาคผนวก ข คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสารผลิตภัณฑ์	45
ภาคผนวก ค เครื่องมือในการทดสอบ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิส	9
2.2 ลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส	11
2.3 สัดส่วนของส่วนประกอบของยางรถยนต์ประเภทต่าง ๆ (% โดยน้ำหนัก)	13
4.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไพโรไลซิส	26
4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (g)	27
4.3 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%w/w)	28
4.4 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกในน้ำมัน เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	29
4.5 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (g)	30
4.6 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%w/w)	30
4.7 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5	31
ข.1 คุณสมบัติของเบนซีน	45
ข.2 คุณสมบัติของโทลูอีน	46
ข.3 คุณสมบัติของพารา-ไซลีน	47
ข.4 คุณสมบัติของเอทิลเบนซีน	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณยางรถยนต์ที่ใช้แล้วที่ยังไม่ถูกกำจัดซึ่งมีปริมาณมาก	1
1.2 การเกิดอ็อกซีภัยจากยางรถยนต์ที่แคลิฟอร์เนีย (กันยายน 1999) ที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ	2
2.1 กระบวนการไพโรไลซิส	7
2.2 การแยกของโมเลกุลที่ซับซ้อน	8
2.3 โครงสร้างทางธรรมชาติ	14
2.4 โครงสร้างยางสไตรีน-บิวตาไดอีน	14
2.5 โครงสร้างยางบิวตาไดอีน	15
3.1 เครื่องปฏิกรณ์เป็นชนิดเบดคงที่ (Semi-batch Fixed bed reactor)	20
3.2 ผังแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง	21
4.1 ผลการทดสอบโดยนำยางมาทำเทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริกที่อุณหภูมิ 30-800°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที ปริมาณของยางรถยนต์ 22.296 มิลลิกรัม	24
4.2 บริเวณที่เกิดผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ	26
4.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ของเหลว	27
4.4 ผลของ Mass spectrum ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	28
4.5 ผลของ Mass spectrum ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	31
4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	32
4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5	33
4.8 เปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	34
4.9 เปรียบเทียบปริมาณของแก๊สเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	35
4.10 เปรียบเทียบปริมาณของก๊าซเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	35
4.11 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 ต่อปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกส์	36
ก.1 ลักษณะรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5	43
ก.2 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5	44
ค.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี	49
ค.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของ GC	50
ค.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของ MS	51
ค.4 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทย เป็นแหล่งผลิตยางพาราธรรมชาติแหล่งใหญ่แห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นภูมิภาคที่เป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติแหล่งใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีกำลังการผลิตในปี พ.ศ. 2544 ประมาณ 68.3 % ของโลก นอกจากนี้ ภูมิภาคเอเชียก็เป็นแหล่งผลิตยางสังเคราะห์รายใหญ่ในโลก ในปี พ.ศ. 2544 มีกำลังการผลิต 37.7 % เมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ เช่น ยุโรป (35.5 %) อเมริกาเหนือ (21.0 %) และลาตินอเมริกา (5.3 %) [1] และมากกว่าร้อยละ 50 ของยางทุกชนิดที่ผลิตได้ในโลก ถูกนำไปใช้ในการผลิตยางรถยนต์ โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ดังนั้น จึงมียางรถยนต์ถูกใช้และทิ้งไปเป็นจำนวนมาก มีการประมาณการว่า ในแต่ละปี มียางรถยนต์ที่ใช้แล้วเกิดขึ้นทั่วโลกประมาณ 285 ล้านเส้น และจำนวนประมาณ 100 ล้านเส้นเท่านั้นที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ โดยที่เหลือถูกนำไปฝังกลบ ในประเทศไทยมีการนำเอายางรถยนต์ที่หมดสภาพส่วนหนึ่งมาใช้ใหม่ โดยแปรสภาพเป็นของใช้ เช่น ถังขยะ รองเท้า และตุ๋นลอยน้ำ เป็นต้น ส่วนที่เหลือและยางที่เกิดจากผลิตภัณฑ์แปรรูปเหล่านี้ ก็ถูกนำไปทิ้งขยะ ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศเมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้น อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์นำโรค เช่น ยุงและหนู



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.1 (ก) และ(ข) ปริมาณยางรถยนต์ใช้แล้วที่ยังไม่ถูกกำจัดซึ่งมีปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่นำมาเก็บซ้อนกันไว้เป็นปริมาณมากนั้นอาจก่อให้เกิด
 อัคคีภัย ดังที่เคยเกิดขึ้นในเมือง Powys ในรัฐเวสต์ เมืองเซนต์เอมาเบิล ในควิเบก และเมืองเฮเกอวิลล์ ใน
 ออนตาริโอ แคนาดา [2] โดยผลกระทบดังกล่าวส่งผลให้ องค์กรที่เกี่ยวข้องกับการฝึกลบยุโรปออก
 คำสั่งรณรงค์ในการออกกฎหมายห้ามการฝึกลบยางรถยนต์ทั้งเส้นในปี พ.ศ. 2546 และ ในปี พ.ศ.
 2549 สำหรับการฝึกลบชิ้นส่วนของยางรถยนต์ [3] ทำให้ขณะนี้ ราคาในการฝึกลบยางสูงขึ้นอย่าง
 มากในทวีปยุโรป ส่วนในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ
 สิ่งแวดล้อม ก็กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการที่จะผลักดันมาตรการในการจัดเก็บภาษีสรรพสามิต และ
 ภาษีศุลกากรสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมหรือ บรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
 โดยในมติเบื้องต้น มีการกำหนดให้เก็บภาษีสรรพสามิตสำหรับผลิตภัณฑ์ยางที่อัตรา 300 บาท/ตัน [4]
 ดังนั้นจึงต้องมีความจำเป็นที่จะมีการนำยางรถยนต์ที่หมดสภาพมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น โดยผ่านการ
 แปรรูปด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง



รูปที่ 1.2 การเกิดอัคคีภัยจากยางรถยนต์ที่แคลิฟอร์เนีย (กันยายน 1999) ที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ

การนำยางมาแปรรูปเป็นของใช้ต่างๆ เป็นมาตรการเริ่มต้นในการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อ
 เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ แต่ในที่สุด ของใช้เหล่านี้ก็ต้องกลายมาเป็นขยะ และส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมใน
 ตอนท้าย โดยทั่วไปแล้ว การรีไซเคิลยางรถยนต์แบ่งออกเป็น 5 วิธี คือ

1. การรีเคลม เป็นการนำยางรถยนต์มาลดขนาดและใช้เป็นสารเติมแต่ง เช่น ใช้ผสมในยางมะตอย
2. การปรับแต่งทางเคมี (Chemical Modification) เช่น ดีวัลคาไนเซชัน (Devalcanization) ซึ่งเป็นการแตกพันธะเชื่อมโยงของยาง (Cross linking) โดยใช้สารเคมี เพื่อกลับไปเป็นยางที่มีสภาพเหมือนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาง
3. การแตกโมเลกุลทางชีวภาพ (Biological Breakdown) ซึ่งเป็นการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายซัลเฟอร์ และทำให้มีการแตกพันธะเชื่อมโยงของยาง
4. การรีไซเคิลทางกลและทางเคมี (Mechanochemical Recycling) เป็นการแตกพันธะเชื่อมโยงของยางโดยใช้พลังงานทางกล
5. การแตกพันธะโดยใช้พลังงานความร้อน (High Energy Breakdown) เช่นการนำยางรถยนต์มาเผาทำเชื้อเพลิง และการไพโรไลซิส

ในสภาวะปัจจุบัน เรายังขาดเทคโนโลยีต้นแบบที่มีประสิทธิภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการนำยางรถยนต์ที่หมดสภาพมาใช้ใหม่ โดยไม่มีการทำลายสิ่งแวดล้อม ทำให้การประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีต่างๆ ยังไม่มีความแน่นอนเพียงพอ แต่เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของยางรถยนต์ ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนประกอบถึง ประมาณ 60 % โดยน้ำหนักนั้น ยางรถยนต์ถือได้ว่าเป็นแหล่งของพลังงานแหล่งใหญ่แห่งหนึ่ง ที่สามารถทดแทนการขาดแคลนพลังงานในอนาคตได้ ในส่วนหนึ่ง เมื่อลดจำนวนพลังงานที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์เส้นใหม่ เปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากการใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิงแล้ว พบว่า เราสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์เส้นใหม่ได้ถึงประมาณ 37 % [5] แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ยางรถยนต์เป็นพลังงานในการเผาไหม้นั้นเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำยางรถยนต์มาเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นยังไม่ได้เป็นการแก้ไขปัญหาที่แท้จริง

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ของยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เป็นวิธีเปลี่ยน โมเลกุลของยาง โดยใช้ความร้อน ไปเป็นโมเลกุลที่เล็กกว่า ในสภาวะที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน ผลผลิตของการไพโรไลซิสของยางรถยนต์ขั้นแรก แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ก๊าซ น้ำมัน และ ของแข็ง (Char) ซึ่งก๊าซและน้ำมันนั้นเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นน้ำมันนั้น พบว่ามีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านหินโดยทั่วไป และคุณภาพก่อนการปรับปรุงก็อยู่ในช่วงน้ำมันเตา ส่วนของแข็งนั้นประกอบไปด้วยคาร์บอนแบล็ก สารเติมแต่งในยาง และถ้า ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นนี้สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองได้ โดยการนำมาผลิตเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือนำมาผลิตคาร์บอนแบล็ก จะเห็นได้ว่า กระบวนการไพโรไลซิสของยางรถยนต์ นอกจาก

จะเป็นกระบวนการที่แก้ปัญหามลภาวะที่เกิดจากยานยนต์หมดสภาพแล้ว ยังช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและทรัพยากรในอนาคตอีกด้วย

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา มีโครงการไพโรไลซิสของยานยนต์จำนวนประมาณ 30 โครงการใหญ่ ที่ถูกเสนอและจดสิทธิบัตร แต่ไม่มีโครงการใดที่ได้นำมาทำให้เกิดผลเชิงพาณิชย์ เนื่องจากไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพราะต้องมีค่าขนส่งของยานยนต์ในราคาแพง แต่ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยสองท่าน ชื่อ Wojtowicz และ Serio [6] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของ กระบวนการไพโรไลซิสของยานยนต์ 3 กระบวนการ พบว่า กระบวนการไพโรไลซิสของยางมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยยกตัวอย่างกระบวนการหนึ่งซึ่งเป็นกระบวนการผลิตคาร์บอนแบล็กเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยจากการคำนวณพบว่า สามารถจะทำกำไรสุทธิได้ 1.5 เหรียญสหรัฐต่อยาง 1 เส้น กำไรสุทธิต่อปีเท่ากับ 6 ล้านดอลลาร์ และจุดคุ้มทุนใช้เวลา 3.3 ปี

จากการศึกษา นักวิจัย 2 ท่าน ได้สรุปว่า กระบวนการไพโรไลซิสของยานยนต์จะคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ ก็ต่อเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นแรก ให้เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองที่มีคุณภาพดี เช่น ปรับปรุงน้ำมันที่ได้ให้มีคุณภาพดีขึ้น ปรับปรุงการผลิตสารที่มีค่าทางอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้มากขึ้น หรือ ผลิตคาร์บอนแบล็กที่มีคุณภาพดีขึ้น

ดังนั้นการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิสของยานยนต์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากขึ้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส หรือ ไบโอดีเซล สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายอย่าง เช่น อาจใช้แทนที่เชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ และเตาเผา สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ทั้งยังสามารถนำไปสกัดทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสารป้อน (Chemical feedstock) ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น การผลิตเรซิน ในอนาคตอาจมีการพัฒนานำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ [7]

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำไพโรไลซิสของยานยนต์ใช้แล้ว โดยมีหัวข้อย่อยดังนี้

1. ศึกษาการทำไพโรไลซิสของใช้แล้วแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

2. ศึกษาอุณหภูมิของการไฟโรไลซิสยางรถยนต์ที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิต โดยจะนำผลิตภัณฑ์ในส่วนหนึ่งของของเหลวมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบและคุณสมบัติ โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตในการทำไฟโรไลซิสยางใช้แล้วทั้งแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

1.5 ขั้นตอนในการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อวางแผนการดำเนินงาน
2. ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์การทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลและเสนอแนะผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการแตกสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น ปิโตรเลียม (Petroleum) มวลชีวภาพ ด้วยความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ในช่วงอุณหภูมิ 400-600°C ที่ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยามีทั้งของแข็ง, ของเหลว และก๊าซ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งจะได้แก่ ถ่านไม้ (Charcoal) ส่วนที่เป็นของเหลวจะประกอบด้วยสารละลายที่ละลายน้ำได้ เช่น เมทานอล กรดอะเซติก เป็นต้น กับส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันดิน (Tar) และยางมะตอย (Pitch) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ [8, 9]

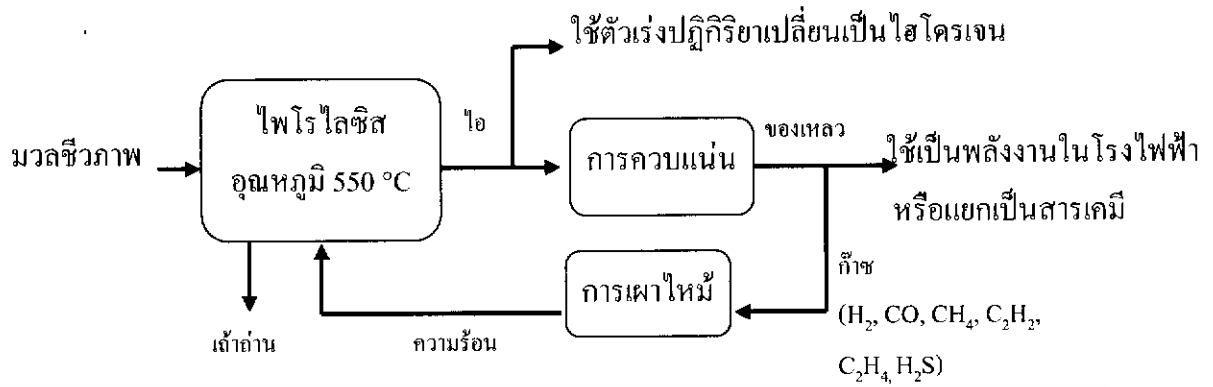
2.2 การไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis)

เป็นกระบวนการที่มวลชีวภาพจะถูกให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวโดยส่วนใหญ่เป็นไอ ละอองของเหลวและถ่านไม้ หลังจากผ่านการกลั่นตัว จะได้ของเหลวสีน้ำตาลเข้ม ดังเช่นในภาพที่ 2.1 โดยแก๊สและน้ำมันสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นน้ำมัน พบว่ามีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านหินโดยทั่วไป การไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วนี้เมื่อได้รับการควบคุมอย่างดีจะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของของเหลวสูง

ลักษณะของกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว

ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการ ได้แก่

1. มีอัตราการให้ความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จึงทำการป้อนมวลชีวภาพที่มีขนาดเล็กๆ
2. ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิเป็นอย่างดี
3. ให้ความเย็นอย่างรวดเร็วกับไอที่เกิดจากการไพโรไลซิสจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอออยล์



รูปที่ 2.1 กระบวนการไพโรไลซิส [10]

2.3 ลักษณะทางเคมี

ในกระบวนการไพโรไลซิส มวลชีวภาพซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จะถูกให้ความร้อนอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 450-600°C ความดันบรรยากาศ เพื่อทำลายโครงสร้างของโมเลกุล ให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก รูปที่ 2.2 แสดงถึงการแยกออกเป็นส่วนของสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ไม้



รูปที่ 2.2 การแยกของโมเลกุลที่ซับซ้อน [10]

ผลผลิตที่ได้ขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งสามารถได้น้ำมันสูงถึง 79 %wt ที่อุณหภูมิ 500°C จากการศึกษพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของก๊าซลดลง

2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิส

ตารางที่ 2.1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสข้างไว้แล้ว ซึ่งพบว่า ในสถานะก๊าซส่วนใหญ่จะเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ก๊าซมีเทน ก๊าซอีเทน และ ก๊าซไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ หรือนำมาแยกองค์ประกอบเพื่อใช้เป็น

สารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในสถานะของเหลวจะประกอบไปด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เช่น ใช้แทนน้ำมันเตา นำมาแยกองค์ประกอบเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น สารประกอบอะโรมาติกส์ (เบนซีน, โทลูอินและไซลีน) ส่วนของแข็งที่ได้ ประกอบไปด้วยคาร์บอนแบล็กคุณภาพต่ำและเถ้า ซึ่งองค์ประกอบจะต่างกันไป ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิส

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้ง 3 สถานะ [11]

สถานะ	%wt	ผลิตภัณฑ์
ก๊าซ	10-30	CO ₂ , CO, มีเทน, อีเทน, โพรเพน, โพรพิน, บิวเทน และ 1% ซัลเฟอร์
น้ำมัน	38 – 55	อะโรมาติกส์ มวลโมเลกุล 300 – 400, ซัลเฟอร์ 0.3 - 1.0 %, แอลเคน, แอลคีน, คีโตน, แอลดีไฮด์
ของแข็ง	33 – 38	คาร์บอนแบล็ก, ถ่าน (Char), ซี้เถ้ามากกว่า 15 % ซัลเฟอร์ 3 -5 %

ส่วนผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง เกิดจากการเอาส่วนที่เป็นน้ำมันมาเผาโดยใช้อากาศเพื่อผลิตคาร์บอนแบล็ก หรือเอาส่วนที่เป็นซาร์มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการประเมินเชิงพาณิชย์พบว่า กระบวนการไพโรไลซิสจะคุ้มค่า ขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม (Value-added product) ได้ เช่น คาร์บอนแบล็กที่มีคุณภาพสูง ถ่านกัมมันต์ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น เบนซีน โทลูอิน และไซลีน เป็นต้น [6]

ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ 2 ทางใหญ่ๆ คือ

1. การปรับปรุงในผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นก๊าซและน้ำมัน ให้มีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
2. ผลิตคาร์บอนแบล็กและถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง (จากทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและน้ำมัน)

2.5 การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Pyrolysis Catalysis)

การปรับปรุงคุณภาพโดยการพยายามในการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น วิธีหนึ่งสามารถทำได้ โดยการเติมสารเติมแต่ง หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำไพโรไลซิส ถ้าทำการไพโรไลซิสอย่างเดียว โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในช่วงกว้าง และต้องใช้ อุณหภูมิในการไพโรไลซิสสูงมาก จึงจะเกิดน้ำมันในปริมาณมาก การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ ปฏิกิริยาเกิดช้าและควบคุมผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ยาก จึงต้องมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิด เร็วขึ้น ควบคุมได้ง่ายขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำลง และสามารถควบคุมให้เกิดผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในช่วงที่ต้องการ ได้ [12]

ซึ่งวิธีนี้ใช้ได้ผลมาแล้วหลายการทดลองที่เกี่ยวกับการไพโรไลซิส ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น ในกระบวนการไพโรไลซิสพอลิเอทิลีน (PE) นักวิจัยใช้ซีโอไลต์ เช่น ZSM-5, Y-zeolite และใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแตกกิ่งของน้ำมัน [13] มาทำการศึกษาการกระจายตัวของชนิดของ ผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิส และพบว่า การใช้สารเติมแต่งหรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ทำให้เกิด ก๊าซเพิ่มขึ้นและผลิตน้ำมันน้อยลง และน้ำมันที่ได้มีโมเลกุลเล็กลง รวมถึงช่วงของขนาดโมเลกุลแคบลง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันนั่นเอง สำหรับการไพโรไลซิสยางรถยนต์โดยมีการเติมสารเติม แต่ง หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้น มีตัวอย่าง เช่น งานของวิลเลียม และบรินเดิล [14] เมื่อปลายปี 2002 ที่ ประสบความสำเร็จในการเพิ่มผลผลิตของสารอะโรมาติกส์ในน้ำมัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 และ Y-zeolite ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ต่อเนื่องกับเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

โดยสรุปแล้ว การเติมสารเติมแต่ง หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำไพโรไลซิสมีประโยชน์ ต่อไปนี้

1. ช่วยลดอุณหภูมิในการไพโรไลซิส
2. ช่วยเพิ่มการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ (Value-added product)
3. ช่วยกำจัดสารปนเปื้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะต้องคำนึงถึงความว่องไว คือ อัตราที่ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลทางเคมี ส่วนความจำเพาะเจาะจงของตัวเร่งปฏิกิริยาจะวัดจากการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งปฏิกิริยา จากสารตั้งต้นให้ กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะสูญเสียความ ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา หรือความเฉพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่วนมากเกิดขึ้นเนื่องจาก การเกาะติดของโค้กที่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคุณสมบัติเป็นกรด

2.6 ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (Pyrolysis liquid)

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสสามารถเรียกได้หลายชื่อตั้งแต่ Pyrolysis oil, Bio-crude-oil, Bio-fuel-oil, Wood liquid, Wood oil, Liquid smoke, Wood distillates, Pyrolygneous tar, Pyrolygneous acid และ Liquid wood ซึ่งของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสนี้จะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (ประมาณ 16-18 MJ/Kg) ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสสามารถใช้แทนเชื้อเพลิงที่ใช้ทั่วไปได้หลายอย่างเช่น ใช้ในหม้อต้มน้ำ (Boiler), กังหัน (Turbine) ได้ โดยลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส [15]

Physical properties	Typical value
Moisture content	15-30 %
pH	2.5
Specific gravity	1.2
Elemental analysis dry basis C	56.4 %
H	6.2 %
O (by difference)	37.3 %
N	0.1 %
Ash	0.1%
HHV as produced (depends on moisture)	16-19 MJ/Kg
Viscosity (at 40 °C and 25 % water)	40-100 cp
Solid (Char)	0.5 %
Distillator	Max 50 % as liquid degrades

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.2 สามารถอธิบายลักษณะของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส ได้ดังนี้

1. สี

สีของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสนั้นจะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น หรือมวลชีวภาพที่ใช้ ซึ่งของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส อาจจะมีสีตั้งแต่ ดำ น้ำตาลเข้ม น้ำตาลแดง ไปจนถึงเขียวเข้ม แต่ส่วนมากแล้วของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส มักจะมีสีน้ำตาลเข้ม

2. กลิ่น

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ได้จะมีกลิ่นคล้ายกับกรด ซึ่งของเหลวนี้จะประกอบด้วยสารประกอบเป็นร้อยละ ซึ่งมิตั้งแต่สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอรัมาดีไฮด์ กรดอะซิติก ไปจนถึงสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างของพันธะที่ซับซ้อน

3. ความสามารถในการละลาย

ส่วนใหญ่แล้วของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสจะสามารถละลายได้ในน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการวิธีการผลิตด้วย ในทางกลับกันถ้าของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสไม่สามารถละลายได้ในน้ำ จะสามารถละลายได้ในเชื้อเพลิงปิโตรเลียม (Petroleum fuel)

4. ความหนาแน่น

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสจะมีความหนาแน่นสูง (1.2 กิโลกรัมต่อลิตร) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเบา (0.85 กิโลกรัมต่อลิตร) ซึ่งหมายความว่าของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสจะมีพลังงาน (Energy content) เทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 42 % โดยน้ำหนัก แต่จะเท่ากับ 61 % โดยปริมาตร ซึ่งความแตกต่างนี้จะมีผลสำคัญในการคำนวณการใช้งานของอุปกรณ์ที่จะนำของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส ไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตภัณฑ์ [16]

2.7.1 อุณหภูมิของการไพโรไลซิส

อุณหภูมิของการไพโรไลซิส จะมีผลต่อทั้งปริมาณและองค์ประกอบของสารไอระเหยอย่างเช่น เมื่อมีการให้ความร้อนอย่างช้าๆแก่พอลิเมอร์ ที่อุณหภูมิ 350-400°C จะเกิดสารไอระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีปริมาณมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 450°C และจะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 500°C ดังนั้นในเบื้องต้นจะแบ่งการไพโรไลซิสออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ในช่วงอุณหภูมิ 100-300°C ก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของคาร์บอนและน้ำ ขั้นที่ 2 จะได้สารไอระเหย

ถึง 3 ใน 4 ส่วนของสารไอระเหยที่จะได้ทั้งหมด และชั้นสุดท้ายจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ควมแน่น

2.7.2 อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อทั้งปริมาณและองค์ประกอบของสารไอระเหย เช่นถ้าหากมีการเพิ่มความร้อนให้อย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดสารไอระเหยมากกว่าการให้ความร้อนอย่างช้าๆ

2.7.3 ขนาดของอนุภาค

ขนาดของอนุภาคมีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ได้จากการไพโรไลซิส และมีความสัมพันธ์กับอัตราการให้ความร้อนด้วย ในกรณีที่ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ อัตราการให้ความร้อนจะช้า และอุณหภูมิเฉลี่ยจะต่ำกว่า ดังนั้นจะได้สารไอระเหยปริมาณน้อยกว่า เมื่อเทียบกับขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า

2.8 องค์ประกอบของยางรถยนต์ [17]

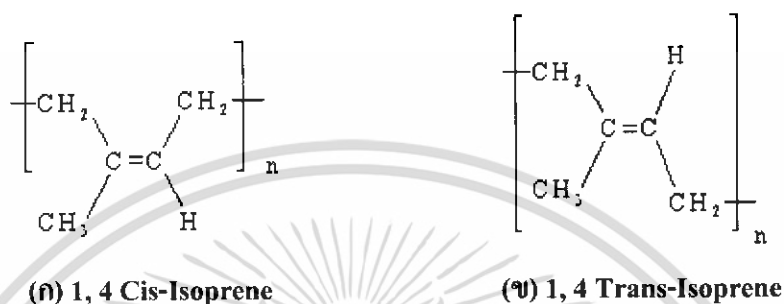
ยางรถยนต์ในแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.3 สัดส่วนของส่วนประกอบของยางรถยนต์ประเภทต่างๆ (% โดยน้ำหนัก)

ส่วนประกอบของยางรถยนต์	รถยนต์นั่ง	รถยนต์บรรทุก
1. ยางธรรมชาติ	6	29
2. ยางสังเคราะห์	37	21
3. เขม่าถ่านดำ	27	25
4. สารประกอบเคมี	19	11
5. ผ้าใบ / เส้นยาง	7	10
6. เส้นลวดขอบ	4	4
7. โครงสร้างใบเหล็ก	-	-
รวม	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

พอลิไอโซพรีน (C_5H_8)_n เป็นยางธรรมชาติที่สามารถยืดได้สูง ประมาณ 700-800 % และมีค่าโมดูลัสสูง ทนต่อการฉีกขาด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง ไม่เหมือนยางสไตรีน-บิวตาไดอินที่ฉีกขาดง่ายเมื่อโดนความร้อน คุณสมบัติข้อนี้จึงนำยางธรรมชาติมาทำกระเป๋าน้ำร้อน มีความทนทานต่อการสึกหรอดีพอใช้ แต่ยังคงน้อยกว่ายางสไตรีน-บิวตาไดอินเล็กน้อย



รูปที่ 2.3 โครงสร้างยางธรรมชาติ [18]

2.8.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic Elastomers)

1) ยางสไตรีน-บิวตาไดอิน (Styrene Butadiene Rubber: SBR)

ยางสังเคราะห์ SBR ค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1936 และได้มีการพัฒนานำมาใช้เกี่ยวกับอุตสาหกรรม ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ยางสไตรีน-บิวตาไดอิน เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการ Co-Polymerization ของ สไตรีน และ บิวตาไดอิน ซึ่งปริมาณของ สไตรีน สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ที่นิยมใช้กับยาง คือ บิวตาไดอิน 76.5 % และสไตรีน 23.5 %



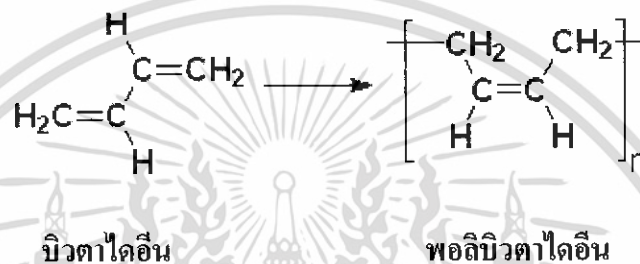
รูปที่ 2.4 โครงสร้างยางสไตรีน-บิวตาไดอิน [19]

คุณสมบัติของยางสังเคราะห์สไตรีน-บิวตาไดอิน เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ

- สามารถยืดเกาะถนนได้ดีกว่า
- ทนต่อการสึกหรอ สูงกว่ายางธรรมชาติ 10-20 %
- มีความเหนียวน้อยกว่า
- ทนต่อการฉีกขาด หรือแรงดึงต่ำได้ จึงจำเป็นต้องใช้ Carbon เสริมความต้านทานแรงดึง

2) ยางพอลิบิวตาไดอิน (Poly Butadiene rubber: PBR or BR)

เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากมอนอเมอร์ของบิวตาไดอิน (C_4H_6)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างยางบิวตาไดอิน [20]

นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากง่ายต่อการขึ้นรูป โดยใช้ปนกับยางธรรมชาติ และยาง SBR เมื่อนำยาง BR มาผสมกับยางอื่น และใส่สารตัวเสริมแรง เช่น คาร์บอน จะทำให้มีคุณสมบัติ ทนต่อการสึกหรอดีมาก มีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดได้ดีขึ้น แต่จะทำให้ความยืดเกาะถนนลดลง

3) ยางบิวทิล (Butyl Rubber)

ยางบิวทิล นำเข้ามาสู่อุตสาหกรรม ในปี ค.ศ. 1942 ยางบิวทิล เป็นพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ไอโซบิวทิลีนซึ่งจะไม่มีพันธะคู่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันไม่ได้ ดังนั้นยางบิวทิล ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง จะเกิดจากไอโซพรีน และมอนอเมอร์ของไอโซพรีน ประมาณ 2 % เพื่อทำให้พันธะคู่เพิ่มขึ้น และสามารถเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันได้

คุณสมบัติของยางบิวทิล หรือ IIR คือการซึมผ่านของก๊าซต่ำ ทำให้เก็บลมได้ดี มีความต้านทานความร้อน สภาพอากาศได้ดี รับแรงกระแทกได้ดี และมีความต้านทานต่อสารเคมีและความชื้น

4) พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ คือ สารผสมในยางเพื่อเพิ่มความนิ่ม และเพิ่มความสามารถในการใช้งาน โดยทำหน้าที่ตัดโมเลกุลของยางให้สั้นลง เพื่อให้ยางนิ่ม ยกตัวอย่างเช่น

- คาร์บอนแบล็ก เป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมประสิทธิภาพและคุณสมบัติของยาง การใส่คาร์บอนแบล็กจะทำให้ยางมีค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น มีความต้านทานต่อการฉีกขาด ทนต่อการเสียดสี และทนต่อการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่การยืดตัวลดลง

- สารป้องกันการเสื่อมสภาพ ทำให้โมเลกุลของยางขาดช้าลง ปรับปรุงการเสื่อมสภาพ และทำให้ใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์นั้นได้นานขึ้น นอกจากนี้ ยังมีสารเติมแต่งอื่นอีก เช่น สารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน, สารตัวกระตุ้น และสารตัวหน่วง เป็นต้น

2.9 กระบวนการวัลคาไนเซชัน

การทำให้ยางคงรูป หรือทำให้ยางสุก คือ การทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างสายโมเลกุลหรือที่เรียกกันว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ส่งผลให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงจากค่อนข้างอ่อน (มีความเป็นพลาสติกสูง) ไปเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นดีและแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนัก และทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและแสงแดดได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถนำยางไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันต้องอาศัยสารเคมีกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing or curing agents) และความร้อนเพื่อทำให้สารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ สารเคมีที่สามารถช่วยในการเกิดปฏิกิริยา Cross-Linking ระหว่างการวัลคาไนเซชัน ขึ้นอยู่กับจำนวนกำมะถัน และอุณหภูมิการอบยางรถยนต์

เงื่อนไขที่สำคัญของการเกิดการวัลคาไนเซชัน

- พันธะคู่
- อุณหภูมิ
- เวลา
- สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) การหาสภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสยางรถยนต์ใช้แล้ว [9]

Mahmood M. Barbooti และคณะได้ทดลองไพโรไลซิสยางใช้แล้ว โดยใช้ระบบ เพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมให้ได้น้ำมัน โดยศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการทำไพโรไลซิส (400-460°C)
2. อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (0.2-0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
3. ขนาดของอนุภาค (2-20 มิลลิเมตร)

โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 430°C, อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ ขนาดของอนุภาค 10 มิลลิเมตร โดยสภาวะดังกล่าวทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนแบล็ก 32.5 %wt และน้ำมัน 51.0 %wt

2) การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [21]

คุณ ศิริรัตน์ จิตการคำ ทดลองการไพโรไลซิสเบื้องต้นโดยเทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก พบว่าผลิตภัณฑ์ขั้นต้นเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 110-350°C และผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าจนถึง 500°C โดยที่อุณหภูมิในช่วง 150-350°C เชื่อว่าเป็นการสลายตัวด้วยความร้อนของส่วนผสมของน้ำมันที่ใช้ในการเติมแต่งยาง, ความชื้น, พลาสติกไซเซออร์และสารปรุงแต่ง ขณะที่ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน, ยางบิวตาไดอีน หรือส่วนประกอบรวมอย่างอื่นจะสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 340-550°C

ผลการทดลองการไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง ปริมาณของก๊าซ, น้ำมัน, และของแข็ง ที่เหลืออยู่หลังจากการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 16-25 %, 35-44 %, และ 39-40 % ตามลำดับ ก๊าซที่ได้จากการไพโรไลซิสประกอบไปด้วย มีเทน, เอทิลีน, อีเทน, โพรพิลีน, โพรเพน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของ C₄, C₅, C₆, C₇ และ C₈ โดยเปอร์เซ็นต์ตามปริมาตรที่ได้ของมีเทนมีค่ามากที่สุด อีเทน, C₄ และ C₅ ที่เกิดขึ้นก็มีปริมาณมากแต่ไม่เท่ามีเทน ปริมาณของ C₇ และ C₈ เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3) การไพโรไลซิสพอลิเอทธีลีน [7]

ชมพูนุท หารรรยวพงศ์ และ กานสิต สุดสาคร ศึกษาการไพโรไลซิสเศษพอลิเอทธีลีน โดยใช้เพื่อให้ได้เป็นน้ำมันเบนซิน จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนมีผลต่อปริมาณน้ำมันโดยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจาก 20 มิลลิลิตรต่อนาที เป็น 60 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนเหลวลดลงจาก 39 มิลลิลิตร เป็น 28.5 มิลลิลิตร แต่เมื่อนำไฮโดรเจนเหลวมาวิเคราะห์เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันช่วงน้ำมันเบนซินสูงถึงร้อยละ 45.6 เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงน้ำมันเบนซินเพียงร้อยละ 28.9

4) การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [11]

Paul T. Williams และ Alexander J. Brindle ศึกษาการทำไพโรไลซิส ที่แบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนไพโรไลซิสเบด กับส่วนที่เป็นกะตะไลซิสเบด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ Y-type และ ZSM-5 จากการทดลองพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Y-type จะได้ผลขององค์ประกอบในน้ำมันที่ดีกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 และอุณหภูมิของกะตะไลซิสเบด มีผลต่อปริมาณน้ำมัน โดยอุณหภูมิกะตะไลซิสเบดที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด คือที่ 470°C ได้ปริมาณน้ำมัน 40 %wt โดยเมื่อนำไปหาองค์ประกอบ พบว่ามีปริมาณเบนซิน 4 %wt, โทลูอีน 21.2 %wt และ ไซลีน 19.5 %wt

5) การปรับปรุงคุณภาพของคาร์บอนแบล็กที่ได้จากการไพโรไลซิส [22]

ปัญหาของการผลิตคาร์บอนแบล็ก และถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ คือ ปัญหาการปนเปื้อนของสารที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์ เช่น ซัลเฟอร์ และ ซิงออกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของคาร์บอนแบล็กที่ได้จากการไพโรไลซิสของยางรถยนต์ เช่น งานวิจัยของ Pantea และคณะ ที่ใช้ความร้อนในการปรับปรุงคุณภาพของคาร์บอนแบล็ก และพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นหลังการใช้ความร้อน

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ยางรถยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นยางรถยนต์จากรถยนต์ส่วนบุคคลที่หมดสภาพแล้ว อายุการใช้งานของยางรถยนต์ที่นำมาใช้คือ 2 ปี ประมาณ 50,000 กิโลเมตร โดยนำยางในส่วนที่เป็นหน้ายางมาตัดให้เป็นชิ้นส่วนขนาดประมาณ 0.5-1.4 มิลลิเมตร ก่อนนำมาทำการทดลอง

3.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและวิธีการเตรียม

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคุณสมบัติเป็นกรดประกอบด้วย SiO_2 93.8 %wt, Al_2O_3 4.04 % wt, Na_2O 2.5 %wt, อัตราส่วนระหว่าง $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 39.4$ และมีขนาดของรูพรุน (Pore size) 5.6 Å มีวิธีการเตรียมดังนี้

1. เตรียมโดยการนำ ZSM-5 มาละลายกับ Ammonio Chloride ปริมาณมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามา แล้วผสมกับน้ำในบีกเกอร์
2. นำบีกเกอร์ไปวางบนเครื่องทำความร้อนที่มีแม่เหล็กหมุนกวน ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง
4. นำไปอบที่เตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องปฏิกรณ์เป็นชนิดเบดคงที่ (Semi-batch Fixed bed reactor) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยจะผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหล 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดสถานะที่ปราศจากออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ และนำพาเอาผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ อีกด้วย ยางรถยนต์ถูกนำมาผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาและถูกบรจรวมกันในเครื่องปฏิกรณ์ ต่อมาให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิในการไพโรไลซิส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที จากนั้น ไอของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านที่ดักเก็บสารที่บรรจุอยู่

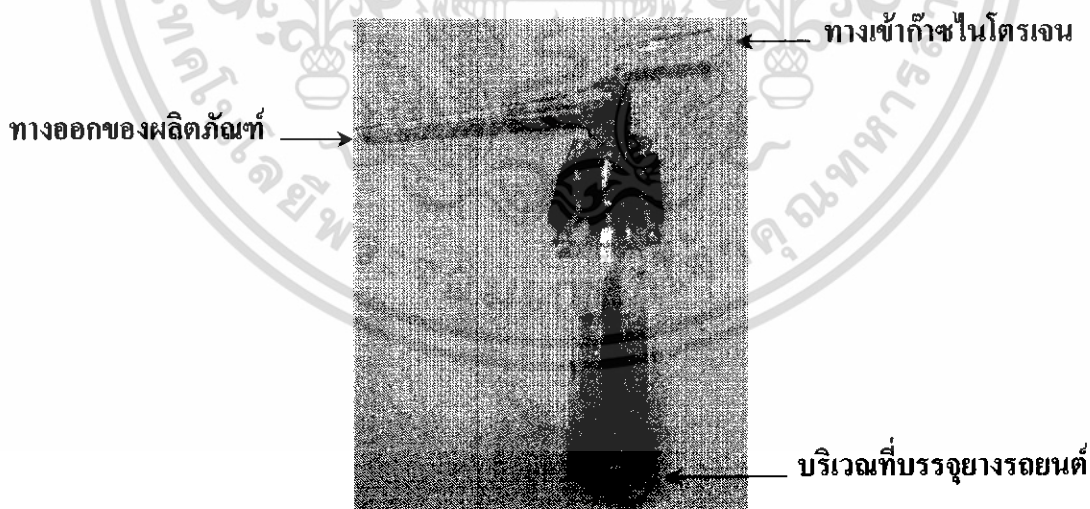
ในขวด ที่ใช้เป็นเครื่องความแน่นด้วยน้ำแข็งผสมเกลือ จำนวน 2 ขวด โดยมีจุดประสงค์เพื่อแยกเอาผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันออก ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
2. เครื่องปฏิกรณ์
3. ขวดเก็บสาร ขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวด
4. Regulator
5. สายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร
6. อ่างน้ำใส่น้ำแข็ง และน้ำแข็ง
7. เทอร์มोकัปเปิล ชนิด K

3.3.2 สารเคมี

1. ก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์ 99.99 %
2. อะซีโตน
3. ZSM-5 ที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว (Activated ZSM-5) โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักของ ZSM-5 : น้ำหนักยางรถยนต์ คือ 1:8

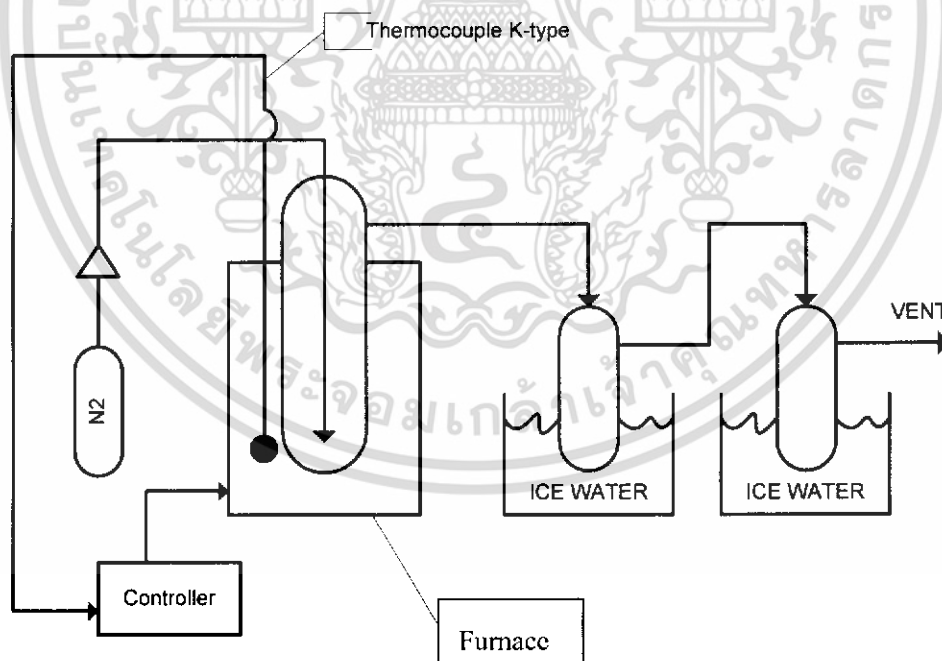


รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์เป็นชนิดเบดคงที่ (Semi-batch Fixed bed reactor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2
2. ใส่ยางรถยนต์ใช้แล้วขนาด 1-1.4 มิลลิเมตร จำนวน 8 กรัม ลงในเครื่องปฏิกรณ์
3. ปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหล 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออก
4. กำหนดอุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ตัวควบคุม โดยจะเริ่มที่อุณหภูมิ 430 และเพิ่มเป็น 450, 480, 500 และ 530°C ตามลำดับ
5. ให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง โดยสังเกตว่าไม่มีควันออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้วจึงหยุดการให้ความร้อน
6. ปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนปล่อยให้เย็น
7. เก็บตัวอย่างที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์
8. ทำการเก็บและทำความสะอาดอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ที่เกิดจากการเปื้อนของยางรถยนต์ให้ล้างด้วยอะซิโตน



รูปที่ 3.2 ผังแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การหาสถานะเบื้องต้นในการไพโรไลซิสโดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก

นำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วปริมาณ 22.296 มิลลิกรัม มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก โดยสารตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 35-800°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที

3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

3.6.1 การหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ

ใช้เครื่องชั่งความละเอียด 3 ตำแหน่ง ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของแข็ง และของเหลว ส่วนก๊าซใช้สมการคูลมวอล โดยที่

$$\text{มวลของยางที่ใช้แล้ว} = \text{มวลของผลิตภัณฑ์ของแข็ง} + \text{ของเหลว} + \text{ก๊าซ}$$

3.6.2 ความหนาแน่นของน้ำมัน

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำขวดพิกโนมิเตอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรเปล่ามาชั่งน้ำหนัก
2. ใส่น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสลงในพิกโนมิเตอร์จนเต็มพอดี
3. นำมาชั่งน้ำหนัก
4. หาความหนาแน่นของน้ำมันจากผลหารระหว่างมวลรวมกับปริมาตรรวมโดยที่

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำมัน (หน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือ มวลรวมของน้ำมัน (หน่วย กรัม)

V คือ ปริมาตรรวมของน้ำมัน (หน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.6.3 การหาค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมัน

ใช้กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์จุ่มลงในน้ำมัน นำกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีแล้วไปเทียบสีมาตรฐานเพื่ออ่านค่าพีเอชที่ได้

3.6.4 หองศ์ประกอบและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

น้ำมันจากการไพโรไลซิสมาทำการวิเคราะห์หองศ์ประกอบและปริมาณ ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี รุ่น 5973 inert PERICHROM/CDEM ของบริษัท Agilent Technologies คอลัมน์ HP-5 25 * 0.33 มิลลิเมตร * 0.17 ไมโครเมตร โดยใช้อุณหภูมิ 50 -180 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30°C ต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 180°C เป็นเวลา 3.2 นาที



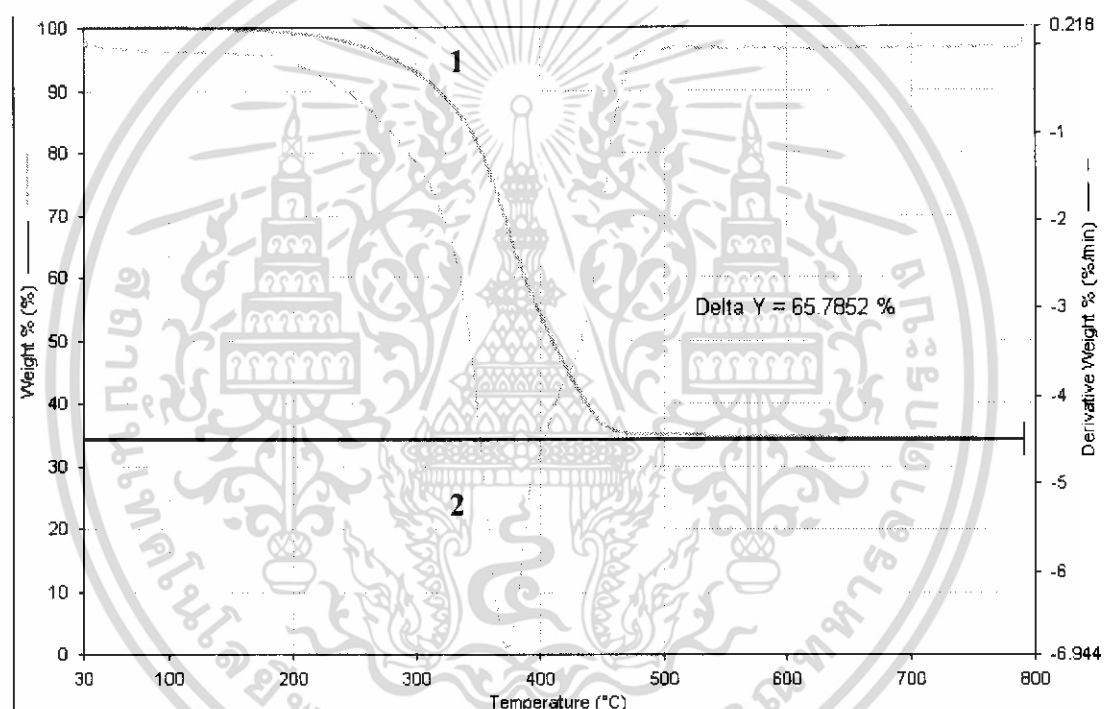
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การหาสถานะเบื้องต้นในการไพโรไลซิสโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลเกรวิเมตริก

เมื่อนำยางรถยนต์มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเทอร์โมลเกรวิเมตริก จะได้ผลตามรูป 4.1 โดยกราฟเส้นที่ 1 แสดงมวลที่หายไปของยางรถยนต์ที่อุณหภูมิต่างๆ ส่วนกราฟเส้นที่ 2 แสดงอนุพันธ์ของมวลยางรถยนต์ที่หายไป



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบโดยนำมาทำเทคนิคเทอร์โมลเกรวิเมตริกที่อุณหภูมิ 30-800°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที ปริมาณของยางรถยนต์ 22.296 มิลลิกรัม

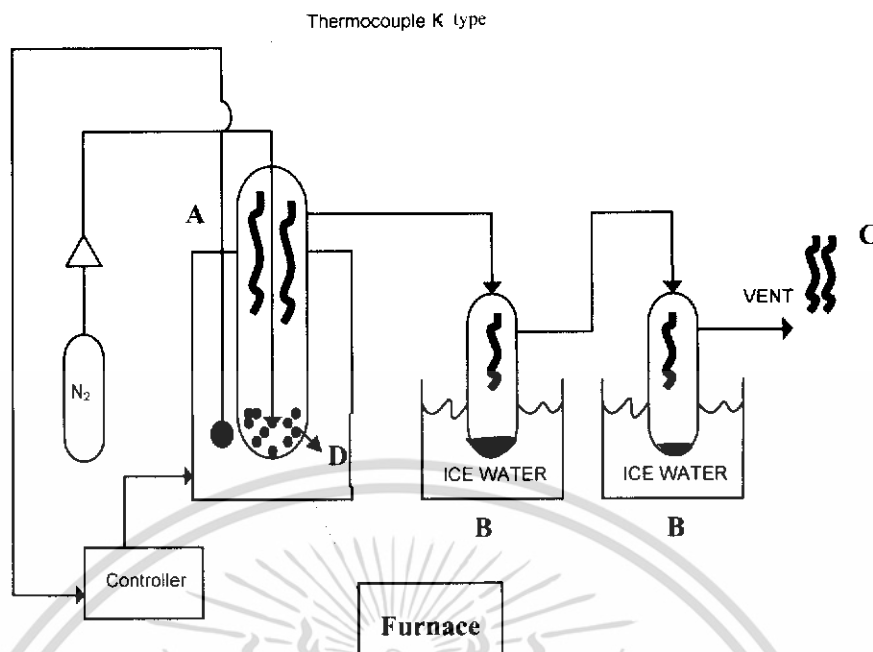
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.1 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิ 30-300°C และ 450-800°C มวลของยางรถยนต์จะหายไปเพียงบางส่วน แต่ในช่วงอุณหภูมิ 300-450°C มวลของยางรถยนต์จะหายไปเป็นปริมาณมาก และมีปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ 34.21% คิดเป็น 7.627 กรัม

เส้นกราฟแสดง 2 ช่วงของอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 35 -800°C โดย 2 กลุ่มหลักของยอดกราฟจะเรียกว่า ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150- 400°C และผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง จะเกิดในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าจนถึง 500°C องค์ประกอบของยางรถยนต์โดยทั่วไปคือ ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน, ยางบิวตาไดอีน หรือ ส่วนประกอบรวมอย่างอื่น, น้ำมันที่ใช้ในการเติมแต่ง, คาร์บอนแบล็ก, ความชื้น, พลาสติกไซเซออร์ และสารปรุงแต่ง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะถูกไฟโรไลซิสออกมาที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดยอุณหภูมิในช่วง 150-400°C เชื่อว่าเป็นการสลายตัวด้วยความร้อนของส่วนผสมของน้ำมันที่ใช้ในการเติมแต่งยาง, ความชื้น, พลาสติกไซเซออร์ และสารปรุงแต่ง ขณะที่ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน, ยางบิวตาไดอีน หรือ ส่วนประกอบรวมอย่างอื่นจะสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 400-500°C [21] ส่วนปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ เป็นสารจำพวกที่ไม่สามารถระเหยได้ เช่น คาร์บอนแบล็กที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตยางรถยนต์

4.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

เมื่อเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 100°C ขึ้นไป โดยใช้เวลาประมาณ 7 นาที จะเกิดควันสีเหลืองลอยขึ้นมาจากเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 4.1 โดยควันจะลอยขึ้นมาด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ (บริเวณ A) แล้วไหลไปตามสายยาง จนถึงบริเวณอุปกรณ์ควบแน่น ไอก็จะกลั่นตัวเป็นหยดของเหลวสีน้ำตาล (บริเวณ B) ส่วนของไอที่ไม่เกิดการควบแน่น จะเป็นก๊าซและลอยออกสู่บรรยากาศ (บริเวณ C) จากนั้นปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งควันที่ลอยขึ้นมาจากเครื่องปฏิกรณ์หมดลง จะได้ผลิตภัณฑ์สถานะของแข็งที่ก้นเครื่องปฏิกรณ์ (บริเวณ D) เก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป



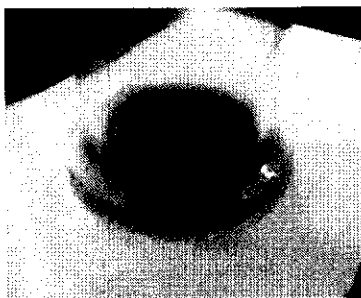
รูปที่ 4.2 บริเวณที่เกิดผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ

หลังจากทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ จะเกิดผลิตภัณฑ์ขึ้น 3 สถานะ ซึ่งมีลักษณะดัง
ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไพโรไลซิส

สถานะของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเมื่อทำการไพโรไลซิสที่ความดันบรรยากาศ	ผลการทดลอง
ของแข็ง	เป็นผงสีดำลอยถ่านไม้ที่ก้นเครื่องปฏิกรณ์
ของเหลว	สีน้ำตาลเข้มที่ขวดเก็บผลิตภัณฑ์
ก๊าซ	เป็นควันสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ของเหลว

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

ความหนาแน่นของน้ำมัน 0.9130 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำมัน (pH) 6

4.4 การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.1 ปริมาณของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2 และเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์โดยน้ำหนักทั้ง 3 สถานะ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (g)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณของน้ำมัน (g)	ปริมาณของเถ้า (g)	ปริมาณของก๊าซ (g)
430	0.000	7.187	0.813
450	2.613	4.269	1.118
480	3.649	3.454	0.897
500	3.454	3.491	1.055
530	3.310	3.500	1.190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%w/w)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณของน้ำมัน (%w/w)	ปริมาณของเถ้า (%w/w)	ปริมาณของก๊าซ (%w/w)
430	0.000	89.838	10.163
450	32.663	53.363	13.975
480	45.613	43.175	11.213
500	43.175	43.638	13.188
530	41.375	43.750	14.875

4.4.2 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

นำน้ำมันจากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450°C มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณ ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี ได้ผลดังรูปที่ 4.4 และตามตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลของ Mass spectrum ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450°C วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกสื่อน้ำมันเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

Compound	Area (%)
เบนซีน	0.18
โทลูอิน	0.90
ไซลีน	1.12
เอทิลเบนซีน	0.10
สไตรีน	0.85
3-เอทิลโทลูอิน	0.21
4-เอทิลโทลูอิน	0.30
1,3,5-ไตรเมทิลเบนซีน	0.13
2-เอทิลโทลูอิน	0.15
Indane	0.36
1,2,3-ไตรเมทิลเบนซีน	0.00
1,2,3,5-เตตระเมทิลเบนซีน	0.00
รวม	4.30

4.5 การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.5.1 ปริมาณของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.5 และเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์โดยน้ำหนักทั้ง 3 สถานะ แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (g)

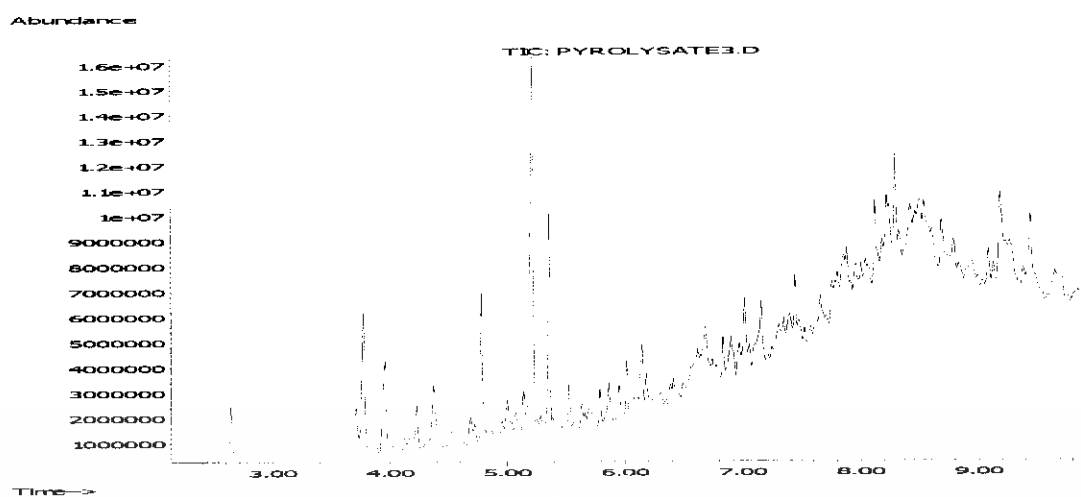
อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณของน้ำมัน (g)	ปริมาณของเถ้า (g)	ปริมาณของก๊าซ (g)
430	3.206	3.124	1.670
450	3.473	3.053	1.474
480	2.940	3.092	1.968
500	2.631	3.101	2.268
530	2.487	3.112	2.401

ตารางที่ 4.6 ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%w/w)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณของน้ำมัน (%w/w)	ปริมาณของเถ้า (%w/w)	ปริมาณของก๊าซ (%w/w)
430	40.075	39.050	20.875
450	43.413	38.163	18.425
480	36.750	38.650	24.600
500	32.888	38.763	28.350
530	31.088	38.900	30.013

4.5.2 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน

นำน้ำมันจากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450°C มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณ ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ได้ผลดังรูปที่ 4.5 และตามตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.5 ผลของ Mass spectrum ของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5
วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

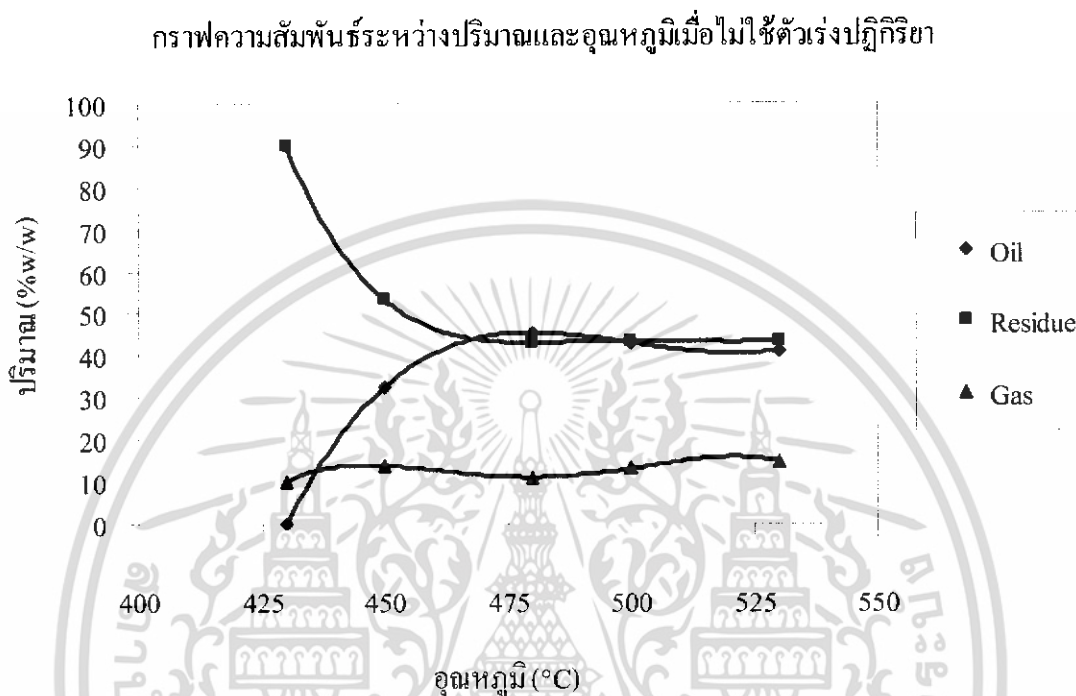
ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
ชนิด ZSM-5

Compound	Area (%)
เบนซีน	2.50
โทลูอิน	11.30
ไซลีน	7.65
เอทิลเบนซีน	6.20
สไตรีน	3.94
3-เอทิลโทลูอิน	2.39
4-เอทิลโทลูอิน	2.07
1,3,5-ไตรเมทิลเบนซีน	1.55
2-เอทิลโทลูอิน	1.12
Indane	1.20
1,2,3-ไตรเมทิลเบนซีน	0.55
1,2,3,5-เตตระเมทิลเบนซีน	0.65
รวม	41.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 3 สถานะ มาเปรียบเทียบปริมาณ เพื่อดูผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

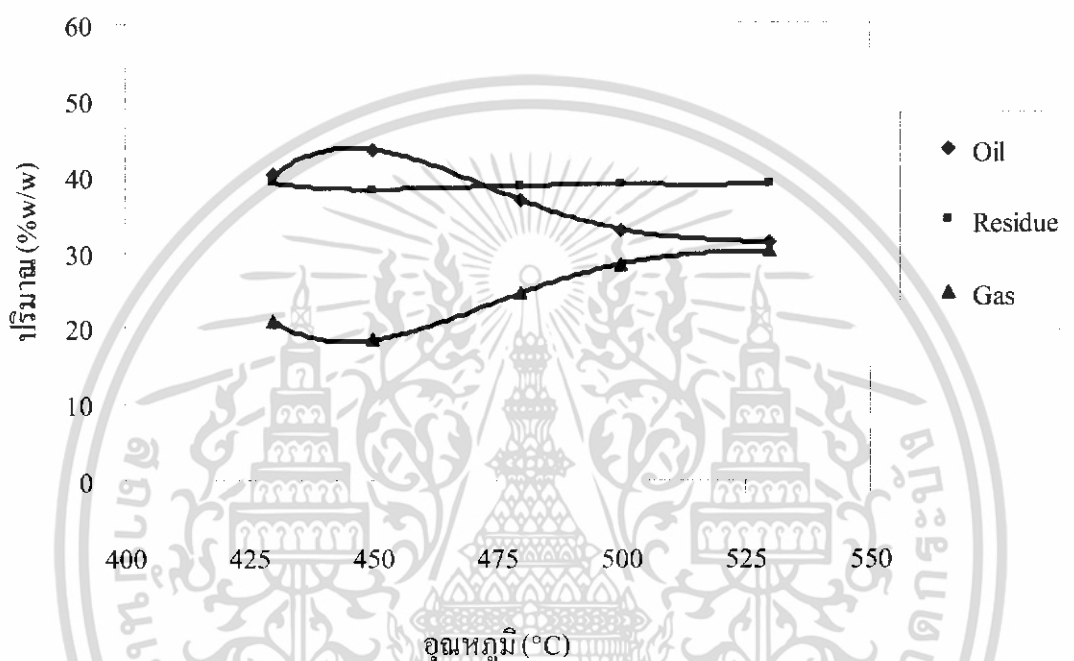
จากกราฟรูปที่ 4.6 พบว่า ที่อุณหภูมิ 430°C ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกมาจากการไพโรไลซิส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการไพโรไลซิสให้สูงขึ้นที่ 450-480°C ปริมาณของน้ำมันที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการไพโรไลซิสให้สูงขึ้นในช่วง 480-530°C พบว่า ปริมาณของน้ำมันลดลง ส่วนปริมาณของก๊าซกลับเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของเถ้าค่อนข้างคงที่ ในช่วงอุณหภูมิ 450-530°C

อุณหภูมิของการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณน้ำมันมากที่สุดอยู่ที่ 480°C ได้ปริมาณน้ำมัน 45.613 %wt

พบว่า ที่อุณหภูมิ 430°C ไม่เกิดผลิตภัณฑ์สถานะของเหลว ทั้งที่ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก จากรูป 4.1 ซึ่งเป็นการทดสอบที่ได้มาตรฐานกว่า น่าจะเป็นอุณหภูมิที่เกิดไอระเหยได้ดี แต่ผลจากการไพโรไลซิสกลับไม่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก เป็นการทดสอบอย่างรวดเร็วที่บรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนมาก จึงเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันขึ้น ซึ่งต่างจากการทำไพโรไลซิสที่สภาวะปราศจากออกซิเจน และจะสังเกตได้ว่าของแข็งที่เหลือจากผลของเทอร์มอลเกรวิเมตริกมีค่าประมาณ 34% ซึ่งไม่เท่ากับการไพโรไลซิสที่มีค่าประมาณ 38% อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ทำเทอร์มอลเกรวิเมตริกสูงกว่าการทำไพโรไลซิส ดังนั้นจึงมีสารประกอบที่สามารถระเหยได้เพิ่มออกมา ปริมาณของแข็งจึงลดลง

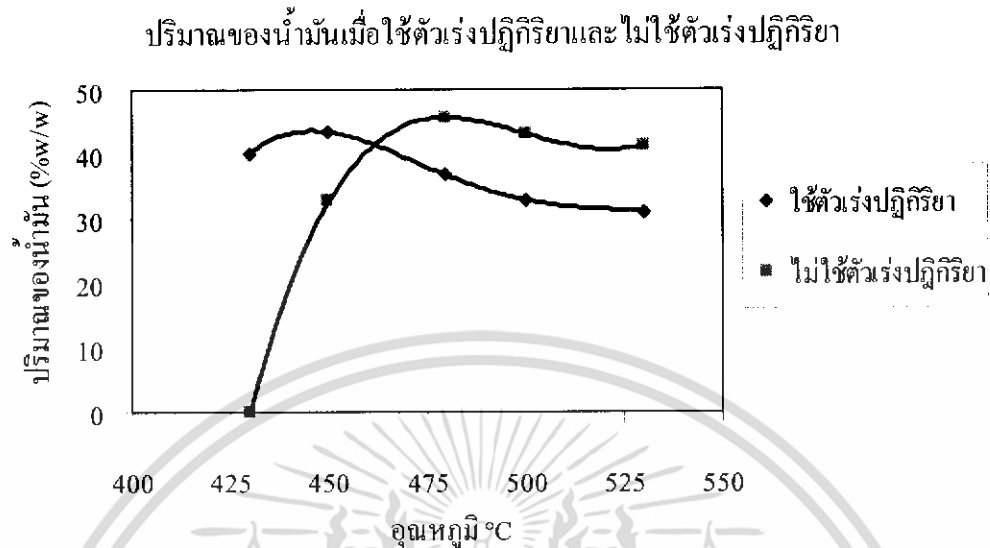
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับอุณหภูมิเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5

จากกราฟรูปที่ 4.7 พบว่า ที่อุณหภูมิ 430°C สามารถเกิดน้ำมันได้ ซึ่งต่างจากการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวของสารประกอบในยางรถยนต์ จึงทำให้สามารถเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการไพโรไลซิสให้สูงขึ้นในช่วง 430-450°C ปริมาณของน้ำมันก็สูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปเรื่อยๆ ในช่วง 450- 475°C ขึ้นไป ปริมาณของน้ำมันลดลง ตรงข้ามกับปริมาณของก๊าซที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารประกอบก็จะแตกตัวมากขึ้น กลายเป็นสารที่ไม่ควบแน่นได้มากขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ในส่วนของก๊าซจึงเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณของเถ้าค่อนข้างคงที่ตลอด เนื่องจากสารที่เหลืออยู่เป็นสารจำพวกที่ไม่สามารถระเหยได้

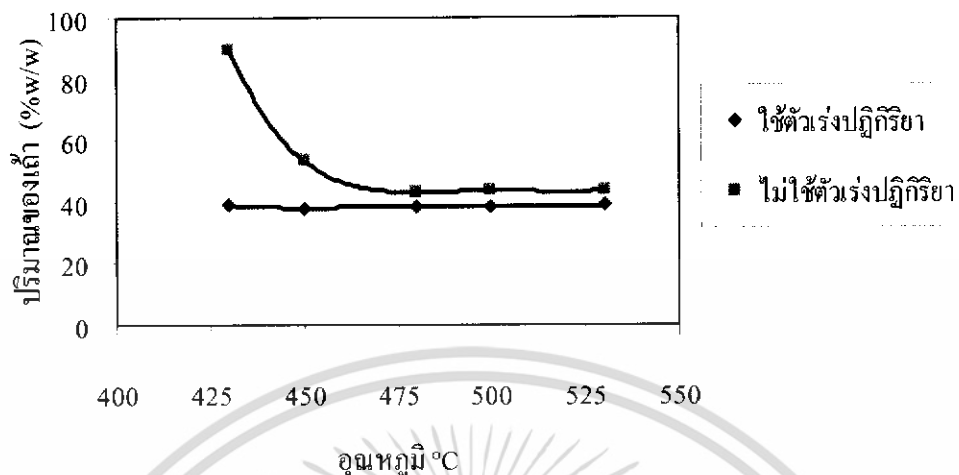
อุณหภูมิของการไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดอยู่ที่ 450°C ได้ปริมาณน้ำมัน 43.413 %wt



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากกราฟรูปที่ 4.8 พบว่า ที่อุณหภูมิ 430°C เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 ในการไพโรไลซิส สามารถเกิดผลิตภัณฑ์สถานะน้ำมันได้ ต่างจากเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ปริมาณน้ำมันเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มากที่สุด ได้น้อยกว่า ปริมาณน้ำมันมากที่สุดเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบมากขึ้น จึงมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมากขึ้น

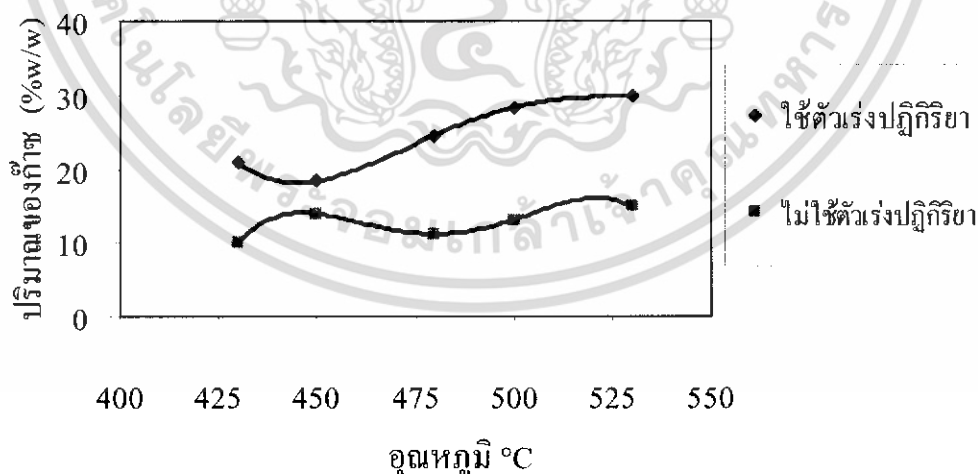
ปริมาณของเถ้าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณของเถ้าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากกราฟรูปที่ 4.9 พบว่า ที่อุณหภูมิ 430°C ปริมาณของเถ้าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีปริมาณสูง เนื่องจากไม่เกิดน้ำมันจากการไพโรไลซิส แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของเถ้าค่อนข้างคงที่ เช่นเดียวกับปริมาณของเถ้าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะเถ้าที่เหลืออยู่เป็นสารที่ไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้

ปริมาณของก๊าซเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



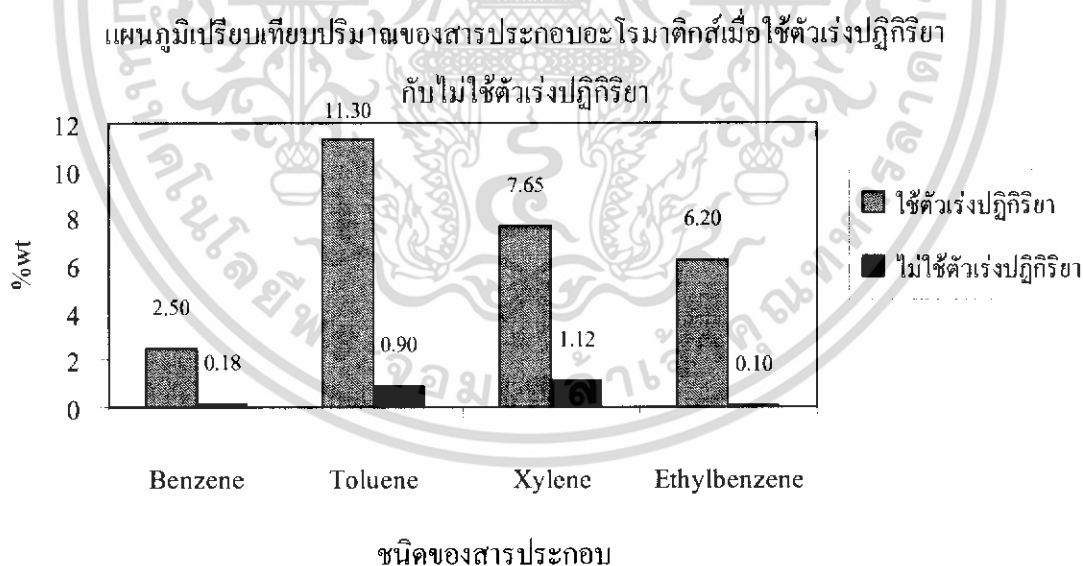
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณของก๊าซเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.10 พบว่า การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 430-450°C ปริมาณของก๊าซเพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับการไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณของก๊าซลดลง ในช่วงอุณหภูมิ 450-480°C การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของก๊าซลดลง แต่ในช่วงอุณหภูมิ 480-530°C การไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

4.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมัน

จากการเปรียบเทียบการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดสารประกอบประเภทอะโรมาติกส์บางส่วน ซึ่งมาจากยางสังเคราะห์สไตรีน-บิวตาไดอีน ที่มีอยู่ในยางรถยนต์ส่วนหนึ่ง และพบว่าปริมาณของเบนซีน, โทลูอีน, ไซลีน และ เอทิลเบนซีน ที่เป็นสารหลักสำหรับการใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการไพโรไลซิส ปริมาณของเบนซีน เพิ่มขึ้นจาก 0.18 %wt เป็น 2.5 %wt ปริมาณของ โทลูอีน เพิ่มขึ้นจาก 0.9 %wt เป็น 11.3 %wt ปริมาณของ ไซลีน เพิ่มขึ้นจาก 1.12 %wt เป็น 7.65 %wt และ ปริมาณของ เอทิลเบนซีน เพิ่มขึ้นจาก 0.1 %wt เป็น 6.2 %wt ส่วนที่เหลือจะเป็นสารประกอบอื่น เช่น แอลเคน แอลคีน เป็นต้น



รูปที่ 4.11 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 ต่อปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อคิดจากขางรยนต์ใช้แล้ว 1 ตัน จะสามารถผลิต เบนซีน ได้ 10.85 กิโลกรัม, โทลูอิน ได้ 49.05 กิโลกรัม, ไซลีน ได้ 33.21 กิโลกรัม และเอทิลเบนซีน ได้ 26.91 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดสอบยางรถยนต์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก พบว่าช่วงอุณหภูมิที่มวลของยางรถยนต์หายไปมากที่สุดต่ำกว่าการไพโรไลซิสที่ทำการทดลอง เนื่องจากการทำเทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริกทำในสภาวะบรรยากาศ มีออกซิเจน ทำให้เกิดการออกซิเดชัน ซึ่งต่างการทำไพโรไลซิสที่ทำในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยผลิตภัณฑ์ขั้นต้นเกิดขึ้นในช่วง 150-400°C และผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าจนถึง 500°C โดยอุณหภูมิในช่วง 150-400°C คือการสลายตัวด้วยความร้อนของส่วนผสมของน้ำมันที่ใช้ในการเติมแต่งยาง, ความชื้น, พลาสติกไซเซออร์ และสารปรุงแต่ง ขณะที่ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน, ยางบิวตาไดอีน หรือ ส่วนประกอบรวมอย่างอื่นจะสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 400-500°C [21] ส่วนปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ เป็นสารจำพวกที่ไม่สามารถระเหยได้ เช่น คาร์บอนแบล็กที่เติมลงไป กระบวนการผลิตยางรถยนต์
2. จากผลการทดลองการไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมา 3 สถานะด้วยกัน คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของน้ำมัน โดยที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อจนถึงจุดที่ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดแล้ว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป ปริมาณน้ำมันจะลดลง แต่ปริมาณของก๊าซจะเพิ่มมากขึ้น แทน เนื่องจากสารที่มีมวลโมเลกุลหลายๆ จะถูกทำลายพันธะมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูง ปริมาณของก๊าซจึงมีมากขึ้นอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ได้ปริมาณน้ำมันออกมามากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 480°C ได้ปริมาณ น้ำมัน 45.61 %wt องค์ประกอบของน้ำมันที่ได้ มีผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าเชิงพาณิชย์อยู่ปริมาณน้อย
3. จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบยางรถยนต์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริก กับการไพโรไลซิส พบว่าปริมาณเถ้าที่เหลือจากการทดสอบยางรถยนต์โดยใช้เทคนิคเทอร์มอลเกรวิเมตริกมีน้อยกว่าการไพโรไลซิส เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ทำเทอร์มอลเกรวิเมตริกสูงกว่าการไพโรไลซิส ทำให้มีสารประกอบบางส่วนระเหยออกมาเพิ่ม
4. จากผลการทดลอง การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิมิผลต่อปริมาณของน้ำมัน เช่นเดียวกับการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ได้ปริมาณน้ำมันออกมามากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 450°C ได้ปริมาณน้ำมัน 43.41%wt องค์ประกอบของ

น้ำมันที่ได้มีปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกส์ ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากยางสังเคราะห์สไตรีน-บิวทาไดอีน ที่มีอยู่ในยางรถยนต์ โดยมีปริมาณของ เบนซีน 2.5 %wt, ปริมาณของโทลูอีน 11.3 %wt, ปริมาณของ ไซลีน 7.65 %wt และปริมาณของเอทิลเบนซีน 6.2 %wt

5. การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำให้ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า การการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แม้ว่าปริมาณของของเหลวที่ได้จะน้อยกว่า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวของสารประกอบ ทำให้มีส่วนผลิตภัณฑ์สถานะก๊าซมากขึ้น แต่องค์ประกอบของน้ำมัน พบว่ามีปริมาณของ เบนซีน, โทลูอีน, ไซลีน และเอทิลเบนซีน ที่เป็นสารหลักสำหรับการใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการปรับปรุง พัฒนา อุปกรณ์และเครื่องปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อให้มีเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น โดยออกแบบให้มีการป้อนสารได้อย่างต่อเนื่อง
2. การหาค่าองค์ประกอบในน้ำมัน ควรเลือกตัวทำลายที่สามารถละลายสารประกอบอะโรมาติกส์ที่ต้องการวิเคราะห์แยกออกมาจากน้ำมันก่อน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
3. ทำการทดลองโดยใช้ตัวแปรอื่นนอกเหนือจากอุณหภูมิ เช่น อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน, อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อยางรถยนต์, ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคุณสมบัติเป็นเบส, ขนาดของยางรถยนต์ และอายุการใช้งานของยางรถยนต์
4. ศึกษาและค้นคว้าวิธีที่เหมาะสมในการแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวผสมที่ได้รวมทั้งวิธีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.rubberstudy.com/stats.htm (กุมภาพันธ์ 2549)
- [2] Sharma, K.R., *“Reclamation of Rubber Crumb from Army’s Discarded Tires”*, Presented at ANTEC 2000, Plastics Recycling, 40, May 7-11 2000, Orlando, Florida
- [3] www.ppc.chula.ac.th/krung.html (สิงหาคม 2548)
- [4] Green Plastic, *“รัฐบาลเดินหน้าเก็บภาษีพลาสติกรีไซเคิล”*, พลาสติก, ปีที่ 18, ฉบับที่ 4, ก.ค. – ส.ค. 2545.
- [5] Amari, T., Themelis, N.J. and Wernick, I.K., *“Resource Recovery from Used Rubber tires”*, 25, 1999.
- [6] Wojtowicz, M.A. and Serio, M.A., *“Pyrolysis of scrap tires: Can it be profitable?”*, in the market place, Chemtech, 25, October 1996.
- [7] ชมพูนุท วรรณวรพงศ์ และ กานต์ สุตสาคร. *“การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนเศษพอลิเอทรีนให้เป็นน้ำมันเบนซิน.”* การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] <http://www.biomass/gasificationprocess.html> (กันยายน 2548)
- [9] Mahmood M. Barbooti, Thamer J. Mohamed, Alaa A. Hussain, Falak O. Abasa. *“Optimization of pyrolysis conditions of scrap tires under inert gas atmosphere.”*, Baghdad, Iraq: Department of Chemical Engineering, University of Technology.
- [10] <http://www.btgworld.com/technologies/pyrolysis.html#introduction> (กันยายน 2548)
- [11] Paul T. Williams, Alexander J. Brindle. *“Catalytic pyrolysis of tyres: influence of catalyst temperature.”* UK: Department of Fuel and Energy, The University of Leeds, Leeds LS2 9JT.
- [12] <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/publikationen/forschungsforum/004/teil2.en.html> (กันยายน 2548)
- [13] Ali, S., Garforth, A.A., Harris, D.H., Rawlence, D., and Uemichi, Y. (2002) *“Polymer waste recycling over “used” catalysts.”*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Williams, P.T. and Brindle, A.J. (2003). Aromatic chemical from the catalytic pyrolysis of scrap tyres. *“Journal of Analytical of Applied Pyrolysis.”*
- [15] www.pyne.com (กุมภาพันธ์ 2549)
- [16] มนันทน์ ชีวจิตการ และกานดิศ สุตสาคร. “การเสื่อมสภาพและการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยาในการไพโรไลซิสโพลีโพรพิลีน.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] www.michelin-us.com (กุมภาพันธ์ 2549)
- [18] www.uwsp.edu/chemistry/polyed/teachers.htm (มีนาคม 2549)
- [19] www.steve.gb.com/science/molecules.html (มีนาคม 2549)
- [20] www.chemheritage.org/.../poly/pop/bdiene.htm (มีนาคม 2549)
- [21] สิริรัตน์ จิตการคำ “การนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่มีมูลค่าโดยการไพโรไลซิส” วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [22] Patea, D., et al., (2003) *“Heat Treatment of carbon blacks obtained by Pyrolysis of used tires. Effect on surface Chemistry, Porosity and Electrical Conductivity.”*
- [23] chemelab.ucsd.edu/methanol/memos/ZSM-5.html (มีนาคม 2549)
- [24] atom.ecn.purdue.edu/~thomsonk/projects.html (มีนาคม 2549)
- [25] www.chemtrack.org/MSDS.asp (มีนาคม 2549)
- [26] www.aromatics.co.th/thai/faq.htm (มีนาคม 2549)
- [27] www.kmitl.ac.th/sisc/service.htm (มีนาคม 2549)

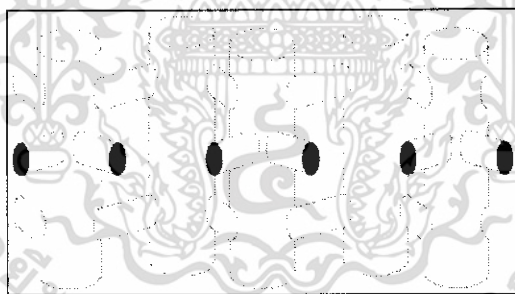


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

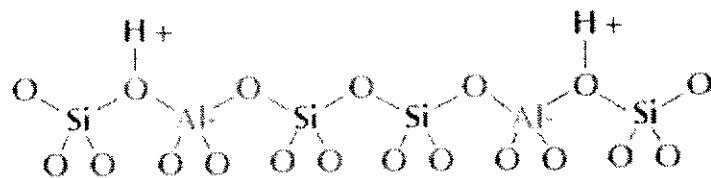
ภาคผนวก ก

ส่วนประกอบและโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ชนิด ZSM-5

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแตกตัว (Catalytic cracking) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ (Isomerization) จะนิยมใช้ซีโอไลต์กันมาก โดยเฉพาะซีโอไลต์ที่มีอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 เป็นซีโอไลต์ที่มีอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมสูง การแทนที่ของซิลิกอนไอออน (ประจุ 4+) ด้วยอะลูมิเนียมไอออน (ประจุ 3+) ทำให้โปรตอนเพิ่มขึ้นโดยโปรตอนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ซีโอไลต์มีระดับของความเป็นกรดสูงซึ่งส่งผลต่อการทำปฏิกิริยา ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 เป็นวัตถุที่มีความเป็นรูพรุนสูงมีลักษณะเป็นสองทิศทางตัดกัน ซึ่งจะยอมให้โมเลกุลที่มีขนาดเหมาะสมผ่านจากจุดหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังที่อื่นๆในอนุภาค รูพรุนที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ โดยทั้งสองแบบก่อตัวด้วยวงแหวนออกซิเจนที่มีสมาชิก 10 ตัวเหมือนกัน แบบแรกของรูพรุนหน้าตัดขวางมีลักษณะเป็นเส้นตรงและรูปไข่ แบบที่สองรูพรุนที่ตัดผ่านจะทำมุมให้เหมาะสมกับรูพรุนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงในรูปแบบที่ซิกแซกโดยหน้าตัดขวางจะมีลักษณะเป็นวงกลม ดังรูปที่ ก-1 [23]



รูปที่ ก.1 ลักษณะรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 [23]



รูปที่ ก.2 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 [24]

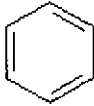


รูปที่ ก.3 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสารผลิตภัณฑ์

1. ชื่อผลิตภัณฑ์ เบนซีน (Benzene) 
- สูตรโมเลกุล C_6H_6
- น้ำหนักโมเลกุล 78.12 g/mol
- สมบัติทางเคมีและกายภาพ
- ลักษณะภายนอก สถานะทางกายภาพ: ของเหลว
- สี: ไม่มีสี

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของเบนซีน [25]

คุณสมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	80 - 80.2 องศาเซลเซียส	760 mmHg
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	5.5 องศาเซลเซียส	
จุดวาบไฟ	-11 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิจุดติดไฟด้วยตนเอง	562 องศาเซลเซียส	
ขีดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า: 1.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูงกว่า: 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	
ความดันไอ	74.6 mmHg	20 องศาเซลเซียส
ถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.879 g/cm ³	
ความหนาแน่นของไอ	2.77 g/l	

ประโยชน์: เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยจะถูกป้อนให้แก่บริษัท พีโคเคมี จำกัด เพื่อผลิต สารสไตรีนโมโนเมอร์ (SM) และ สารไซโคลเฮกเซน ซึ่งจะเป็ นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ ขึ้นปลาย โดยสารสไตรีนโมโนเมอร์ จะได้ สารพอลิสไตรีน (PS) สารอะครีโลไนทริล - บิวทาไดอีน - สไตรีน (Acrylonitrile - Butadiene - Styrene - ABS) และสารสไตรีน-บิวทาไดอีนรับเบอร์ (Styrene - Butadiene Rubber - SBR) โดย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสารพอลิสไตรีน คือ ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้า ของเด็กเล่น เฟอร์นิเจอร์ หมักพิมพ์ กาว ฯลฯ สำหรับ เอบีเอส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ กระจา เป้าเดินทาง ท่อ ภาชนะบรรจุ ฯลฯ และ สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำ ไปใช้

เอสเตอร์ จะนำไปทำยางรถยนต์ ท่อยาง สายรัด ฯลฯ ส่วนสารไซโคลเฮกเซน จะได้สารคาโปรแลคตัม ซึ่งนำไปทำเป็นสารในลอน 6 โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ ยาง เส้นใยสังเคราะห์ เม็ดพลาสติกขึ้นรูป ฯลฯ [26]

2. ชื่อผลิตภัณฑ์ โทลูอิน (Toluene)

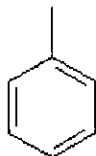
สูตรโมเลกุล C_7H_8

น้ำหนักโมเลกุล 92.14 g/mol

สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะภายนอก สถานะทางกายภาพ: ของเหลว

สี: ไม่มีสี



ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติของโทลูอิน [25]

คุณสมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	110.6 องศาเซลเซียส	760 mmHg
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	-93 องศาเซลเซียส	
จุดวาบไฟ	4 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิติดไฟด้วยตนเอง	562 องศาเซลเซียส	
ขีดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า: 1.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูงกว่า: 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	
ความดันไอ	21.75 mmHg	20 องศาเซลเซียส
ถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.865 g/cm ³	25 องศาเซลเซียส
การละลาย	การละลายน้ำ: 0.5 mg/ml H ₂ O	

ประโยชน์: เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ใช้เป็นสารตัวทำละลาย (Solvent) เพื่อใช้ใน อุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น สารเคลือบผิว ยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมสี กาว และอื่นๆ [26]

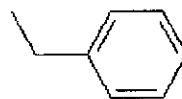
3. ชื่อผลิตภัณฑ์ ไชลีน (Xylene)
 สูตรโมเลกุล C_8H_{10}
 น้ำหนักโมเลกุล 106.17 g/mol
 สมบัติทางเคมีและกายภาพ
 ลักษณะภายนอก สถานะทางกายภาพ: ของเหลว
 สี: ไม่มีสี

ตารางที่ ข.3 คุณสมบัติของพารา-ไชลีน [25]

คุณสมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	137-138 องศาเซลเซียส	760 mmHg
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	13 องศาเซลเซียส	
จุดวาบไฟ	25 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิลุกติดไฟด้วยตนเอง	529 องศาเซลเซียส	
ขีดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า: 1.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูงกว่า: 7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	
ความดันไอ	9 mmHg	20 องศาเซลเซียส
ถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.861 g/cm ³	
ความหนาแน่นของไอ	2.77 g/l	
สัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน	Log K_{ow} = 3.15	
ความหนาแน่นของไอ	3.7 g/l	
แรงตึงผิว	28.3 mN/m	20 องศาเซลเซียส
การละลาย	การละลายน้ำ: 0.2 mg/ml H ₂ O	

ประโยชน์: เป็นวัตถุดิบเพื่อป้อนให้โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง ใช้ผลิตสาร PTA (Purified Terephthalic Acid) หรือ กรดเทเรฟทาลิกบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบ สำคัญในการผลิตพอลิเอสเตอร์ (Polyester) เส้นใยสังเคราะห์, ฟิล์ม, ภาชนะบรรจุอาหาร, ขวดน้ำดื่ม, (ขวด PET) และถุงเก็บความร้อน [26]

4. ชื่อผลิตภัณฑ์ เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)



สูตรโมเลกุล C_8H_{10}

น้ำหนักโมเลกุล 106.17 g/mol

สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะภายนอก สถานะทางกายภาพ: ของเหลว

สี: ไม่มีสี

ตารางที่ ข.4 คุณสมบัติของเอทิลเบนซีน [25]

คุณสมบัติ	ค่า	ณ อุณหภูมิหรือความดัน
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	136-137 องศาเซลเซียส	760 mmHg
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	-95 องศาเซลเซียส	
จุดวาบไฟ	15 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิจุดติดไฟด้วยตนเอง	432 องศาเซลเซียส	
ขีดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า: 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูงกว่า: 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	
ความดันไอ	10 mmHg	20 องศาเซลเซียส
ถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	0.867 g/cm ³	
ความหนาแน่นของไอ	3.7 g/l	

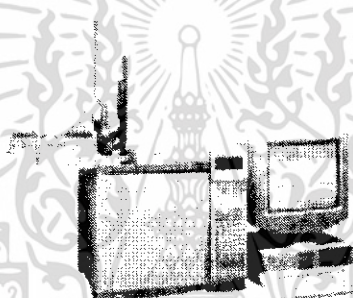
ประโยชน์: ใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตสารสไตรีน (Styrene) และใช้เป็นสารเริ่มต้นในการผลิตพลาสติกชนิดต่างๆ อย่างสังเคราะห์ ลาเท็กซ์ ใช้เป็นสารทำละลายและวัตถุดิบในการผลิตเซลลูโลสอะซีเตท อะซีโตฟีโนน (Acetophenone) ไดเอทิลเบนซีน (diethyl benzene) และแอนทราควิโนน (Anthraquinone) และใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์และเครื่องบิน [26]

ภาคผนวก ค

เครื่องมือในการทดสอบ

1. แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry)

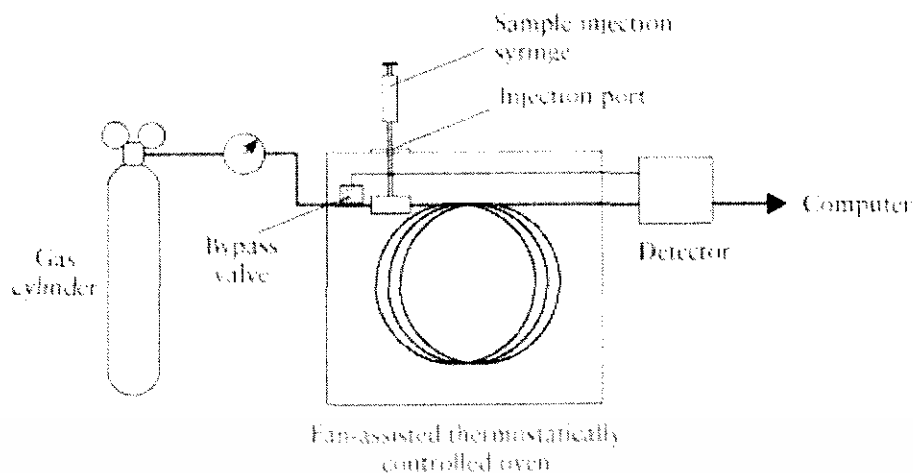
เป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำสูง โดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับ ข้อมูลที่มีอยู่ใน Library นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) GC-MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas chromatography) และส่วนของเครื่อง MS (Mass spectrometer)



รูปที่ ค.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี [27]

Gas Chromatograph (GC)

ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อน กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสาร ตัวอย่างอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ



รูปที่ ก.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของ GC [27]

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่ Column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลายตัว ตัวอย่างของ injector ได้แก่ Split, Splitless, On column

2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ Column และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ Column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของ Oven นั้น มี 2 แบบ คือ

2.1 Isocratic Temperature

2.2 Gradient Temperature

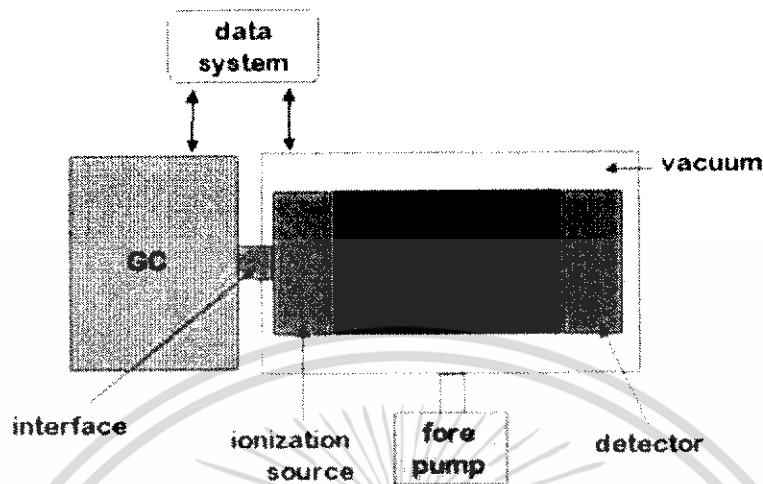
ข้อดีของการทำ Gradient temperature คือ สามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์

3. Detector คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่เราสนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด

Mass Spectrometer (MS)

เป็น Detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกไอออไนซ์ในสถานะสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ

Mass spectrometer components



รูปที่ ค.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของ MS [27]

องค์ประกอบสำคัญของ MS แบ่งออกเป็น

1. Ionization Source แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

Electron Ionization (EI) เป็นการทำให้สารเกิด Fragment โดยใช้ลำ Electron ซึ่ง Ionization chamber ต้องมีความดันต่ำประมาณ 10^{-8} Torr โดย Electron จาก Filament ที่ร้อนจะถูกไฟกัสนำห้องนี้และถูกดึงเข้าหา repeller voltage ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับ Electron เป็น 70 eV ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก (Fragmentation ion) ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ (Relative abundance)

Chemical Ionization (CI) เป็นการทำให้สารเกิดการ Fragment ด้วยวิธีทางเคมีโดยผสมสารตัวอย่าง (ความดัน 10^{-4} Torr) เข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยาด้วย (ความดัน 1 Torr) แล้วผ่านสารผสมเข้าไปใน Ionization chamber โดยการทำให้เกิดการ Fragment ด้วยการชนกับ Electron เช่นเดียวกันแก๊สที่ใช้ได้แก่ Methane, Isobutane, Ammonia

2. Mass Analysis

เป็นเครื่องวิเคราะห์มวล มีหลายแบบ คือ Magnetic-sector analyzer, Electrostatic analyzer, Time-of-flight analyzer, Ion cyclotron resonance analyzer, Quadrupole mass spectrometer-Quadrupole Mass Spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยสนามแม่เหล็ก คือ เป็น Path-stability mass spectrometer ซึ่งมีแหล่งผลิต Ion source 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะทำ

ให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่ 2 ทำให้สารมาตรฐานกลายเป็นไอออนถ้าไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสภาวะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่อง Detector แยกกันซึ่งมีข้อดีคือทำให้สามารถวัดมวลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

3. Detector

ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายอย่าง คือ Faraday cup detector, Electron multiplier detector, Scintillation counter detector, Photographic plate detector [27]

ข้อดีของ GC-MS

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจงให้ Sensitivity ที่สูง
2. สามารถบ่งชี้ชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้
3. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

ข้อเสียของ GC-MS

1. ราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง
2. ต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญสูง

2. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis: TGA)

หลักการของเครื่อง

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ เป็นกลุ่มเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุต่างๆ เช่น โพลีเมอร์ สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เซรามิกส์ โลหะ และวัสดุทั่วไปอื่นๆ การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติ ทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา ผลการวิเคราะห์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ สมบัติทางความร้อน เสถียรภาพต่อความร้อน เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลักษณะการผ่านกระบวนการทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่หายไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความร้อนที่วัสดุดูดหรือคาย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ ชิ้นงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา



รูปที่ ก.4 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

การใช้งาน

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะสามารถนำมาใช้หาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนไป โครงสร้างทางเคมีรวมถึง กระบวนการ และการพิจารณานำสารไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น

- การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เช่น พอลิเมอร์, ยาง และตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ เช่น เซรามิก เป็นต้น
- การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น การหาปริมาณของตัวทำละลาย, ความชื้น, สารเติมแต่ง, คาร์บอนแบล็ค และ พลาสติกไซค์เซอร์
- การศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อนของตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ และยาง ซึ่งวิเคราะห์ตัวอย่างได้ ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้