

การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิไทรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ



นางสาวนิตา วิสุทธิรังษีอุไร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2586-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THERMAL CRACKING OF POLYSTYRENE AND USED VEGETABLE OIL IN
A TUBULAR REACTOR



Miss Nisa Visutthirangsriurai

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology
Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2586-4

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้ว
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

โดย

นางสาวนิตา วิสุทธิรังษีอุไร

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

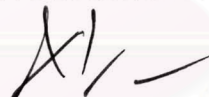


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมณะเศวต)

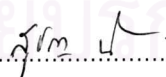
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



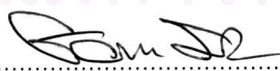
.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานนท์)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิติวัดมนานนท์)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)

นิตา วิสุทธีรังษีอุไร : การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (THERMAL CRACKING OF POLYSTYRENE AND USED VEGETABLE OIL IN A TUBULAR REACTOR) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิจิตรศานต์, 112 หน้า. ISBN 974-14-2586-4

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ 350-600 องศาเซลเซียส, อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วและพอลิสไตรีน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลเข้า 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) พบว่าภาวะที่ส่งผลกระทบต่อ การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ทำให้เกิดปริมาณร้อยละเนฟตามากที่สุดคือ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณเนฟทาร์้อยละ 41.15 เคโรซีนร้อยละ 8.72 แก๊สออกซิลเบาร้อยละ 28.26 แก๊สออกซิลหนักร้อยละ 9.92 กากน้ำมันร้อยละ 11.12 และพบว่าภาวะที่ส่งผลกระทบต่อ การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ทำให้เกิดปริมาณร้อยละเนฟตามากที่สุดคือ อัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วและพอลิสไตรีน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณเนฟทาร์้อยละ 70.38 เคโรซีนร้อยละ 6.26 แก๊สออกซิลเบาร้อยละ 14.49 แก๊สออกซิลหนักร้อยละ 3.33 กากน้ำมันร้อยละ 3.43 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็น แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหมู่ฟังก์ชันหลักในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 แล้วพบว่ามีหมู่แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่คล้ายคลึงกัน

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต..... นิตา วิสุทธีรังษีอุไร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4772342223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : THERMAL CRACKING/ POLYSTYRENE/ USED VEGETABLE OIL

NISA VISUTTHIRANGSRIURAI : THERMAL CRACKING OF POLYSTYRENE
AND USED VEGETABLE OIL IN A TUBULAR REACTOR. THESIS ADVISOR :
ASSOC.PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D. 112 pp. ISBN 974-14-2586-4

The main objective of this research was aimed to study the thermal cracking of polystyrene and used vegetable oil in a tubular reactor by varied operating condition at reaction temperature range of 350-600 °C, ratio between used vegetable oil and polystyrene of 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 by weight and flow rate of 4.14, 9.04 and 15.49 g/min. The analyzed oil product from Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) was found that the high yield of naphtha from thermal cracking of used vegetable oil was carried out at temperature of 550 °C, flow rate in 9.04 g/min. Selectivity was 41.15% Naphtha, 8.72% Kerosene, 28.26% Light gas oil, 9.92% Heavy gas oil, 11.12% Long residue. Thermal cracking of polystyrene and used vegetable oil, the ratio of used vegetable oil : PS ratio of 60:40 by weight, reaction temperature of 600 °C, flow rate in 9.04 g/min was the optimum condition that gave the highest yields of naphtha. The selectivity of this product was 70.38% Naphtha, 6.26% Kerosene, 14.49% Light gas oil, 3.33% Heavy gas oil, 3.43% Long residue. The analyzed oil product from Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) was found that the product also found an aromatic hydrocarbon in main structure. Comparing the product and benzene (octane 95) the structure was similar.

Department : Chemical Technology

Field of Study : Chemical Technology

Academic Year 2006

Student's Signature : Nisa Visutthirangsriurai

Advisor's Signature : T. Vitidsant

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ธราพงษ์ วิจิตตานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนให้ความคิดเห็น เพื่อปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. ภัทรพรธน์ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุชญา นิติวัดมนานนท์ และ อ.ดร. ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และการใช้ห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันพืช.....	3
2.2 น้ำมันปาล์ม	3
2.3 อุตสาหกรรมที่มีน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสม	4
2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	5
2.5 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	9
2.6 ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม	10
2.7 ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม	11
2.8 สมบัติของไขมัน และน้ำมัน.....	12
2.8.1 สมบัติทางกายภาพ.....	12
2.8.2 สมบัติทางเคมี	19
2.9 การใช้ไขมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทน	22
2.10 พอลิเมอร์.....	22
2.11 พอลิสไตรีน	26
2.12 ตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์.....	30
2.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสพอลิสไตรีน.....	39
2.14 ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน.....	40
2.15 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
3. เครื่องมือ และวิธีการทดลอง.....	49
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์.....	49

บทที่	หน้า
3.2	สารตั้งต้น และสารเคมี 52
3.3	การดำเนินการวิจัย..... 52
3.4	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 54
4.	ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง 56
4.1	การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น..... 56
4.1.1	น้ำมันพืชใช้แล้ว..... 56
4.1.2	องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว..... 56
4.1.3	วิเคราะห์หาค่าความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้ว 59
4.2	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตรักข์ที่ได้จากกระบวนการ การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยในเครื่อง ปฏิกรณ์แบบท่อ 59
4.3	ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตรักข์น้ำมันที่ได้ 61
4.3.1	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบ ผลิตรักข์น้ำมัน..... 61
4.3.2	ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่อการกระจายตัวของ องค์ประกอบผลิตรักข์น้ำมัน..... 64
4.4	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตรักข์ที่ได้จากกระบวนการ การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วด้วย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ 72
4.5	การศึกษาผลภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของ น้ำมันพืชใช้แล้ว และพอลิสไตรีนที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัว ขององค์ประกอบผลิตรักข์น้ำมันที่ได้ ตาม ASTM D2887 เป็นแนฟทา (Naphtha) เคโรซีน (Kerosene) แก๊สออยล์เบา (Light gas oil) แก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil) และกากน้ำมัน (Long residue) 74
4.5.1	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบ ผลิตรักข์น้ำมัน..... 74
4.5.2	ผลของอัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน ที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตรักข์น้ำมัน..... 77

บทที่	หน้า
4.6 วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมัน	85
4.7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง	85
4.8 เปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียง.....	89
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง	93
5.1.1 การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์ แบบท่อ.....	93
5.1.2 การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิไธรีน และน้ำมันพืช ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก	99
ภาคผนวก ข	104
ภาคผนวก ค	108
ภาคผนวก ง.....	110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของประเทศไทย (พินตัน)	3
2.2 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ	13
2.3 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	14
2.4 ความหนืดของไขมัน และน้ำมันบางชนิด	16
2.5 ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ	17
2.6 ความสัมพันธ์ของค่า Smoke point ต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดฝ้าย .	18
2.7 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อค่า Smoke point, Flash point และ Fire point	18
4.1 องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว	57
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว	58
4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer	88
4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	91
ก1 แสดงผลการศึกษากวาระอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	99
ก2 แสดงผลการศึกษ้อัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	100
ก3 แสดงผลการศึกษากวาระอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในการ แตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	101
ก4 แสดงผลการศึกษากวาระอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	102
ก5 แสดงผลการผลิตเนฟทา (กรัมต่อนาที) ของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	103
ก6 แสดงผลการผลิตเนฟทา (กรัมต่อนาที) ของการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ	103

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ..... 8
2.2	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์..... 9
2.3	โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) 23
2.4	โคพอลิเมอร์แบบกราฟ (graft copolymers) 23
2.5	พอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรง (linear polymers)..... 24
2.6	พอลิเอทิลีนที่เป็นแบบสายตรง (linear polyethylene)..... 24
2.7	พอลิเมอร์แบบที่มีกิ่งหรือสาขา (branched polymers) 24
2.8	พอลิเอทิลีนแบบที่มีกิ่งหรือสาขา (branched polymers) 24
2.9	พอลิสไตรีน..... 25
2.10	พอลิเมอร์แบบร่างแห (network polymers) 25
2.11	โครงสร้างของพอลิสไตรีน..... 26
2.12	กระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming Process) 27
2.13	เทคนิคซัสเพนชัน และ blowing agent 28
2.14	การใช้งานพอลิสไตรีน..... 30
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ..... 49
3.2	เตาเผา (Tubular Furnace)..... 50
3.3	ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล 50
3.4	ปั๊ม peristaltic..... 50
3.5	เครื่อง compressor air 50
3.6	เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) 51
3.7	อ่างควบคุมอุณหภูมิ 51
3.8	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 51
3.9	เครื่องบดย่อย..... 52
3.10	เครื่องกวนผสม..... 52
3.11	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) 52
3.12	แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ 53
4.1	การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด 58

รูปที่	หน้า
4.2	
เปรียบเทียบผลของปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450,	
500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 60	
4.3	
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง	
Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500,	
550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14 กรัมต่อนาที 61	
4.4	
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง	
Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500,	
550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที 62	
4.5	
การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง	
Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500,	
550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที 63	
4.6	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 64	
4.7	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 65	
4.8	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 66	
4.9	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 67	
4.10	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 68	
4.11	
ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ	
การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	
อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที 69	

รูปที่	หน้า
4.12 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เนฟทาที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที	70
4.13 เปรียบเทียบการผลิตเนฟทาต่อนาที ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที	71
4.14 เปรียบเทียบผลของปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก	73
4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90:10 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	74
4.16 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 80:20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	75
4.17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 70:30 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	76
4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	77
4.19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	78

รูปที่	หน้า
4.20 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	79
4.21 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	80
4.22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	81
4.23 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	82
4.24 เปรียบเทียบการผลิตเนฟทาต่อนาที ที่อัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	83
4.25 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของปริมาณผลิตภัณฑ์เนฟทาที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 100:0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	84
4.26 FTIR spectrum จากน้ำมันพีซีใช้แล้ว.....	86
4.27 FTIR spectrum จากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที	87
4.28 FTIR spectrum จากน้ำมันเบนซินออกเทน 95.....	87

รูปที่	หน้า
ข1 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันจากเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph	105
ข2 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatograph และการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ	106
ค1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ	108
ค2 ตัวอย่างแสดงค่าการดูดกลืนของแสงจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ.....	109



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย

ในภาวะการณปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลใช้มากถึง 43 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 46.6 ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ในประเทศ ประกอบกับน้ำมันในท้องตลาดมีราคาจำหน่ายที่สูงขึ้น เพื่อหาหนทางในการนำพลังงานอื่น ๆ มาใช้ทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม จึงมีการแปรรูปน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือเชื้อเพลิงสังเคราะห์ การใช้เชื้อเพลิงสังเคราะห์สามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ส่วนหนึ่ง

โดยการบริโภคน้ำมันพืชแบ่งออกเป็น 3 ทางด้วยกัน คือ การใช้บริโภคโดยตรงเป็นน้ำมันปรุงอาหาร ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม และการส่งออก ปัจจุบันความต้องการบริโภคน้ำมันพืชในประเทศสูงกว่าปริมาณการผลิตร้อยละ 30 โดยมีการบริโภคน้ำมันพืชแต่ละชนิดดังนี้ น้ำมันปาล์มร้อยละ 60 น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 17 น้ำมันมะพร้าวร้อยละ 10 น้ำมันละหุ่งร้อยละ 5 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 3 และที่เหลืออีกร้อยละ 5 เป็นการบริโภคน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดปริมาณของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นจำนวนมาก น้ำมันพืชที่ใช้แล้วนั้นจะต้องถูกทิ้งและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือรอกการกำจัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าไม่มีการกำจัดที่ดีจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดนำน้ำมันเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ โดยผสมกับพอลิสไตรีนซึ่งจะมีความแข็ง เปราะแตกได้ง่าย แต่สามารถทำให้เหนียวขึ้นได้ พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติหลอมเหลวเป็นช่วงกว้าง ทำให้ง่ายต่อการหล่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ สามารถเลือกตั้งคุณสมบัติและความดันของเครื่องจักรได้ง่าย เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา (ที่สุด) ราคาประหยัด

งานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะศึกษาถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งเป็นน้ำมันชนิดหนัก (Heavy oil) เปลี่ยนให้เป็นน้ำมันชนิดเบา (Light oil) เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวถูกออกซิไดส์ได้ง่าย น้ำมันจะเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น แต่เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผสมรวมกับพอลิสไตรีน โดยผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่อง จะช่วยลดความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผสมรวมกับพอลิสไตรีนลงได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผสมรวมกับพอลิสไตรีนนั้นง่ายขึ้น ส่งผลให้สามารถแตกตัวเป็นน้ำมันชนิดเบา คือ น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวได้ปริมาณมากขึ้น สำหรับองค์ประกอบที่ต้องการศึกษา

ประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ คือ อัตราส่วนระหว่างพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว อุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำมันพีซีใช้แล้ว

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างพอลิสไตรีนและน้ำมันพีซีใช้แล้ว อุณหภูมิ และอัตราการไหล
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ให้ ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลว และองค์ประกอบที่ดีที่สุดในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว โดยการแตกตัวด้วยความร้อน
2. สามารถลดปริมาณของน้ำมันพีซีใช้แล้วเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และเป็น การเพิ่มมูลค่าของน้ำมันพีซีใช้แล้ว
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในภาคอุตสาหกรรมหรือการ ผลิตในเชิงพาณิชย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันพืช [1]

พืชที่นิยมนำมาใช้ทำน้ำมันพืชได้แก่ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน โดยประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันพืชได้รวมกว่าห้าล้านตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของประเทศไทย (พันตัน) [1]

พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา	รวม
2538/2539	2,255	1,413	386	147	5.7	33.5	4,240
2539/2540	2,688	1,419	359	147	5.6	34.3	4,653
2540/2541	2,681	1,386	338	126	6.0	35.0	4,572
2541/2542	2,465	1,372	321	135	7.0	36.0	4,336
2542/2543	3,514	1,381	39	138	7.0	37.0	5,396
2544/2545	3,256	1,400	312	12	9.0	39.0	5,148
2545/2546	4,089	1,396	261	107	9.0	39.0	5,901

2.2 น้ำมันปาล์ม [2]

ปาล์มนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากจะนำมาทำเครื่องบริโภคแล้ว ยังสามารถดัดแปลงให้เป็นส่วนผสมสำหรับทำเป็นเครื่องอุปโภคได้หลายชนิด ซึ่งส่วนต่างๆจากปาล์มสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ทุกส่วน นับได้ว่าเป็นพืชที่มีคุณค่าอย่างแท้จริง

ความพิเศษของปาล์มเมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันประกอบอาหาร คือ น้ำมันที่ได้นั้นจะไม่มีกลิ่นหรือรสที่ทำให้อาหารเสียรสชาติ จึงนิยมนำมาใช้ประกอบอาหารปรุงสำเร็จทันที เช่น ปาท่องโก๋ ทอดมัน ถั่วทอด ข้าวเกรียบทอด ซึ่งนอกจากนี้ ส่วนอื่นๆของปาล์มก็สามารถทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น กากของเมล็ดในปาล์มเป็นส่วนใหญ่ที่มีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ ทะลายปาล์มเปล่าของปาล์มนั้นนำกลับไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์มหรือเป็นวัสดุการเพาะเห็ดฟางได้ ส่วนน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้วจะยังคงมีธาตุอาหารที่เพียงพอ

สำหรับนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์ม และให้ความชื้นแก่ต้นปาล์มได้ นอกจากนั้นกะลา และไขปาล์มก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานแก่โรงงานได้อีกด้วย

2.3 อุตสาหกรรมที่มีน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อุตสาหกรรมอาหาร และน้ำมันสำหรับบริโภค ได้แก่ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปาล์ม, อุตสาหกรรมผลิตขนมปังสำเร็จรูป, อุตสาหกรรมผลิตนมข้นหวาน, อุตสาหกรรมการผลิตครีมเทียม, อุตสาหกรรมการผลิตเนยขาว, อุตสาหกรรมการผลิตขนม (Biscuit) ขนมอบกรอบ (Fashion Foods or Snacks) และเบเกอรี่

2. อุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตสบู่, อุตสาหกรรมอริโอเคมีคอล ซึ่งอุตสาหกรรมนี้เป็นอุตสาหกรรมการผลิตสารลดแรงตึงผิว ทั้งที่เป็นอาหาร และไม่ใช่อาหาร เช่น สีทาบ้าน และผลิตภัณฑ์จากยาง นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมผลิตสารทดแทนไขมันจากน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมผลิตเมธิลเอสเทอร์ และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น

น้ำมันปาล์มนั้นนอกจากจะมีคุณสมบัติดีเด่นด้านอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการดีเด่นอีกด้วย น้ำมันปาล์มเป็นแหล่งรวมวิตามินอีในปริมาณสูงสุด เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ วิตามินอีประกอบไปด้วยโทโคฟีรอล (Tocopherol), โทโคไตรนอล (Tocotrienol) และอยู่ในรูปของ แอลฟา เบต้า แกมมา และเดลตา ซึ่งโทโคฟีรอลนั้นเป็นสารต้านทานการออกซิไดซ์ตามธรรมชาติ คือ จะทำให้น้ำมันไม่เป็นหินง่าย ช่วยชะลอความแก่ ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ รักษาแผลไฟไหม้ ผ่าตัด แผลงูสวัด และทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดพิษในร่างกาย ความผิดปกติเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ และการแท้งลูก อีกทั้งยังปรากฏว่าน้ำมันปาล์มดิบมีสารเบต้าแคโรทีนเป็นสารที่ช่วยลดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ป้องกันโรคมะเร็งที่เนื้อเยื่ออวัยวะสืบพันธุ์ เนื้อเยื่อได้ผิวหนัง ช่วยยืดอายุความเป็นหนุ่มสาว ป้องกันการแก่เร็ว ช่วยการเจริญเติบโตของกระดูกอ่อน กระดูก และฟัน แต่สารเบต้าแคโรทีนนี้จะถูกกำจัดไปเมื่อน้ำมันผ่านการผลิตขั้นตอนการกลั่นใส

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อปาล์ม ยังประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว ในปริมาณที่เท่ากัน มีกรดไขมันเป็นกรดเดี่ยว (Monounsaturated) คือ กรดโอเลอิกร้อยละ 43 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหมู่ (poly-unsaturated) คือ กรดไลโนลิกร้อยละ 11 เป็นกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย โดยที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือกรดโอเลอิกนั้นสามารถลดโคเลสเตอรอลในเลือดได้ด้วย

2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ [3]

1. การนำส่งทะเลลายปาล์มสด

ควรนำผลปาล์มสดเข้ากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบให้เร็วที่สุด เนื่องจากผลปาล์มสดมีเอนไซม์อยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มในผลปาล์มสดเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA) ซึ่งในน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ ไม่ควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากเกินไป เพราะมีผลต่อคุณภาพ และราคาของน้ำมันปาล์มดิบที่จะขายต่อไป

2. การนึ่งปาล์ม (Sterilization)

การนึ่งผลปาล์มสดในแต่ละครั้ง จะบรรจุผลปาล์มสดในหม้อหนึ่งความดัน (หม้ออบ) โดยการนึ่งจะใช้ไอน้ำโดยมีสภาวะต่างๆดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ	130 -150	องศาเซลเซียส
ความดัน	3	บาร์
ระยะเวลาทั้งหมดในการนึ่ง (ต่อรอบ)	2	ชั่วโมง
ระยะเวลาที่ใช้นึ่ง	65 - 75	นาที

การนึ่งผลปาล์มสดมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ อันจะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน นอกจากนี้การนึ่งผลปาล์มสดยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มซึ่งจะทำให้ผลปาล์มหลุดร่วงจากทะเลลายปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน

ในขั้นตอนการนึ่งจะมีน้ำที่งอกขึ้นในหม้อหนึ่ง ซึ่งเกิดจากไอน้ำกลั่นตัว และไอน้ำของน้ำมันปาล์มปนอยู่ น้ำที่นี้มีสารแขวนลอยปนอยู่น้อยมาก ดังนั้นการสกัดแยกน้ำมัน และน้ำออกจากกันจะทำได้ง่ายขึ้น จึงควรนำน้ำที่งอกจากหม้อหนึ่งไปทำการแยกน้ำมัน และน้ำออกจากกันก่อน ไม่นำน้ำที่นี้ไปรวมกับน้ำที่งอกจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เพราะน้ำที่งอกจากกระบวนการสกัดจะมีสารแขวนลอยปนอยู่สูง ทำให้การแยกน้ำมันออกมาทำได้ยากกว่า แล้วนำน้ำที่ได้จากการแยกนี้กลับไปเข้าเครื่องบีบน้ำมันต่อไป ซึ่งจะช่วยลดการใช้ไอน้ำที่ต้องเติมลงไปที่ขั้นตอนดังกล่าวได้

3. การแยกผลปาล์ม (Bunch Stripping)

ผลปาล์มสดที่หนึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์ม และทะลายปาล์มเปล่าออกจากกัน โดยใช้เครื่อง rotary drum thresher ในอดีตทะลายปาล์มเปล่าจะถูกแยกเก็บแล้วนำไปเผาเพื่อลดปริมาณทะลายปาล์ม แต่ปัจจุบันได้นำมาถนอมดินในสวนปาล์มหรือนำไปเพาะเห็ด

4. การย่อยผลปาล์ม (Digestion)

ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยหรือหม้อกวน (Digesters) ซึ่งมีใบกวนเพื่อกวนผลปาล์มให้ยุ่ย ในหม้อกวนจะใช้อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส และกวนไว้ประมาณ 15 นาที แล้วจึงป้อนไปยังขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป

5. การสกัดน้ำมัน และการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง

ทำการสกัดน้ำมันจากเนื้อปาล์มด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด (Screw Press) ส่วนที่เป็นของแข็ง (Pressed Cake) ซึ่งประกอบด้วยเมล็ด (Nut) และเส้นใย (Fiber) จะถูกแยกออกจากกันโดยใช้ระบบไซโคลนซึ่งเป็นระบบแยกด้วยลม หลังจากนั้นนำเมล็ดปาล์มที่แยกได้ไปเข้าเครื่องกะเทาะ เพื่อให้เมล็ดแตกเป็นเมล็ดใน (Kernel) และกะลา (Shell) แล้วนำเมล็ดในและกะลาไปเข้าระบบแยกด้วยลม และความถ่วงจำเพาะ (Clay Bath) เพื่อแยกเมล็ดใน และกะลาออกจากกัน โรงงานสกัดน้ำมันลัมดิบส่วนใหญ่จะขายเมล็ดในให้โรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดใน (Crude Palm Kernel Oil : CPKO) แล้วนำเส้นใยไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงาน ส่วนกะลาไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำหรือขายให้กับผู้รับซื้อ

6. การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ การกรองกาก และการกำจัดความชื้น

6.1 การกรองน้ำมันดิบ

เป็นการนำน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ไปผ่านตะแกรงสั่น (Vibrating Screen) เพื่อแยกกากเส้นใย และของแข็งขนาดเล็กเช่น เศษทรายออกจากน้ำมันดิบ

6.2 การแยกน้ำมันในถังตกจม

เป็นการแยกน้ำมัน และส่วนปนเปื้อนออกจากกัน (น้ำ และอนุภาคของแข็งที่ยังเหลืออยู่) โดยใช้ถังตกจม (Settling Tank) และให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรงหรืออาจจะให้ความร้อนผ่านท่อปิดก็ได้ การแยกน้ำมันและน้ำออกจากกันจะอาศัยแรงโน้มถ่วงในการแยก โดยน้ำและ

อนุภาคของแข็งจะจมอยู่ด้านล่างของถังตกจม ส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ด้านบนของถังจะนำไปผ่านกรวยดักเก็บ (Skimmer) เพื่อให้บริสุทธิ์ต่อไป เนื่องจากน้ำที่แยกได้จากถังตกจมยังมีน้ำมัน และอนุภาคของแข็งเจือปนอยู่ (เรียกส่วนผสมนี้ว่าน้ำสลัดจ์) จึงต้องนำไปผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก 3 เฟส (Decanter) ซึ่งสามารถแยกเอา น้ำ น้ำมัน และกากของแข็ง (Decanter Cake) ออกจากกันได้ น้ำมันที่ได้จะนำไปรวมกับน้ำมันที่ได้จากถังตกจมแล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์ต่อไป ส่วนน้ำที่ได้จะนำไปแยกน้ำมันอีกครั้ง โดยใช้บ่อซึ่งมีการพ่นไอน้ำผสมลงไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้งให้สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำมันแยกตัวจากน้ำได้ดีขึ้น น้ำมันที่ได้จากบ่อนี้จะนำกลับไปรวมกับน้ำมันที่ได้จากถังตกจมต่อไป ส่วนน้ำที่เหลืออยู่ในบ่อจะส่งไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

6.3 การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการแยกจะยังมีความชื้น และสิ่งเจือปนต่างๆอยู่ จึงต้องนำน้ำมันปาล์มดิบนี้ผ่านเข้าเครื่องทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Purifier) เพื่อเหวี่ยงแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

6.4 การกำจัดความชื้น

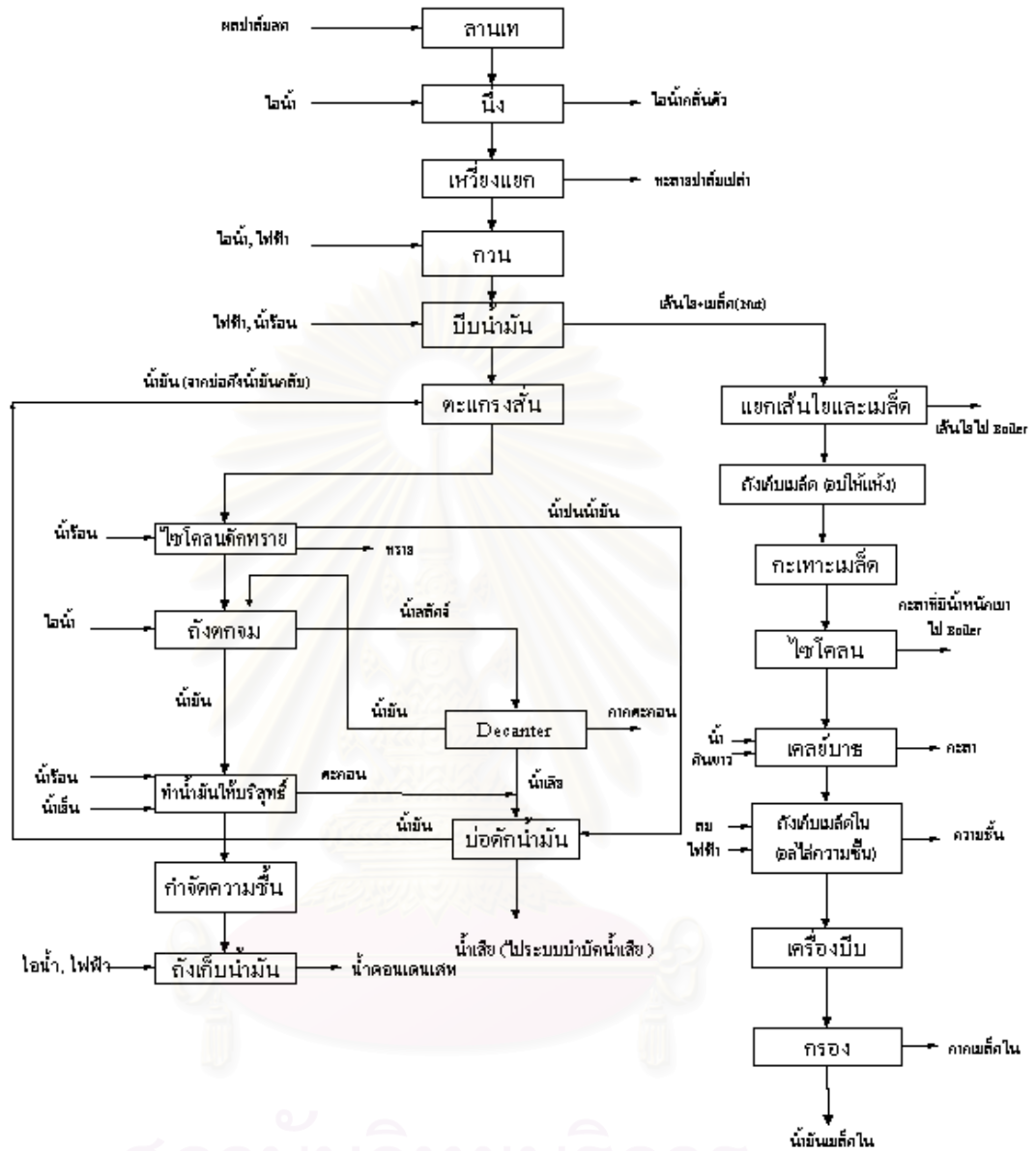
น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ยังคงมีน้ำเจือปนอยู่เล็กน้อย การกำจัดน้ำออกทำได้โดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum) โดยจะควบคุมค่าความชื้น และสิ่งสกปรกในน้ำมันปาล์มดิบให้มีค่ารวมกันไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะนำไปเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อส่งขายไปยังโรงกลั่นน้ำมันพืชต่อไป

7. การบีบน้ำมันเมล็ดใน

เป็นการนำเมล็ดที่ได้จากการกะเทาะไปทำการบีบเอาน้ำมันเมล็ดในออกมา โดยจะมีกากเมล็ดในเกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนเมล็ดในที่ได้จะนำไปขายต่อ ซึ่งราคาของน้ำมันเมล็ดในจะมีราคาสูงกว่าราคาของน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ



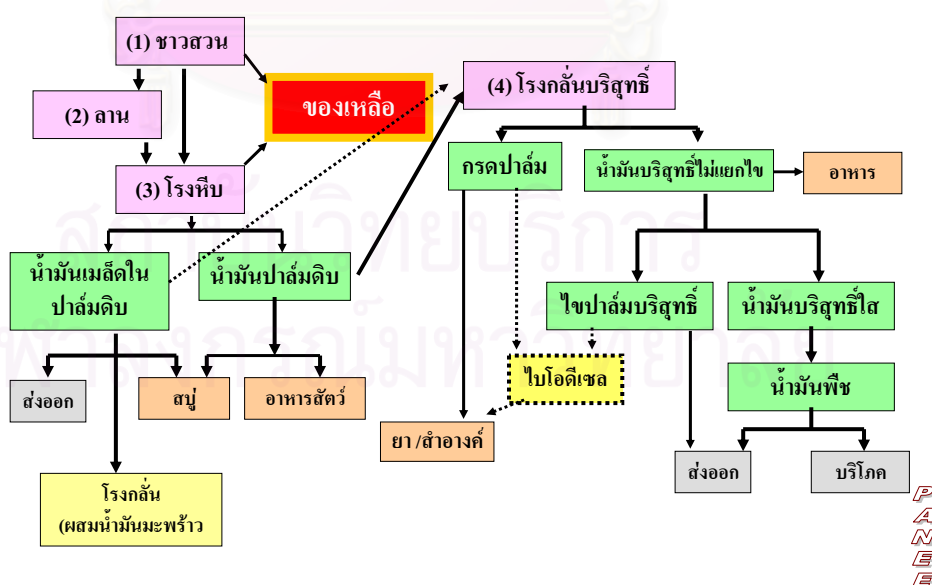
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ [3]

2.5 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [4]

1. การรับซื้อผลปาล์มจากชาวสวนจะมีการควบคุมให้นำผลปาล์มเข้าสู่โรงงานไม่เกิน 2 วัน เนื่องจากผลปาล์มสดมีเอนไซม์อยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำมันปาล์มในผลปาล์มสดเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระมากเกินไป
2. นำผลปาล์มเข้าสู่ลานเทเพื่อทำการแยกผลปาล์มสดออกจากทะลายปาล์มโดยใช้เครื่องฉีกทะลาย
3. นำผลปาล์มเข้าสู่โรงหีบ ทำการบีบน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน จะได้น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มดิบ
4. นำส่วนของน้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการกลั่น Lecithin เพื่อแยก lecithin จากนั้นนำน้ำมันมาทำให้เป็นกลาง แยกไขมันออก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดปาล์ม และน้ำมันบริสุทธิ์ไม่แยกไข
5. นำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่แยกไขมาทำการแยกได้ผลิตภัณฑ์เป็นไขปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันบริสุทธิ์ เติมไฮโดรเจน ฟอกสี และกำจัดกลิ่น จากนั้นนำน้ำมันพืชที่ได้เข้าสู่กระบวนการบรรจุใส่ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ตัวอย่างวิถีตลาดปาล์มน้ำมันไทย



รูปที่ 2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [4]

2.6 ผลิตรภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม [5]

1. CPI (Crude Palm Oil) : น้ำมันปาล์มดิบเป็นผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh Fruit Bunch)

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะเป็นน้ำมันขุ่นมีสีส้มขุ่น ฅ คุณหมุมิปกติ เมื่อบุ่นด้วยควมร้อนน้ำมันจะใส และมีสีส้มอมแดง

การนำไปใช้ : ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้ผลิตรภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

2. KO (Crude Palm Kernel Oil) : น้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel)

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะเป็นน้ำมันขุ่นมีสีเหลืองขุ่น ฅ คุณหมุมิปกติ เมื่อบุ่นด้วยควมร้อนน้ำมันจะใส และมีสีเหลืองอมส้ม

การนำไปใช้ : ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เพื่อให้ได้ผลิตรภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

3. RKO (Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil) : น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์เป็นผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (CPO) เพื่อให้ได้น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะเป็นน้ำมันใสมีสีเหลืองอ่อน ฅ คุณหมุมิปกติ และไม่มีสิ่งเจือปน

การนำไปใช้ : ใช้เป็นวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ครีมเทียม ไอศกรีม

4. RPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil) : น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะเป็นน้ำมันขุ่นมีสีเหลืองขุ่น ฅ คุณหมุมิปกติ เมื่อบุ่นด้วยควมร้อนน้ำมันจะใส และมีสีเหลืองอ่อน

การนำไปใช้ : ใช้สำหรับการทอดในอุตสาหกรรมอาหารเช่น อุตสาหกรรมผลิตบะหมี่ ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น เนยเทียม ครีมเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน และจัด Margarine, Shortening, Vanaspati

5. ROL (Refined Bleached Deodorized Palm Olein) : น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) โดยการแยกส่วนที่เป็นไขปาล์ม (Palm Stearin) ออก เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ชนิดใส

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะเป็นน้ำมันใสมีสีเหลือง และไม่มีสิ่งเจือปน

การนำไปใช้ : ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป เป็นต้น, ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตครีมฉาบหน้าลูกกวาดหรืออาหารอื่นๆในอุตสาหกรรมการทำขนม และอาหาร, ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิต เนยเทียม, ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต Palm mid-fraction, ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำบะหมี่

2.7 ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

1. RHST (RBD Palm Stearin) : ไขปาล์มบริสุทธิ์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO)

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะกึ่งของแข็งสีขาว และจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เมื่ออุ่นด้วยความร้อน

การนำไปใช้ : เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม (Margarine), เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิต Shortening, เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ , เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตครีมฉาบหน้าขนม (Confectionery Fat)

2. PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) : กรดไขมันปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO)

ลักษณะปรากฏ : มีลักษณะกึ่งของแข็งสีขาว และจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เมื่ออุ่นด้วยความร้อน

การนำไปใช้ : เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่, เป็นวัตถุดิบในการผลิตวิตามิน E, ใช้ในอุตสาหกรรม Oleochemicals

3. KM (Kernel Meal) : กากเมล็ดในปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดในปาล์ม (Kernel) แล้ว

ลักษณะปรากฏ : เป็นเกล็ดละเอียด มีสีน้ำตาลอ่อน

การนำไปใช้ : ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์ใหญ่ เช่น โค กระบือ เป็นต้น

2.8 สมบัติของไขมัน และน้ำมัน [6]

2.8.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นไขมัน และน้ำมันนั้นๆ ได้แก่

1. จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลวจนหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นช่วงกว้างหรือแคบ ขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมัน และน้ำมันจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เมื่อนำไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ ไขมันจะค่อยๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก จุดหลอมเหลวของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ [6]

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด(°C)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		
กรดบิวทีริก	-5.3	164
กรดคาโปรอิก	-3.2	206
กรดคาไพโรลิก	16.5	240
กรดคาพริก	31.6	271
กรดลอริก	44.8	130
กรดไมริสติก	54.4	149
กรดปาล์มิติก	62.9	67
กรดสเตียริก	70.1	184
กรดอะราคิติก	76.1	204
กรดบีฮีนิก	79.9	-
กรดลิกโนเซริก	84.2	-
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.5	
กรดโอเลอิก	16.3	
กรดอีรูซิก	33.7	
กรดลิโนเลอิก	-5.0	
กรดลิโนเลนิก	-11.0	
กรดอะราคิโดนิก	-49.5	

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [6]

ชนิดของไขมัน และน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	T _{iter} (°C)	ความถ่วงจำเพาะ (°C)	การหักเหของแสง (°C)
ไขแกะ	44 – 51	43 – 48	0.857 – 0.860	1.454 – 1.458
ไขวัว	40 – 48	40 – 47	0.860 – 0.870	1.454 – 1.458
เนย	28 – 36	33 – 38	0.865 – 0.870	1.453 – 1.456
โคคาบัตเตอร์	28 – 36	45 – 50	0.990 – 0.998	1.45 – 1.458
น้ำมันมะพร้าว	23 - 28	20 – 24	0.917 – 0.919	1.448 – 1.450
น้ำมันข้าวโพด	-10 ถึง -12	14 – 20	0.922 – 0.926	1.470 – 1.474
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-2 ถึง +2	31 – 37	0.916 – 0.98	1.463 – 1.470
น้ำมันหมู	33 – 46	34 – 42	0.858 – 0.864	1.459 – 1.461
น้ำมันลินสีด	-16 ถึง -25	19 – 21	0.931 – 0.938	1.477 – 1.482
น้ำมันมะกอก	-3 ถึง 0	17 – 26	0.909 – 0.915	1.466 – 1.468
น้ำมันปาล์มเคอเนล	24 - 28	20 – 28	0.860 – 0.873	1.449 – 1.452
น้ำมันปาล์ม	27 – 50	40 – 47	0.921 – 0.925	1.453 – 1.456
น้ำมันถั่วลิสง	-2	26 – 32	0.917 – 0.921	1.467 – 1.470
น้ำมันงา	-4 ถึง 0	20 – 25	0.920 – 0.926	1.470 – 1.474
น้ำมันถั่วเหลือง	-20 ถึง -23	20 – 21	0.924 – 0.928	1.474 – 1.476
น้ำมันเมล็ด ทานตะวัน	-16 ถึง -18	16 – 20	0.922 – 0.926	1.472 – 1.474
น้ำมันปลาวาฬ	-	22 – 24	0.917 – 0.927	1.470 – 1.477

2. จุดแข็งตัว (Solidifying point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งเรียกว่า เกิด solidification และเรียกจุดนี้ว่า solidifying point อุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 - 3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายชนิดผสมกัน จุดแข็งตัวจะเป็นช่วงกว้าง เมื่อนำไขมันหรือน้ำมันมาทำการไฮโดรไลซิสด้วยด่างจนได้เป็นกรดไขมัน เมื่อปล่อยให้เย็นลง อุณหภูมิที่กรดไขมันเริ่มแข็งตัวเป็นผลึกเรียกว่า T_{iter} ไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดมี T_{iter} แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

3. การละลาย (Solubility) ไขมัน และน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม อะซิโตน เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไซโคลเฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ พวกที่เป็น unsymmetrical mixed triglycerides ละลายได้ดีกว่าพวกที่เป็น symmetrical triglycerides

การละลายของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้การละลายของกรดไขมันในตัวทำละลายชนิดไฮโดรโฟบิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อโมเลกุลของกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่การละลายของกรดไขมันจะลดลงในตัวทำละลายชนิดไฮโดรฟิลิก

4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของไขมันหรือน้ำมัน นิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็ง และมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

5. การหักเหของแสง (Refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะเล หรือน้ำมันตัวอย่าง จะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่ง และตรวจชนิดคุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมัน และน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสง นิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะทำให้

ไขมัน และน้ำมันมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้จำนวนของพันธะคู่ และจะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

นอกจากนั้นค่าการหักเหของแสง ยังใช้ติดตามปฏิกิริยาในกระบวนการเติมไฮโดรเจนว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ค่าการหักเหของแสงวัดได้โดยใช้เครื่องมือ Refractometer เช่น Abbe Refractometer ค่าการหักเหของแสงของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

6. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของไขมัน และน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมัน และน้ำมัน ความหนืดของไขมัน และน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความหนืดของไขมัน และน้ำมันบางชนิด [6]

ชนิดของน้ำมัน	ความหนืด (เซนติพอยส์) ที่อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	38	50	99	100
น้ำมันหมู	44	25	9	-
ไขวัว	-	34	-	10
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	36	-	8	-
น้ำมันถั่วเหลือง	29	-	8	-
น้ำมันมะพร้าว	30	-	6	-
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	33	-	8	-

7. Smoke point, Flash point และ Fire point

Smoke point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น

Flash point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดติดไฟ

Fire point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

Smoke point หรือจุดที่เป็นควันของไขมัน และน้ำมันเป็นสมบัติที่สำคัญของไขมัน และน้ำมันในการจะนำไปใช้ทอดอาหาร น้ำมันหรือไขมันสำหรับใช้ทอดอาหารที่ดีต้องทนความร้อนไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดควันขณะทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย จุดที่เป็นควันของน้ำมัน และไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน เวลาที่ใช้ทอด ผิวหน้าของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสผิวถูกอากาศขณะทอด และเศษผงหรือสารอื่นๆ ที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ [6]

ชนิดของน้ำมัน	Smoke point		Flash point		Fire point	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
น้ำมันละหุ่ง (refined)	392	200	568	298	635	335
น้ำมันละหุ่ง (dehydrated)	348	176	570	299	638	337
น้ำมันข้าวโพด (crude)	352	178	562	294	655	346
น้ำมันข้าวโพด (refined)	440	227	618	26	678	359
น้ำมันลินสีด (raw)	325	163	540	287	667	353
น้ำมันลินสีด (refined)	320	160	588	309	680	360
น้ำมันมะกอก (virgin)	391	199	610	321	682	361
น้ำมันถั่วเหลือง (expeller, crude)	357	181	564	296	664	351
น้ำมันถั่วเหลือง (extract, crude)	410	210	603	317	670	354
น้ำมันถั่วเหลือง (refined)	492	256	618	326	673	356

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน มีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้ ค่า Smoke point สูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่า Smoke point จะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.6 รวมทั้งค่า Flash point และ Fire point ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของค่า Smoke point ต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดฝ้าย [6]

กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	Smoke point (องศาฟาเรนไฮต์)
0.01	450
1.00	320
10.00	260
100.00	200

ตารางที่ 2.7 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อค่า Smoke point, Flash point และ Fire point [6]

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	Smoke point (องศาฟาเรนไฮต์)	Flash point (องศาฟาเรนไฮต์)	Fire point (องศาฟาเรนไฮต์)
0.04	425	620	690
1.00	320	585	680

8. สี (Colour) สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม หากรงควัตถุตามธรรมชาติของน้ำมันเป็นสารแคโรทีน ไม่ควรกำจัดออกเพราะจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับน้ำมัน

9. การเกิดผลึกของไขมัน ไขมันต่างจากน้ำมัน คือ ไขมันเป็นของแข็ง และน้ำมันเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องไขมันที่เป็นของแข็งจะมีลักษณะเป็นผลึก ขนาด และจำนวนผลึกที่เกิดขึ้น

จะผันแปรตามชนิดของไขมัน และอุณหภูมิขณะเกิดผลึก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลึกจะอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 ไมโครเมตร บางครั้งผลึกอาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 50 – 100 ไมโครเมตร ทำให้มองเห็นเป็นเม็ดๆ เมื่อดูด้วยตาเปล่าหรือสัมผัสได้ด้วยลิ้น การเกิดผลึกของไขมันเป็นแบบตาข่าย 3 มิติ (three-dimensional network) จำนวน และขนาดของผลึกจะเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกายภาพด้วยเช่น มีผลต่อความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของไขมัน รวมทั้งความแข็งแรงของโครงสร้างแบบตาข่าย ผลึกของไขมันจะเกาะตัวกันด้วย van der waals attractive forces ซึ่งเป็นพันธะที่มีแรงยึดเพียงเล็กน้อย (weak bond) ดังนั้นระหว่างการนวดแป้งที่มีไขมันผสมอยู่ด้วย พันธะระหว่างผลึกของไขมันจะแยกออกจากกันได้ง่าย พันธะบางส่วนอาจจะกลับมาจับกันใหม่ได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของผลึกที่เป็นแบบตาข่ายในผลิตภัณฑ์จะถูกทำลายไปบางส่วนเรียกว่า Thixotropic โครงสร้างแบบตาข่ายของผลึกไขมันสังเกตได้โดยใช้กล้องไมโครสโคปชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscopy)

2.8.2 สมบัติทางเคมี

1. การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ไขมัน และน้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ต่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซิสด้วยด่างเรียกว่า saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ลิพิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่างเรียกว่า saponifiable matter เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด และซีผึ้ง ส่วนลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า unsaponifiable matter หรือ non-saponifiable matter เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล ปฏิกริยาการไฮโดรไลซิสลิพิดชนิดต่างๆ ด้วยด่างสรุปได้ดังนี้



ไขมัน และน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิดมักมีไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันจำนวนหนึ่ง

จะมีค่าแน่นอน และเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดได้เรียกค่านี้ว่า Saponification Number (S.N.) หรือ Saponification Value (S.V.)

Saponification Number คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่หรือกลีเซอรอล ค่า S.N. ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกันถ้าค่า S.N. ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสน้อย

2. ฮาโลจิเนชัน (Halogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิพิด ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวชี้บ่งปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า Iodine Number (I.N.) หรือ Iodine Value (I.V.)

Iodine Number คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม

ค่า I.N. สูง เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า I.N. สูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมาก และจะเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย

น้ำมันที่มีค่า I.N. สูง ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมากนั้น จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงด้วย เพราะน้ำมันที่มีค่า I.N. สูงจะมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย

3. ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมัน และน้ำมัน โดยใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่ง อาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่า hardening

การทำไฮโดรจิเนชันจะทำให้ไขมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนเป็นของแข็ง และมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ระหว่างกระบวนการทำไฮโดรจิเนชันบางส่วนของกรดไขมัน

ชนิดไม่อิ่มตัวที่อยู่ในรูป ซีสไอโซเมอร์ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป ทรานส์ไอโซเมอร์ ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และความดันโลหิตสูง

4. การหืน (Rancidity) การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน และน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติ สมบัติทางเคมี และทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

4.1 Lipolysis เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ด่าง และความชื้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆก็ตาม การเกิดลิพอไลซิสจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นขณะทอดอาหารที่มีน้ำหรือมีความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิพอไลซิส ยังมีผลทำให้อุณหภูมิที่เกิดควัน และแรงตึงผิวของน้ำมันลดต่ำลงด้วย น้ำมันจะเกิดควันได้ง่ายขณะทอดอาหาร

4.2 การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidation rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเดชันในอากาศ เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมัน และน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่น และรสชาติผิดปกติ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมัน และน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมัน และน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะเช่น ทองแดง และตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อน และแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

4.3 Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน

5. Reichert Meissl Number (R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4-6 อะตอม คือ กรดบิวทีริก และกรดคาโปรอิก ตามลำดับ

6. Polenske Number (P.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และไม่ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 8-14 อะตอม ได้แก่ กรดคาพริลิก คาพริลลิก และไมริสติก ตามลำดับ

2.9 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทน [7]

1. การใช้น้ำมันพืชโดยตรง
2. การใช้น้ำมันพืชโดยปรับปรุงคุณภาพ
 - การเจือจางน้ำมันพืช
 - การทำเป็นของผสมไมโครอิมัลชัน
 - การแตกตัวของน้ำมันพืชด้วยความร้อน
 - การแตกตัวของสบู่ของน้ำมันพืชด้วยความร้อน

2.10 พอลิเมอร์ [8]

การจัดแบ่งประเภทของพอลิเมอร์นั้นจัดได้หลายแบบอย่าง ขึ้นอยู่กับว่าพิจารณาอะไรเป็นหลัก อาจพิจารณารายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. แบ่งตามลักษณะการจัดตัวของมอนอเมอร์ ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1 โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymers) พวกนี้ในสายโซ่โพลิเมอร์ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันเช่น ถ้ามอนอเมอร์เป็นสาย A สายโซ่โพลิเมอร์จะเป็น -A-A-A-A- ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน ในสายโซ่โพลิเมอร์จะประกอบด้วยเอทิลีนชนิดเดียวหรือพอลิสไตรีนก็ประกอบด้วยมอนอเมอร์สไตรีนชนิดเดียว

1.2 โคพอลิเมอร์ (copolymers) ในสายโซ่โพลิเมอร์ประกอบด้วย มอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเช่น โคพอลิเมอร์สไตรีน-บิวทีน โคพอลิเมอร์อะคริโลไนไตรล์-บิวทีน เป็นต้น โคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 3 ชนิด เช่น ABS (acrylo-nitrile-butadiene-styrene)

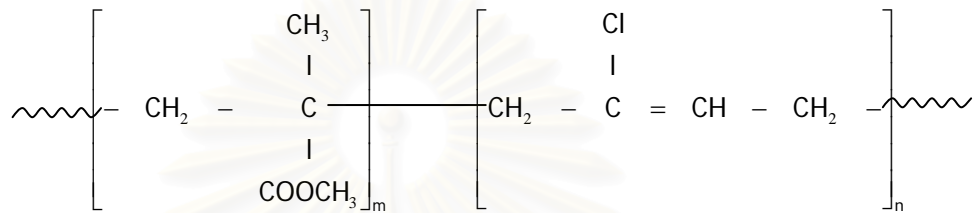
2. แบ่งตามลักษณะการเรียงตัวของมอนอเมอร์ คือ

2.1 โคพอลิเมอร์แบบสลับ (alternating copolymers) ถ้าพิจารณาในกรณีที่มีมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B ในสายโซ่โพลิเมอร์จะประกอบด้วย A และ B สลับกันไปอย่างเป็นระเบียบ คือ ~~-A-B-A-B-A-B-A-B-~~

2.2 โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (random copolymers) ในสายโซ่โพลิเมอร์จะพบมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดเช่น A และ B อยู่ปะปนกันอย่างไม่เป็นระบบเช่น ~~-ABAABABBAAB-~~

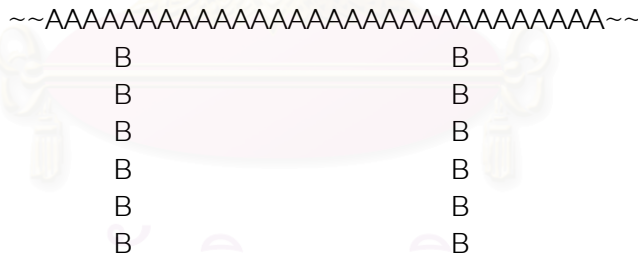
จะเห็นได้ว่าอาจพบ A 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยก็ได้ไม่แน่นอน B ก็เช่นกันอาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยหรือมากกว่าก็ได้

2.3 โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) โคพอลิเมอร์พวกนี้จะประกอบด้วยมอนอเมอร์ 2 ชนิด แต่ละชนิดจะพบว่าอยู่กันเป็นกลุ่มๆในสายโซ่พอลิเมอร์ ลักษณะเป็น ~AAAAAABBBBBBAAAAAABBBBBB~ ตัวอย่างเช่น โคพอลิเมอร์ระหว่าง เมทิลเมทาไครเลตกับคลอโรพรีน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) [8]

2.4 โคพอลิเมอร์แบบกราฟ (graft copolymers) มีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งแยกจากสายโซ่หลัก แต่ละหน่วยของโมโนเมอร์ในสายโซ่หลักจะมีชนิดเดียว เช่น A ก็เป็น A ตลอด และมีหน่วยของมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งเช่น B แยกเป็นกิ่งออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.4



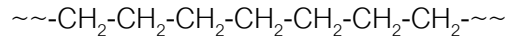
รูปที่ 2.4 โคพอลิเมอร์แบบกราฟ (graft copolymers) [8]

3. แบ่งตามชนิดของโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

3.1 พอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรง (linear polymers) พอลิเมอร์ชนิดนี้จะมีสายโซ่โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นยาวๆ ไม่มีกิ่งหรือสาขาแยกออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนที่เป็นแบบสายตรง (linear polyethylene) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

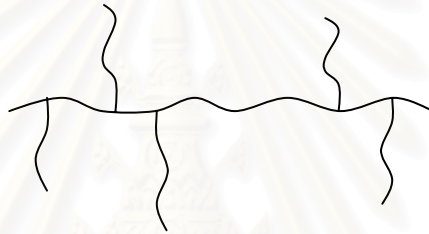
~~AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA~

รูปที่ 2.5 พอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรง (linear polymers) [8]

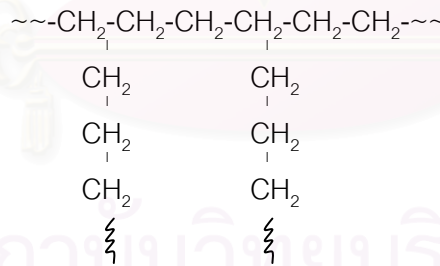


รูปที่ 2.6 พอลิเอทิลีนที่เป็นแบบสายตรง (linear polyethylene) [8]

3.2 พอลิเมอร์แบบที่มีกิ่งหรือสาขา (branched polymers) กลุ่มนี้สายโซ่โมเลกุลจะมีกิ่งก้านสาขาแยกออกไปจากสายโซ่หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8

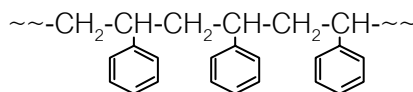


รูปที่ 2.7 พอลิเมอร์แบบที่มีกิ่งหรือสาขา (branched polymers) [8]



รูปที่ 2.8 พอลิเอทิลีนแบบที่มีกิ่งหรือสาขา (branched polymers) [8]

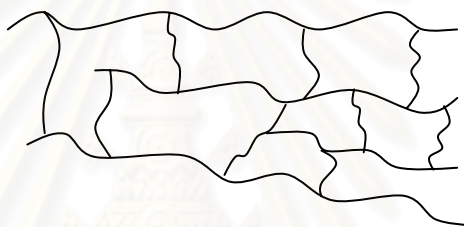
กรณีนี้ คือ พอลิเอทิลีนที่มีกิ่งก้านสาขาแยกออกจากสายโซ่หลัก สังเกตให้ดีว่ากิ่งที่แยกออกจากสายโซ่หลักนั้น ต้องเป็นหน่วยที่ซ้ำๆกันหรือหน่วยของมอนอเมอร์ แต่ถ้ากิ่งที่เกาะอยู่เป็นส่วนประกอบของมอนอเมอร์ กรณีเช่นนี้ไม่ถือเป็นกิ่ง เช่น พอลิสไตรีน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พอลิสไตรีน [8]

จะเห็นได้ว่าทั้งหมู่ฟีนิล และหมู่เมทิล เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของมอนอเมอร์ คือ โมเลกุล สไตรีน และโมเลกุลโพรพิลีน กรณีที่เห็นนี้ถือว่าเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง

3.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห (network polymers) พอลิเมอร์กลุ่มนี้จะมีสายโซ่ โมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นแบบร่างแห อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง (crosslinked polymers) ก็ได้ มีลักษณะคล้ายตาข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 พอลิเมอร์แบบร่างแห (network polymers) [8]

4. แบ่งตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน (functional group) พิจารณาจากหมู่ฟังก์ชันว่าเป็น พวกไหน เช่น มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเอสเทอร์ ก็จัดเป็นพวกพอลิเอสเทอร์ ถ้าเป็นพวกโพลีฟีน ก็จัดเป็น กลุ่มพอลิโพลีฟีน (polyolefins) เป็นต้น ซึ่งจะมีกลุ่มต่างๆมากมายหลายกลุ่ม เช่น พอลิเอไมด์ พอลิอีเธอร์ พอลิยูรีเทน อีพอกซี พอลิเมอร์อะโครลิก ฯลฯ เป็นต้น

5. แบ่งตามลักษณะสมบัติทางกายภาพ (physical properties)

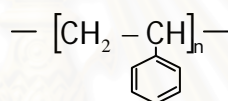
5.1 เทอร์มอเซตติงพลาสติก (thermosetting plastic) เป็นพลาสติกชนิดที่จะ แข็งตัวคงรูปอยู่ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นโดยอาศัยความร้อน และความ กดดัน ภายหลังปฏิกิริยาเคมีมันก็จะแข็งตัว และจะไม่สามารถเปลี่ยนรูปของมันโดยไม่เปลี่ยน คุณสมบัติของมันได้กล่าวคือ เมื่อได้รับความร้อนมาก ๆ มันจะสลายตัวเสียรูปไป เช่น พอลิเมทิล เมธาไครเลต

5.2 เทอร์มอพลาสติกพลาสติก (thermoplastic plastic) เป็นพลาสติกที่ แข็งตัวโดยไม่อาศัยปฏิกิริยาทางเคมี แต่อาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ เมื่อทำพลาสติกชนิดนี้ให้ ร้อนขึ้นแล้วเทลงในแก้วหรือแบบมันก็จะเปลี่ยนรูปร่างไปตามแบบนั้น และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวคง

รูปอยู่ได้ และเมื่อเป็นรูปแล้วเราสามารถที่จะหลอม และเปลี่ยนรูปเป็นอย่างอื่นได้อีก เพราะคุณสมบัติทางเคมีของมันยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เช่น อีพอกซี โพลียูรีเทน พอลิสไตรีน

2.11 พอลิสไตรีน [9]

พอลิสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่เป็นพอลิเมอร์จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน และกลับสู่สภาพเดิมเมื่อเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง พอลิสไตรีนมีลักษณะเป็นของแข็งโดยมีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 1.05 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความทนแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 8000 psi (55 Mpa) จุดเริ่มอ่อนตัว (Vicat softening point) ประมาณ 108 องศาเซลเซียส มวลโมเลกุลเฉลี่ย (M_w) อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 300,000 โดยสมบัติทางกายภาพขึ้นกับมวลโมเลกุล การแจกแจงของมวลโมเลกุล (molecular weight distribution) และการเติมสารเติมแต่ง สูตรโครงสร้างของพอลิสไตรีนดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของพอลิสไตรีน [9]

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีราคา เนื่องจากคุณสมบัติเด่นหลายอย่างเช่น เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ราคาถูก ผสมได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำ โปร่งใส ทำแบบต่างๆง่าย จึงเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมสูง มีปริมาณการใช้งานมากชนิดหนึ่ง [10]

พอลิสไตรีน จัดเป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้ติด 4 ลำดับแรกของพลาสติกที่มีปริมาณการใช้สูงสุด การใช้พอลิสไตรีนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ พอลิสไตรีนใช้งานทั่วไป (general purpose polystyrene, GPS) พอลิสไตรีนโฟม (expandable polystyrene, EPS) และ พอลิสไตรีนทนแรงกระแทก (high impact polystyrene, HIPS) [11]

1. General Purpose Polystyrene (GPS)

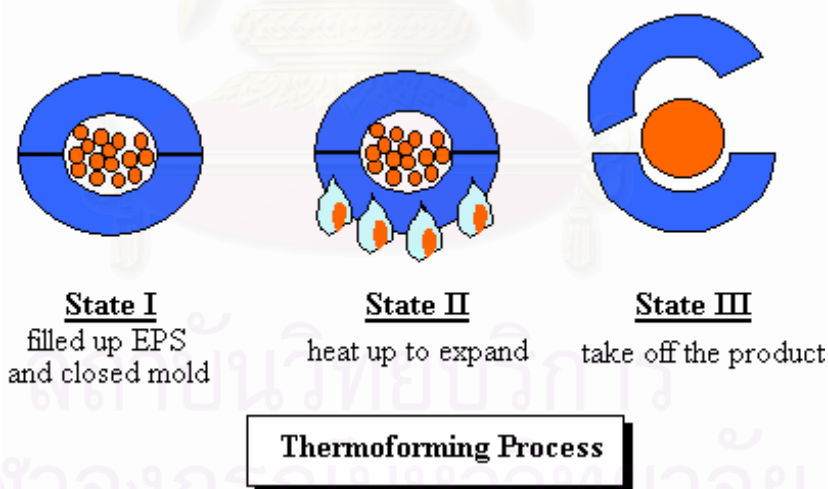
พอลิสไตรีนกลุ่มนี้เมื่อนำไปแปรรูปทำเป็นชิ้นงานได้ชิ้นงานที่มีความใส มีความแข็งแต่เปราะ การใช้พอลิสไตรีนกลุ่มนี้มิได้หลายหลากลักษณะ เช่น บรรจุภัณฑ์ แผ่นพลาสติกใส พอลิสไตรีน กลุ่มนี้สามารถนำไปแปรรูปด้วยวิธีการแปรรูปได้หลายหลากลักษณะตั้งแต่การเทหล่อ

จนกระทั่งการฉีดขึ้นรูป นอกจากนี้โฟลิสไตรีนยังนิยมใช้เป็นสารมาตรฐาน (นิยมทำเป็นแผ่นฟิล์มใสบาง) เพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวิเคราะห์ชนิด infra-red

2. Expandable Polystyrene (EPS)

โฟลิสไตรีนกลุ่มนี้ ผลิตขึ้นเพื่อการขนส่งโดยหลักใหญ่ ได้แก่ วัสดุกันสะเทือนต่างๆ ทั้งที่เป็นชิ้นงานเล็กๆเพื่อการปกคลุมสิ่งของเพื่อทำหน้าที่กันสะเทือนตลอดจนทำเป็นชิ้นงานเพื่อบรรจุภัณฑ์กันสะเทือนเพื่อการขนส่งโดยตรง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพื่อการใช้งานในลักษณะอื่นๆด้วยที่สำคัญ คือ ภาชนะกันความร้อนหรือเก็บความร้อน (เช่น แก้วใสเครื่องดื่มชนิดทนร้อน ใช้เป็นวัสดุกันความร้อนของกระติกเก็บน้ำร้อน เป็นต้น) หรือเป็นวัสดุกันเสียง โดยวางแทรกอยู่ระหว่างฝาหรือผนังของตึก อาคารหรือห้องพัก

ลักษณะของโฟลิสไตรีนกลุ่มนี้ เมื่อทำเป็นชิ้นงานจะได้ชิ้นงานที่มีความทึบตัวสูง มีน้ำหนักเบามาก แต่มีความแข็งแรงเหนียวพอประมาณ ชิ้นงานของโฟลิสไตรีนกลุ่มนี้มีลักษณะเป็นเม็ดโฟลิสไตรีนเชื่อมติดกันดูเสมือนกับเป็นเนื้อเดียวกัน การแปรรูปชิ้นงานของโพลิเมอร์กลุ่มนี้ นิยมใช้การแปรรูปด้วยเทคนิคขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) ในแบบพิมพ์ที่ไม่มีควมซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

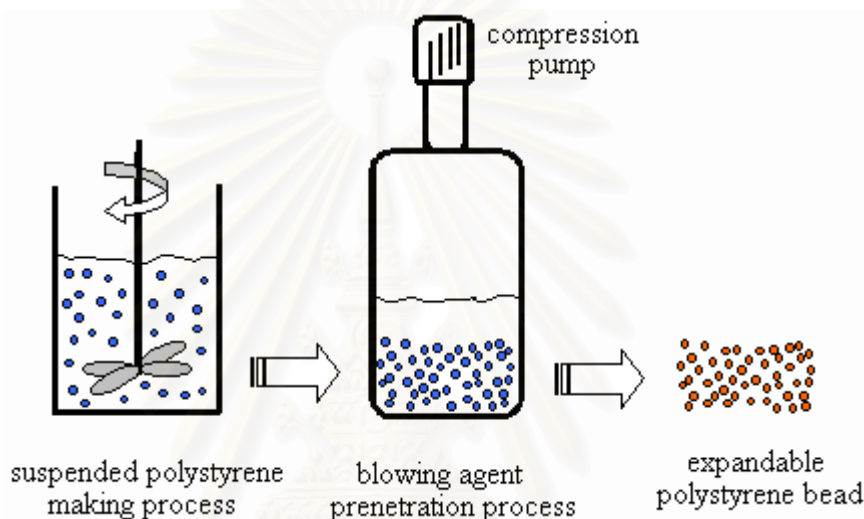


รูปที่ 2.12 กระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming Process) [11]

การเตรียมโฟลิสไตรีนที่สามารถขยายตัวได้

การทำให้โฟลิสไตรีนกลุ่มนี้มีความสามารถในการขยายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน นิยมใช้ blowing agent เป็นตัวทำให้เกิดการขยายตัวของโฟลิสไตรีน

ในทางปฏิบัติ พอลิสไตรีนที่สังเคราะห์ในเบื้องต้นยังไม่สามารถทำให้เกิดการขยายตัวได้ แต่อย่างไร ความสามารถในการขยายตัวจะได้จากการผสม blowing agent เพื่อเตรียมเป็นพอลิสไตรีน คอมเปาเวต การผสม blowing agent ในพอลิสไตรีนเพื่อจะได้พอลิสไตรีนที่สามารถขยายตัวได้นั้นจะขึ้นกับลักษณะของพอลิสไตรีนและชนิดของ blowing agent ที่ใช้ตัวอย่างเช่น พอลิสไตรีนเตรียมจากเทคนิคซัสเพนชัน และ blowing agent ชนิดสารอินทรีย์จุดเดือดต่ำ เช่น pentane ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เทคนิคซัสเพนชัน และ blowing agent [11]

ความสามารถในการขยายตัวของ expandable polystyrene ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประสิทธิภาพของการแทรกซึมของ blowing agent เข้าสู่เม็ดพอลิสไตรีน ปริมาณ blowing agent ที่ฝังตัวอยู่ในเม็ดพอลิสไตรีน การแพร่ออกของ blowing agent ระหว่างการเก็บรักษาก่อนใช้ เป็นต้น ในการปฏิบัติจริงอาจมีการทำให้พอลิสไตรีนมีการขยายตัวขึ้นเริ่มต้น เพื่อได้เม็ดพอลิสไตรีนที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพื่อเหตุผลบางประการเช่น ได้เม็ดพอลิสไตรีนที่มีขนาดสอดคล้องตามน้ำหนักเบาขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาตรหรือขนาดของเม็ดพอลิสไตรีน ฯลฯ

พอลิสไตรีนขยายตัวได้อีกลักษณะหนึ่ง คือ พอลิสไตรีนที่ผสม blowing agent ด้วยเครื่องผสมพอลิเมอร์คอมเปาเวตเช่น extruder พอลิสไตรีนขยายตัวลักษณะนี้จะแตกต่างจากพอลิสไตรีนลักษณะซัสเพนชัน เพราะจะได้ชิ้นงานที่มีความแน่นของเนื้อโฟมที่สูงกว่า และละเอียดกว่า และยังสามารรถฉีดพอลิสไตรีนโฟมบรรจุในช่องว่างแคบๆได้

3. High Impact Polystyrene (HIPS)

การผสมยางกับพอลิสไตรีนในสัดส่วนร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทกของพอลิสไตรีนผสมได้เป็นอย่างดี โดยที่ยางทำหน้าที่เป็นสาร impact modifier ให้กับพอลิสไตรีนผสม นอกจากการผสมโดยตรงเพื่อเพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทกแล้ว การนำมอนอเมอร์บางชนิด (เช่น บิวทาไดอีน อะคริโลไนไตรต์) ทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันกับสไตรีนมอนอเมอร์ จะได้โคพอลิเมอร์ (เช่น ABS) ที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นหรือสามารถเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกกลายเป็นยางได้ (ขึ้นกับสัดส่วนของหน่วยสไตรีนในโคพอลิเมอร์)

สารตั้งต้น

พอลิสไตรีน สังเคราะห์ได้จากสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสี แต่มีกลิ่น โดยปกติสไตรีนสามารถกลายเป็นพอลิสไตรีนได้เอง (self-polymerisation) หากอยู่ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลานานๆ ดังนั้นเพื่อการยืดอายุการดำรงสภาพของมอนอเมอร์ให้นานมากขึ้น นิยมเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา (inhibitor) ผสมประมาณไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โครงสร้างของสไตรีนมอนอเมอร์

การสังเคราะห์สไตรีนมอนอเมอร์

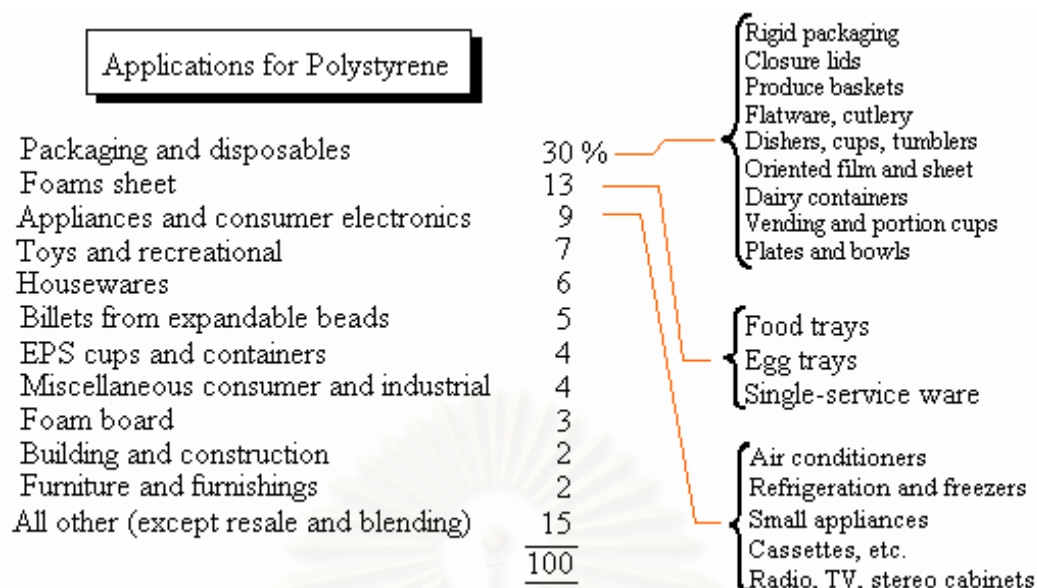
สไตรีนสามารถสกัดแยกออกจากสารธรรมชาติได้เช่น แยกจากยางไม้ เป็นต้น นอกจากนี้สามารถเตรียมได้โดยการสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาทางเคมีเช่น นิยมเตรียมจาก ethyl benzene โดยการใส่ตัวเร่งชนิดโลหะออกไซด์หรือตัวเร่งผสมระหว่าง ZnO, Cr₂O₃, Al₂O₃ และออกไซด์อื่นๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง (ประมาณ 600 องศาเซลเซียส) ความดันต่ำ เกิดปฏิกิริยา dehydrogenation

การสังเคราะห์พอลิสไตรีน

สไตรีนมอนอเมอร์สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้พอลิสไตรีนด้วยลักษณะต่างๆได้อย่างมากมาย เช่น ใช้แสงแดดกระตุ้น ใช้ความร้อน ใช้สารเคมี เป็นต้น มีวิธีการต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิสไตรีน ได้แก่ mass thermal polymerisation (bulk technique) suspension polymerisation (suspension technique) solution polymerisation (solution technique) และ emulsion polymerisation (emulsion technique)

การใช้งานพอลิสไตรีน

การนำพอลิสไตรีนไปใช้ประโยชน์ในหลายหลากลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การใช้งานพอลิสไตรีน [11]

2.12 ตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์ [8]

การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์ มีผลให้น้ำหนักโมเลกุลในสายโซ่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการสูญเสียตัวพลาสติกไซเซออร์ที่ผสมเข้าไว้เนื่องจากการถูกความร้อนหรือแสง เหล่านี้ เป็นต้น ล้วนนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปในทางที่ไม่ดีทั้งสิ้น อาจแยกตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นตัวการทางด้านพลังงาน แบ่งออกเป็น

- พลังงานจากความร้อน
- พลังงานกล
- พลังงานจากรังสี

กลุ่มที่ 2 เป็นตัวการทางเคมี แบ่งออกเป็น

- การเกิดไฮโดรลิซิส
- การเกิดออกซิเดชัน
- การเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ

ตัวการแต่ละชนิดมีผลต่อการเกิดการย่อยสลายของพอลิเมอร์ ดังนี้

1) **การย่อยสลายโดยความร้อน** พอลิเมอร์ที่ใช้งานกับอุณหภูมิสูงๆ จะเกิดการย่อยสลายโดยสายโซ่โมเลกุลจะแตกออกหรือขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ลักษณะของการย่อยสลายอาจเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ

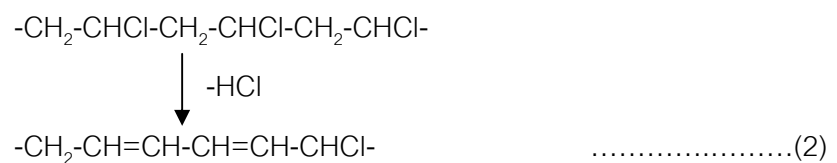
ก) การย่อยสลายแบบสุ่ม (random degradation) มักเกิดกับพอลิเมอร์แบบควบแน่น การแตกออกของสายโซ่จะเกิดที่จุดใดก็ได้ในสายโซ่พอลิเมอร์ คือ มีโอกาสเกิดการแตกออกได้เท่าๆกันทุกจุดไม่แน่นอน ส่วนที่เหลือจะยังคงใหญ่กว่ามอนอเมอร์

ข) การดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerisation) หรืออาจเรียกว่า unzipping คือ มอนอเมอร์จะหลุดออกทีละ 1 หน่วยจากสายโซ่โมเลกุล มักเกิดกับพอลิเมอร์ที่ได้จากพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว

ตัวอย่างเช่น ถ้าให้ความร้อนกับพอลิเมธิลเมธาไครเลตสูงๆ ในบรรยากาศของไนโตรเจนจะได้มอนอเมอร์กลับคืนมาเกือบ 99% แสดงว่ากรณีนี้เกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชัน ในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันนั้นจะเกิดต่อเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิขีดลิ่ง (ceiling temperature, T_c) โดยที่อุณหภูมิขีดลิ่งหมายถึง อัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเท่ากับการเกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชัน เพราะฉะนั้นถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ ปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับเนื่องจากอัตราการเกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชันสูงกว่า ดังสมการที่ 1



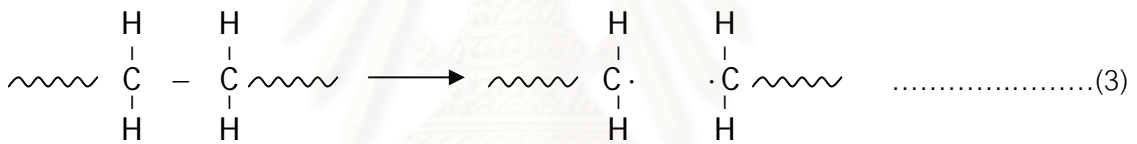
อุณหภูมิขีดลิ่งของพอลิเมอร์แต่ละตัวจะแตกต่างกันไป เช่น ของพอลิเมธิลเมธาไครเลต $T_c=130$ องศาเซลเซียส พอลิสไตรีนมีอุณหภูมิ T_c ประมาณ 150 องศาเซลเซียส แต่พบว่าพอลิสไตรีน เวลาเกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชันจะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดด้วย ทำให้ได้มอนอเมอร์กลับมาประมาณ 60% และได้ผลิตภัณฑ์อื่นปะปนมาเช่น แก๊ส อนุภาคพอลิเมอร์บางตัว เช่น พอลิไพโรฟิลีนจะเกิดการย่อยสลายเร็วขึ้นถ้ามีออกซิเจน ดังนั้นเวลาผ่านกระบวนการแปรรูปซึ่งจำเป็นต้องใช้ความร้อนอาจเกิดการย่อยสลายได้จึงต้องผสมแอนติออกซิแดนต์ (antioxidant) เข้าไปในพอลิเมอร์ด้วย พอลิไวนิลคลอไรด์จะเกิดการย่อยสลายที่ต่างไปจากตัวอื่นๆ คือ แทนที่จะได้มอนอเมอร์ออกมา กลับได้เป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ ถ้าอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2



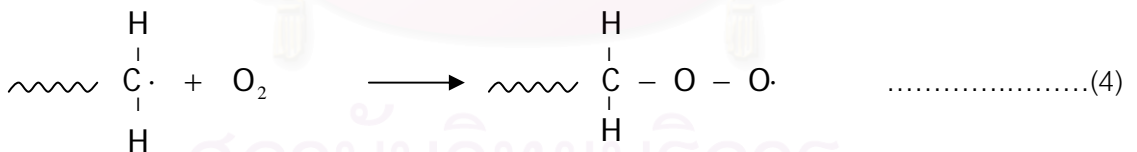
ทำให้ได้สายโซ่โมเลกุลไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น สีจะเปลี่ยนแปลงจากเหลืองไปเป็นสีส้ม และแดงจนกระทั่งดำในที่สุด

2) การย่อยสลายโดยพลังงานกล ในพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวๆ บางครั้งถ้าได้รับแรงกระทำจากภายนอกอาจทำให้เกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงตัวอย่างเช่น เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงกระทำด้วยอัตราการเลือนไหลสูงไม่ว่าจะอยู่ในสถานะสารละลายหรือของแข็งก็ตามทำให้เกิดการฉีกขาดได้

ในยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 5×10^5 จะมีความหนืดมากจนไม่สามารถผ่านกระบวนการแปรรูปได้ และจะผสมสารเติมแต่งและตัวแก้ไข (curing) ก็ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงต้องนำยางนี้ไปผ่านกระบวนการหนีบด้วยลูกกลิ้งเหล็กหนักๆ ด้วยอัตราการหมุนที่แตกต่างกันไป จะได้ผลิตภัณฑ์ที่อ่อนนิ่มกว่าเดิม สามารถผสมผงสารเติมแต่งได้ง่ายขึ้น กระบวนการดังกล่าวนี้อาจจะทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเพราะผลของแรงกระทำซึ่งเป็นพลังงานกล ทำให้ความหนืดลดลง และการย่อยสลายนี้จะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีตัวออกซิไดซ์เช่น ออกซิเจนอยู่ด้วย ปฏิกิริยาจะเกิดดังสมการที่ 3



แรดดิคอลลที่เกิดจะรวมตัวกับออกซิเจน ดังสมการที่ 4



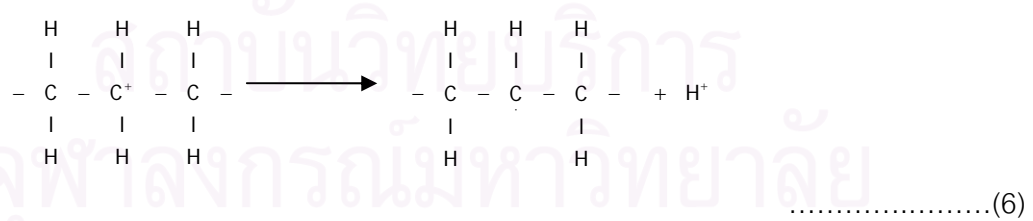
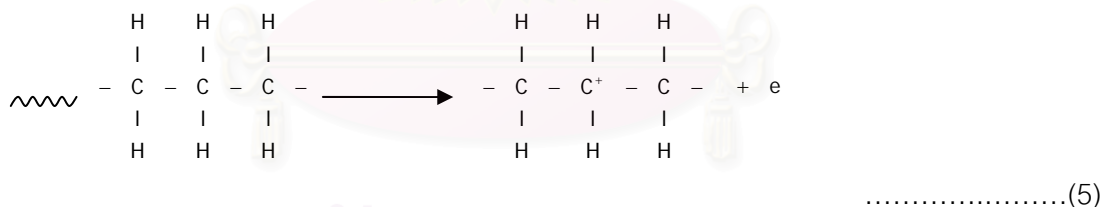
พอลิเมอร์ที่อยู่ในสถานะเป็นสารละลาย เมื่อได้รับพลังงานกลจะเกิดการย่อยสลายได้เช่นกันเช่น ถ้ากวนแรงๆจะพบว่าความหนืดของสารละลายลดลงหมายถึง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยลดลงหรือผ่านสารละลายเข้าไปในท่อเล็กๆด้วยแรงกระทำที่มีอัตราการเลือนไหลสูง ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เช่นเดียวกัน

3) การย่อยสลายโดยพลังงานจากรังสี พอลิเมอร์ที่นำไปใช้งานส่วนมากจะต้องถูกแสงเกือบทั้งนั้น เพราะฉะนั้นโอกาสเกิดการย่อยสลายโดยพลังงานจากรังสีจึงมีมากทีเดียว รังสีดังกล่าวอาจทำให้เกิดการเร้า (exciting) หรืออาจทำให้เกิดการอออไนซ์ซึ่งเรียกว่ารังสีพลังงานสูงกรณีแรกพลังงานมีเพียงพอที่จะเร้าให้อิเล็กตรอนย้ายไปอยู่ในออร์บิทัลใหม่ที่มีระดับพลังงานสูง

กว่าเดิม ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกออกของพันธะระหว่างอะตอม แต่อะตอมที่เกี่ยวข้องจะไม่มี การสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดฟรีแรดดิคัล แต่ถ้าพลังงานสูงขึ้นจะทำให้มีโอกาสเกิดการ ย้ายอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ทำให้เกิดการไอออไนซ์ได้เป็นไอออน

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาจากดวงอาทิตย์ สามารถทำให้เกิดการร้าวได้ เพียงความยาวคลื่น ขนาด 350 นาโนเมตร ก็มีพลังงานเพียงพอที่จะสลายพันธะระหว่างคาร์บอน แล้วเกิดแรดดิคัล ขึ้น จากนั้นก็อาจเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชันหรืออาจเกิดการเชื่อมโยงแบบร่างแหก็ได้ ถ้า เกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชันทำให้พอลิเมอร์อ่อนลง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงแบบร่างแห ทำให้พอลิเมอร์แข็ง ขึ้น ซึ่งล้วนแต่ทำให้พอลิเมอร์ที่ใช้งานอยู่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม และเป็นไปในทางที่ไม่ ต้องการ ทำให้ผิวเปราะและแตกกระแหง พอลิเมอร์ที่เคยใสก็จะขุ่นมัว เนื่องจากมีพันธะคู่เกิดมาก ขึ้น ทำให้ดูดกลืนแสงมากขึ้น พอลิสไตรีนจะเกิดการย่อยสลายได้เร็วมากถ้าถูกแสงแดด ขณะที่ พอลิเมทิลเมทาไครเลตจะคงทนมากกว่า ส่วนพวกที่ใช้เป็นสีหรือแผ่นฟิล์ม การย่อยสลายจะทำให้ ค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และนานๆไปจะหลุดออกมาเป็นผง

ส่วนสารที่มีพลังงานสูงๆ โดยปกติจะไม่พบ นอกจากการทำศึกษาวิจัยเช่นการให้รังสีเบตา โดยอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เร็วหรือรังสีแกมมา จะเกิดการไอออไนซ์ สายโซ่ที่เกิดไอออนอาจขาด ไฮโดรเจนออกไปได้สายโซ่แรดดิคัล แล้วสายโซ่แรดดิคัลอาจจับคู่เกิดโครงสร้างแบบร่างแหหรือ อาจเกิดการย่อยสลายอีกก็ได้ แล้วแต่ชนิดของโพลีเมอร์เช่น พอลิเอทิลีนจะเกิดโครงสร้างแบบ ร่างแหมากกว่า แต่พอลิเมอร์อื่นๆส่วนใหญ่เกิดการย่อยสลายไปเรื่อยๆ ดังสมการที่ 5 และ 6

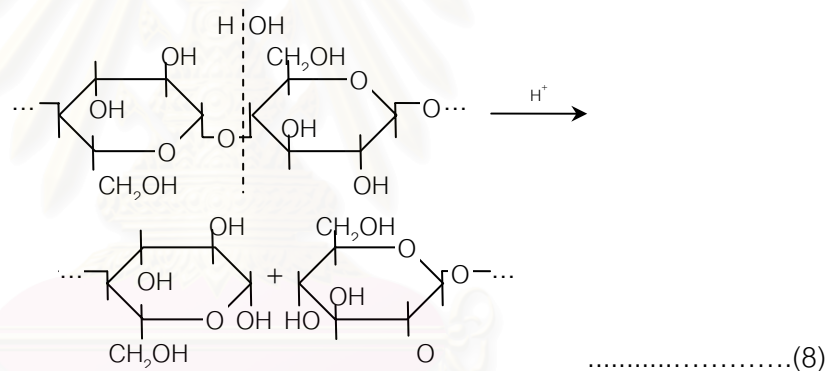


เมื่อพอลิเอทิลีนถูกแสง จะเกิดโครงสร้างแบบร่างแหนั้น ปริมาณโครงร่างแหจะเพิ่มตาม ปริมาณการฉายแสง ผลอันนี้จะทำให้คุณสมบัติจุดอ่อนตัวของโพลีเอทิลีนสูงขึ้น และไม่หลอมแม้ว่า คุณสมบัติจะสูงเกินอุณหภูมิ T_m แต่มีสถานะคล้ายยาง สิ่งที่พบอีกอย่างหนึ่งเมื่อพอลิเอทิลีนถูกแสง ก็คือ ดีกรีของความเป็นผลึกจะลดลง ซึ่งทดสอบได้ด้วยรังสีเอ็กซ์ โดย X-ray diffraction photograph

4) การย่อยสลายเกิดจากการเกิดไฮโดรลิซิส พอลิเมอร์ที่เกิดจากพอลิเมอร์ไอโซไซแนบบน ควบแน่นส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายได้โดยการไฮโดรไลซ์ เช่น พอลิเอสเทอร์ ดังสมการที่ 7

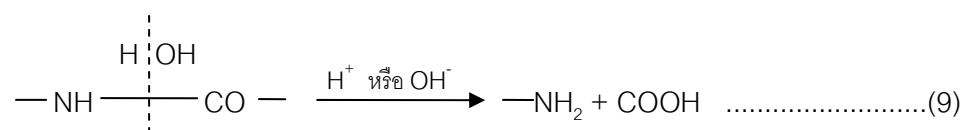


ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นถ้ามีไฮโดรเจนไอออนหรือไฮดรอกซิลไอออน นอกจากนี้ตัวเร่งในธรรมชาติเช่น เอนไซม์ก็เป็นตัวเร่งให้เกิดไฮโดรลิซิสด้วยเช่นเดียวกัน พอลิเมอร์ประเภทอะตอมต่างชนิดกันในสายโซ่เช่น พอลิอะซีตอล พอลิเอสเทอร์ และพอลิเอไมด์ จะถูกไฮโดรไลซ์ง่ายกว่าพอลิเมอร์ประเภทอะตอมในสายโซ่ชนิดเดียวกันตัวอย่าง พอลิอะซีตอลในธรรมชาติ คือ พอลิซัคคาไรด์ เกิดไฮโดรลิซิสแล้วได้มอนอซัคคาไรด์ นั่นคือ ไฮโดรลิซิสที่สมบูรณ์ของแป้ง และเซลลูโลสจะได้น้ำตาลกลูโคส การแตกของพันธะในเอมิอะซีตอลได้หมู่ไฮดรอกซิลและอัลดีไฮด์ ดังสมการที่ 8

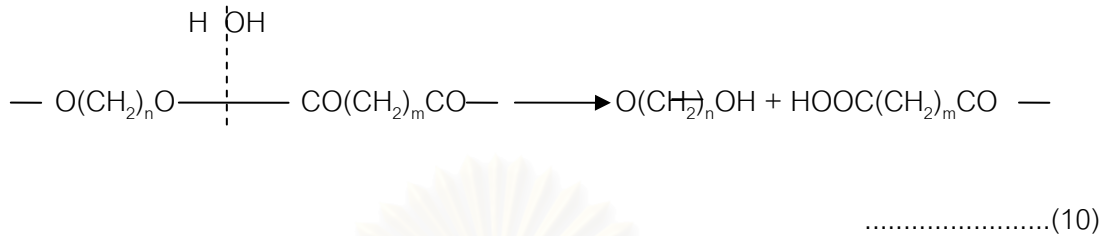


พอลิซัคคาไรด์จะเกิดไฮโดรลิซิสเมื่อมีไฮโดรเจนไอออนเป็นตัวเร่ง ถ้าเป็นไฮดรอกซิลไอออนจะไม่เกิดไฮโดรลิซิส เพราะฉะนั้นพอลิซัคคาไรด์จะเสถียรในสารละลายที่เป็นเบส แต่จะถูกย่อยสลายในสารละลายที่เป็นกรดหรือถ้ามีเอนไซม์ก็ถูกย่อยสลายเช่นกัน

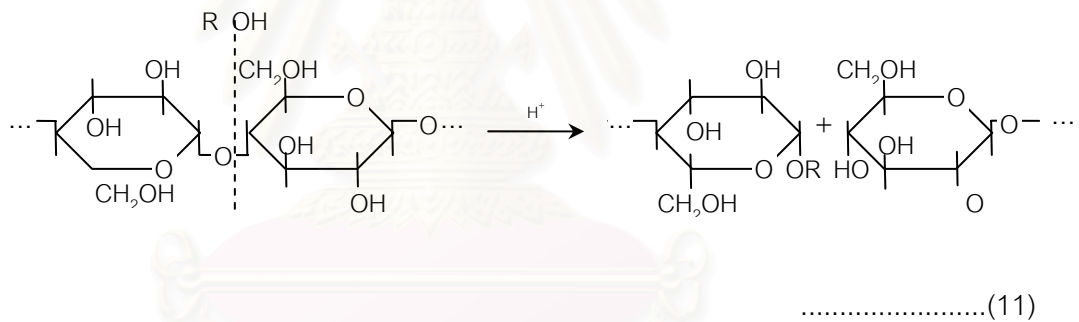
พอลิเมอร์ที่มีพันธะเอไมด์ในสายโซ่โมเลกุลจะเกิดไฮโดรลิซิสได้ดีถ้ามีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่ง และจะได้หมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอกซิล ดังสมการที่ 9



พอลิเอสเทอร์จะเกิดไฮโดรลิซิสได้ดีเช่นกันในกรณีที่มีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่ง โดยเฉพาะเบสเป็นตัวเร่งที่ดีกว่ากรด ผลผลิตที่ได้จากการแตกออกของพันธะเอสเทอร์จะได้เป็นสายโซ่ที่มีหมู่สุดท้ายเป็นแอลกอฮอล์ และกรด ดังสมการที่ 10

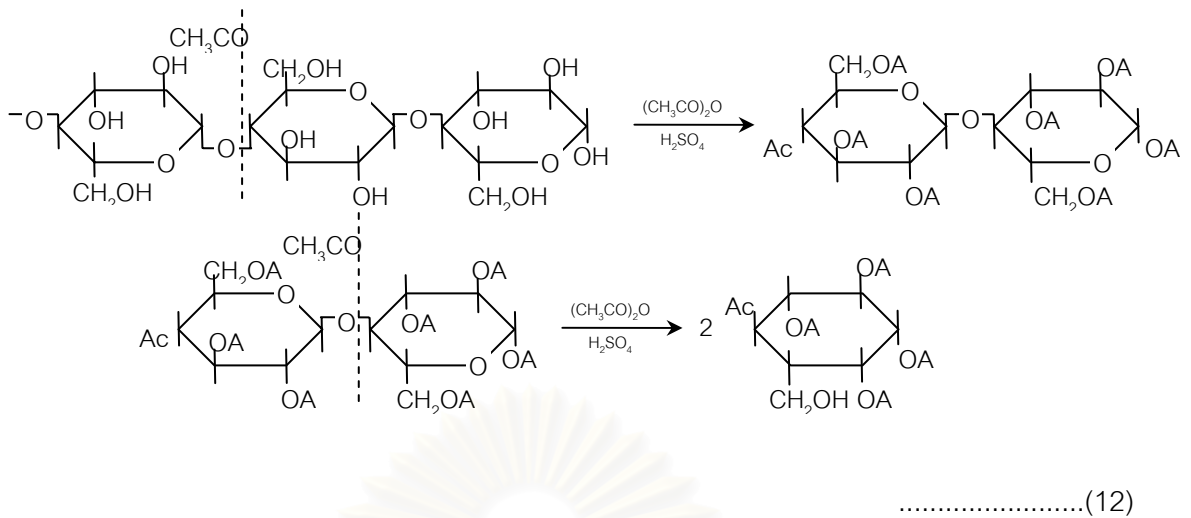


ตัวการที่ทำให้เกิดไฮโดรลิซิสคือ น้ำซึ่งเป็นตัวการที่พบมากที่สุดในสภาพทั่วไป นอกจากนี้ที่อาจพบอีกคือ แอลกอฮอล์ เรียกว่า แอลกอฮอล์ลิซิส (alcoholysis) เช่น ในพอลิซัคคาไรด์ ถ้าเกิดแอลกอฮอล์ลิซิสโดยมีกรดเป็นตัวเร่ง จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้สารที่มีหมู่สุดท้ายเป็นไกลโคไซด์กับไฮดรอกซิล ดังสมการที่ 11

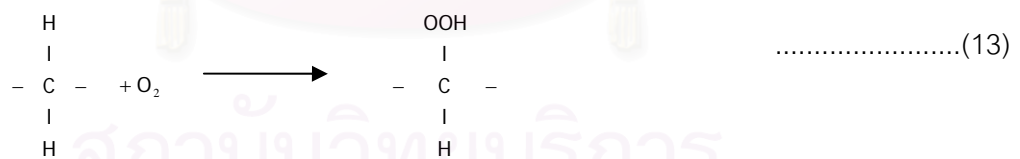


วิธีหากลูโคสที่เกิดจากการย่อยสลายเซลลูโลสหรือพอลิซัคคาไรด์ที่สมบูรณ์ ทำได้โดยการใช้กรดเกลือความเข้มข้นสูง ปกติเซลลูโลสซึ่งมีลักษณะความเป็นผลึกสูงนี้จะย่อยสลายได้ยาก เพราะเสถียรกว่าพอลิเมอร์อสัณฐาน ถ้าเซลลูโลสอยู่ในสถานะแข็ง แต่ถ้าเป็นสารละลายจะถูกย่อยสลายได้ เพราะฉะนั้นถ้าใช้กรดเกลือความเข้มข้นสูงจะย่อยสลายได้รวดเร็ว และได้กลูโคส

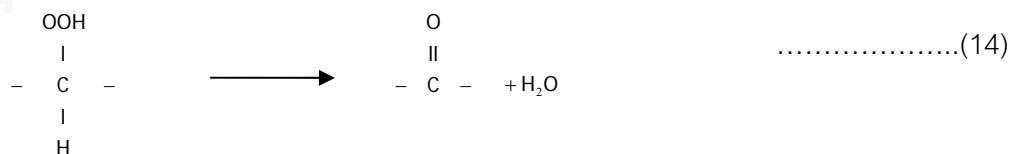
ถ้าเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์โดยมีกรดซัลฟูริกอยู่ด้วย เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะเกิดแอสिटิลิซิส (acidolysis) ได้ผลิตผลเป็นเซลโลบิโอส ออกตาอะซิเตต (cellulose octaacetate) ออกมาก่อน และสุดท้ายจะได้กลูโคส เพนตะซีเตต (glucose pentacetate) ดังสมการที่ 12



5. การย่อยสลายจากการถูกออกซิไดซ์ การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์ซึ่งมีผลมาจาก การถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน นับเป็นการย่อยสลายที่พบมากเช่นกัน แต่กลไกของการเกิดออกซิเดชันในพอลิเมอร์ค่อนข้างจะซับซ้อนมาก และเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ชนิดของพอลิเมอร์ จากงานวิจัยพบว่าออกซิเดชันที่เกิดในพอลิเมอร์พวกไฮโดรคาร์บอน เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และยาง จะมีกลไกที่แตกต่างกันไปในกระบวนการออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และไม่ อิ่มตัว พิจารณาการเกิดออกซิเดชันในพอลิเอทิลีนก่อน เนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ถ้า ไม่ได้ถูกแสงแดดจากดวงอาทิตย์จะเกิดออกซิเดชันโดยออกซิเจนน้อยมาก ลักษณะที่ถูกออกซิไดซ์ คือ ออกซิเจนจะสอดเข้าตรงระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับอะตอมไฮโดรเจนได้ ไฮโดรเปอร์ ออกไซด์ ดังสมการที่ 13

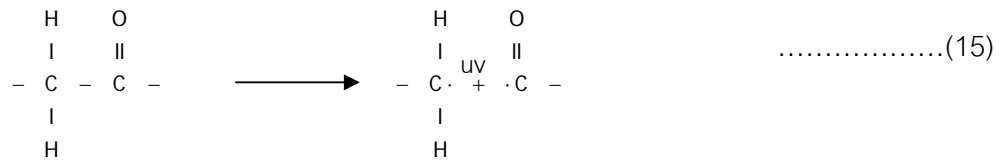


ถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์อาจจะสลายตัวได้หมู่คีโตน กับน้ำ ดังสมการที่ 14

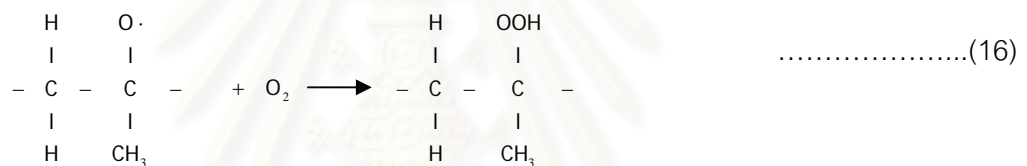


การเกิดออกซิเดชันลักษณะดังกล่าวนี้ไม่ทำให้เกิดการย่อยสลายภายในสายโซ่ เพียงแต่เกิดหมู่คีโตนขึ้นมาภายในสายโซ่โมเลกุล สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ความแข็งแรงจะลดน้อยลง

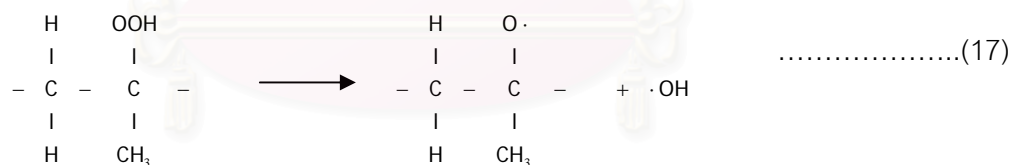
ในกรณีที่ถูกละแสงอุลตราไวโอเล็ต ปฏิกิริยาจะซับซ้อนมากขึ้น และจะเกิดแรดิคคอล สายโซ่จะถูกร่อยสลาย ดังสมการที่ 15



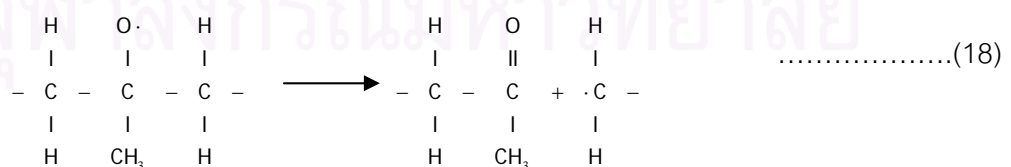
แรดิคคอลที่เกิดจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปอีกได้ เกิดการเร่งอัตโนมัติ อัตราการใช้ ออกซิเจนจะเพิ่มตามเวลา พอลิเอธิลีนจะเปราะและมีรอยแตกมาก แต่ถ้าไปพิจารณากรณีของ พอลิโพรพิลีน จะแตกต่างไปจากพอลิเอธิลีน ถ้าพอลิโพรพิลีนที่บรรจุคาร์บอนอะตอมตติยภูมิ คาร์บอนอะตอมตติยภูมินั้นจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้มากกว่าคาร์บอนตัวอื่น ดังสมการที่ 16



จะได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดการแตกตัวออกเป็นแรดิคคอล ดังสมการที่ 17

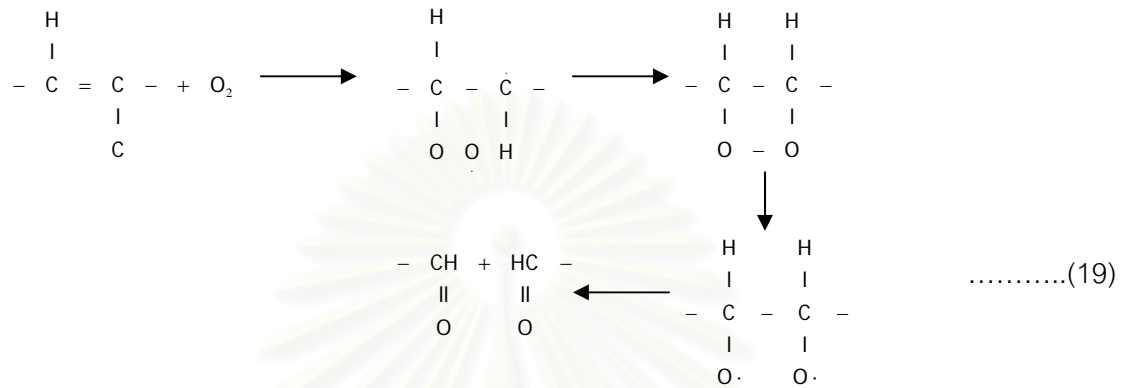


จากนี้ จะเกิดการแตกออกของสายโซ่ตามมาอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ 18

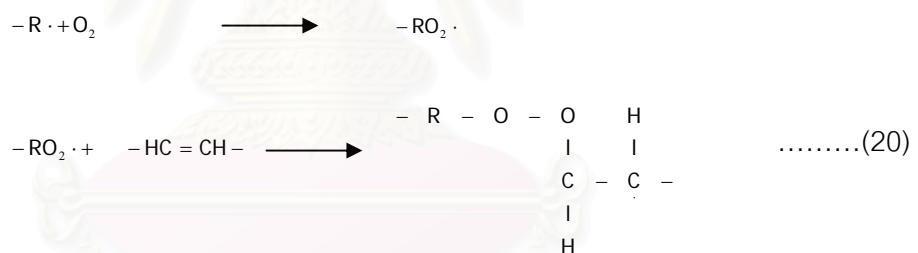


แรดิคคอลที่เกิดจากปฏิกิริยาร่อยสลายนี้จะเกิดปฏิกิริยาอื่นต่อไปอีก เช่น อาจไปถึง อะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดแรดิคคอลขึ้นอีก กรณีของพอลิโพรพิลีนจะ เกิดออกซิเดชันได้มากขึ้นถ้าได้รับแสงอุลตราไวโอเล็ตหรือได้รับอนุมูลสูงขึ้นไป

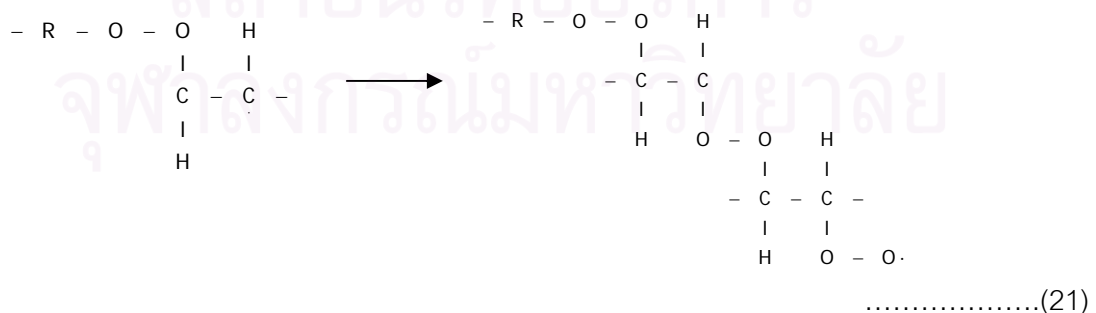
ในพอลิไทรีนเกิดการเกิดออกซิเดชันจะเกิดได้ช้ากว่าในพอลิโพรพิลีน เนื่องจากการบิดขวางของวงเบนซีน จึงทำให้เสถียรกว่าพอลิโพรพิลีน ถ้าเป็นพอลิเมอร์ที่บรรจุพันธะคู่เช่น ยาง จะมีกลไกในการเกิดออกซิเดชันเร็วกว่าพวกพอลิเมอร์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว การย่อยสลายของสายโซ่โมเลกุลจะได้หมู่สุดท้ายเป็นอัลดีไฮด์ ดังสมการที่ 19



ในกรณีที่มีแรดดิคอล ออกซิเจน พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม อยู่ด้วยกันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังสมการที่ 20



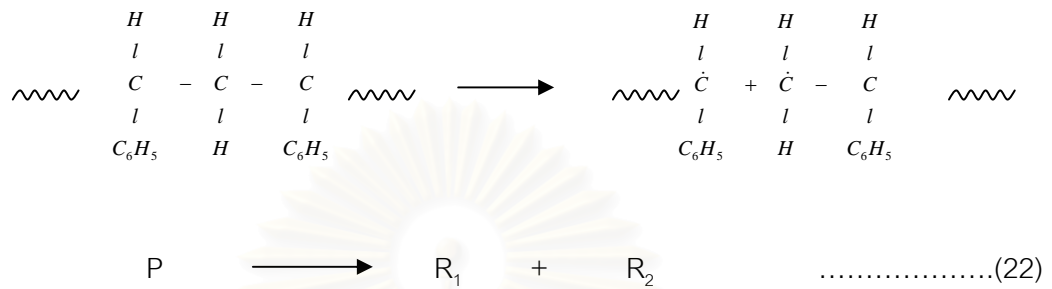
ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปอีก ทำให้ได้เป็นโครงร่างแห ดังสมการที่ 21



โครงร่างแหที่เกิดคล้ายๆกับการเกิดวัลคาไนเซชันในยางโดยกัมมะถัน การเกิดโครงร่างแหกับออกซิเจนดังกล่าว ทำให้ยางที่ใช้ไปนานๆ แข็งกระด้างตามที่พบกันเสมอ

2.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฟโรไลซิสพอลิสไตรีน [12]

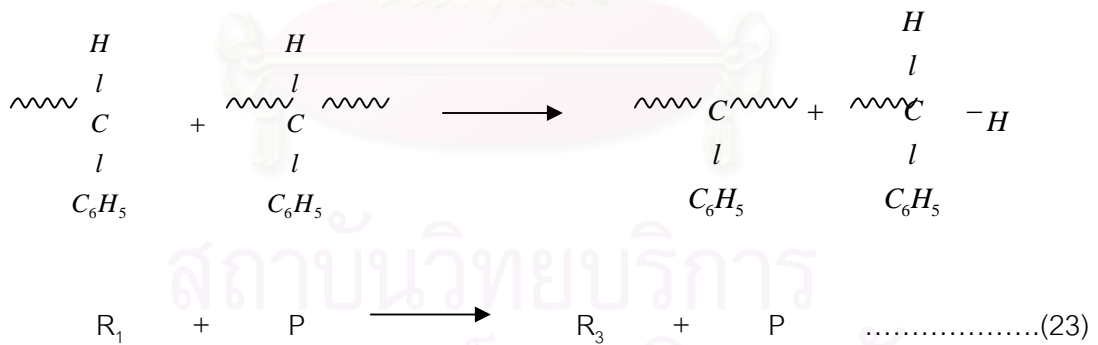
กลไกของการเกิดปฏิกิริยาไฟโรไลซิสพอลิสไตรีน โดยระบบที่ใช้ความร้อนเพื่อทำให้พอลิสไตรีนแตกสลาย โดยเริ่มจากขั้น initiation ดังสมการที่ 22



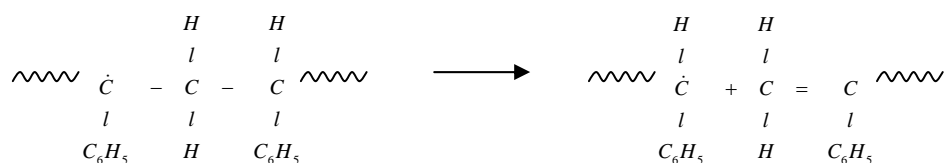
P แทน โมเลกุลของพอลิเมอร์

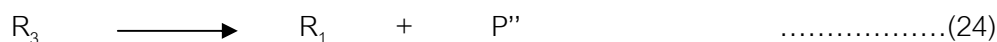
R แทน อนุมูล

โมเลกุลของพอลิเมอร์จะแตกออกเนื่องจากพลังงานความร้อนที่สะสมโดยจะฟอร์มเป็นอนุมูล R_1 และ R_2 ที่แตกต่างกันซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปในขั้น depropagation ดังสมการที่ 23

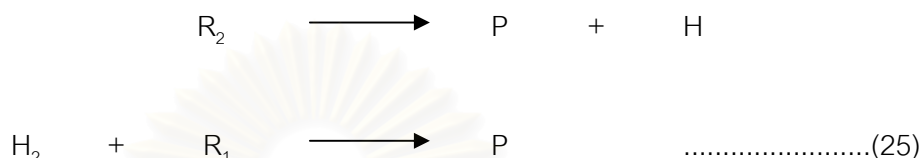


โดยอนุมูล R_3 ดำเนินต่อไปโดยกลับไปเป็น R_1 อีกครั้ง ดังสมการที่ 24





ส่วนขั้น termination จะเกิดขึ้นโดยอนุมูลที่เกิดจากขั้น depropagation จะเกิดเสถียรภาพ โดยการหลุดออกของไฮโดรเจนอะตอม และจะเกิดการรวมไฮโดรเจนอะตอมกับ R_1 หรือ R_3 ไปเป็น P อีก เป็นอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆจนปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ดังสมการที่ 25



2.14 ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน [13]

ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

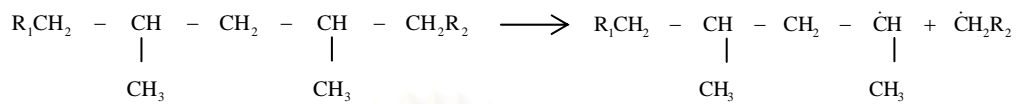
เป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง โดยใช้อุณหภูมิสูง หากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม สามารถได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจนเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ และไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะส่วนที่มีแขนโอเลฟินส์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเอง

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) คือ เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ เกิดจากพันธะคาร์บอนแตกออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะ去做ปฏิกิริยาในขั้นต่อไป ดังสมการที่ 26
2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain carrying) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์ และแตกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น เกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการที่ 27

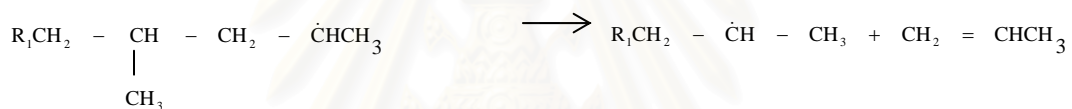
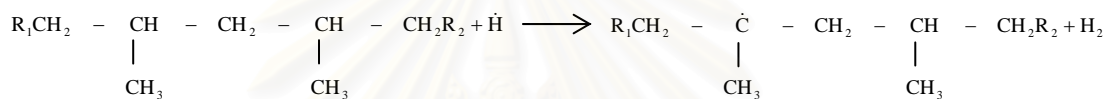
3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่โมเลกุลเดียว หรือเกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล ดังสมการที่ 28

1. Initiation



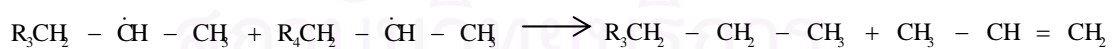
.....(26)

2. Chain carrying



.....(27)

3. Termination



.....(28)

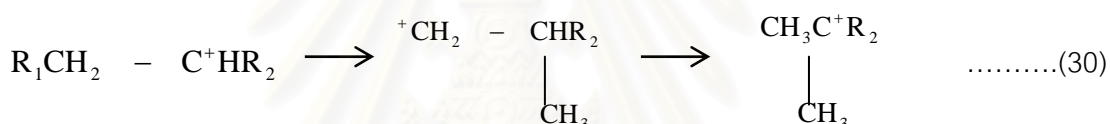
2. กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)

เป็นกระบวนการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ได้โครงสร้างที่เหมาะสม มีคุณภาพพอเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

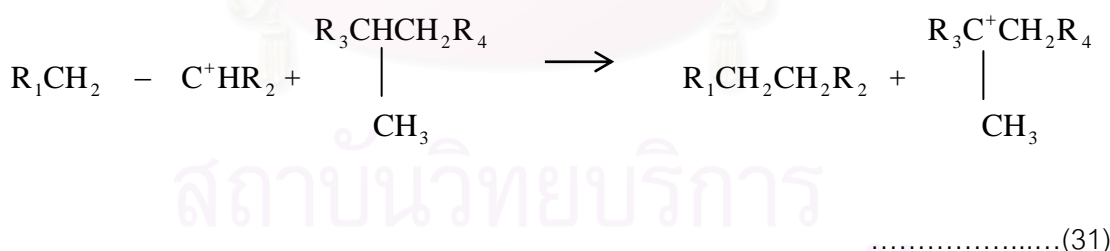
1. การเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน และปฏิกิริยาการเกิดคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรดีไอออนที่มีประจุลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์โบเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยคาร์โบเนียมไอออนที่เกิดขึ้นมีความเสถียรแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน โดย tertiary ion จะมีความเสถียรมากกว่า secondary ion และ primary ion ดังสมการที่ 29



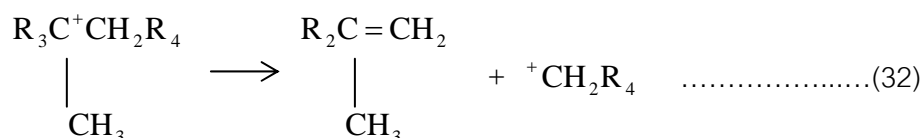
2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์โบเนียมไอออนมีความเสถียรแตกต่างกัน ดังสมการที่ 30



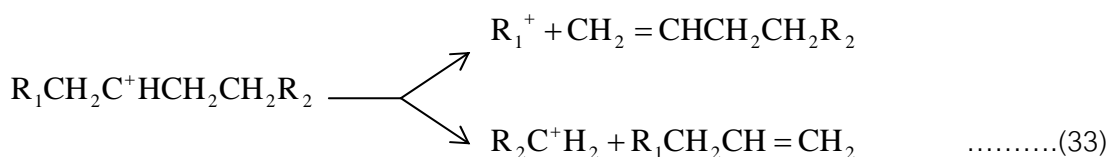
และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบเนียมไอออนกับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ 31



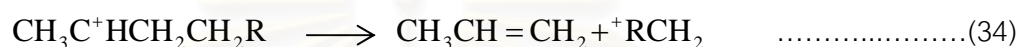
สำหรับคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา β -scission หรือการแตกตัวที่ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟิน และคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กกลง โดยมักจะเป็น Primary carbonium ion ดังสมการที่ 32



ในบางกรณีคาร์โบเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบเช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion ดังสมการที่ 33



ถ้า $\text{R}_1 = \text{H}$ การเกิด β -scission จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการที่ 34

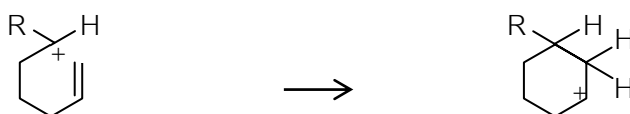
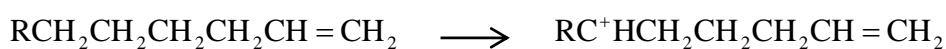


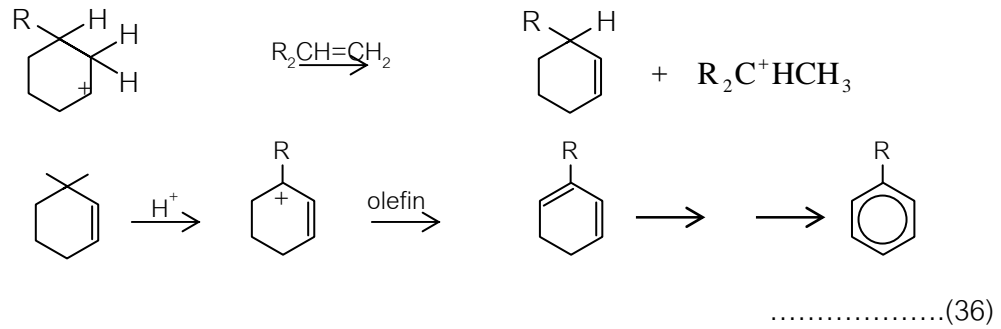
โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอน และอยู่ในรูปคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งจะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้ ดังสมการที่ 35



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพนหรืออาจเกิดการสูญเสียโปรตอนได้ ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน

ในการเกิดวงแหวนอะโรมาติกจากปฏิกิริยา dehydrocyclization โดยโอเลฟินส์เกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน แล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefinic carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟินส์และเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allytic carbonium ion ที่มีความเสถียร และเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadiene ซึ่งในขั้นตอนนี้สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติกส์ ดังสมการที่ 36





ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วย แก๊สที่มีโอเลฟินส์สูง องค์ประกอบของเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงเนื่องจากมีสารจำพวกอะโรมาติก โอเลฟินส์มาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้กที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา พื้นที่ผิววรูปูนของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา

3. กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)

เป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา และการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินส์ และแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภทสองหน้าที่ คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน และช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนได้พร้อมๆกันกับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินส์ขึ้นที่บริเวณที่เป็นโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโอเลฟินส์ไปทำให้เกิดคาร์โบเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจะเกิดการแตกตัว และที่บริเวณที่เป็นกรดตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเองจะเกิดการเติมไฮโดรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอิ่มตัวในที่สุด นอกจากนี้การที่เกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปพร้อมๆกันด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยไฮโดรเจนร่วมนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้ก และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถไป หรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหาย รวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการด้วย

2.15 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Audisio et al. (1990) [14] ศึกษาการดีพอลิเมอไรเซชันพอลิสไตรีน โดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซิลิกา ซิลิกา-อะลูมินา และ ซีโอไลต์ ภายใต้ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งประกอบด้วยเบนซีน สไตรีน อัลคิลเบนซีน สไตรีนไดเมอร์ และสไตรีนไตรเมอร์ เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ สไตรีน ไดเมอร์ และศึกษาการดีพอลิเมอไรเซชันพอลิสไตรีน ที่อุณหภูมิ 200–325 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันไนโตรเจน โดยพอลิสไตรีนละลายในโทลูอีนก่อนเข้าทำปฏิกิริยาโดยพบว่าปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งมีค่าพลังงานกระตุ้นที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาประมาณ 48 กิโลจูลต่อโมล

Aajaye et al. (1995) [15] ศึกษาถึงการผลิตสารไฮโดรคาร์บอนด้วยการปรับปรุงน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5, H-Y, H-mordenite, silicalite และ silica-alumina ภายใต้ภาวะความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 290-410 องศาเซลเซียส น้ำหนักสารป้อนต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1.8-3.6 ชั่วโมง⁻¹ พบว่าสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 และ H-mordenite จะเป็นสารพวกแอมติกมากกว่าอะลิฟาติก ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา H-Y, silicalite และ silica-alumina จะเป็นสารพวกอะลิฟาติกมากกว่าแอมติก โดยสารแอมติกคือ โทลูอีน ไทลีน ไตรเมทิลเบนซีน ส่วนสารอะลิฟาติกคือ ไฮโคลโพรเพน เพนเทน ไฮโคลเพนทีน เฮกซีน

Twaiq et al. (1999) [16] ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบ fixed bed ภายใต้ความดันบรรยากาศ ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 350-450 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วการป้อนน้ำมันปาล์ม (WHSV) ในช่วง 1–4 ต่อชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซีโอไลต์ β และ Ultrastable Y(USY) ซีโอไลต์ และพิจารณาผลได้ของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดของแก๊สไฮลีน ตลอดจนศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-USY และ HZSM-5-ซีโอไลต์ β ในสัดส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก HZSM-5 และศึกษาผลความเป็นกรด (Acidity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ K-HZSM-5 ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ของเหลวในรูปสารอินทรีย์ แก๊สไฮโดรคาร์บอน และน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ให้ผลการทดลองดีที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส อัตราเร็วการป้อนน้ำมันปาล์มเท่ากับ 1 ต่อชั่วโมง ให้ร้อยละผลได้ของแก๊สไฮลีนเท่ากับ 28 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-USY ให้ผลได้ของ

แก๊สโซลีนสูงกว่าการใช้ USY ซีโอไลต์ชนิดเดียว การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในตัวเร่งปฏิกิริยาผสม HZSM-5-ซีโอไลต์ β ไม่ช่วยส่งเสริมสัดส่วนการเปลี่ยนของน้ำมันปาล์ม และพบว่าร้อยละผลได้ของการเลือกทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแก๊สโซลีนลดลงจาก 45 ถึง 10 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมจาก 0 ถึง 1.5 โดยน้ำหนัก

Fangrui M. (1999) [17] ศึกษากระบวนการผลิต biodiesel 4 วิธี คือ blending, microemulsion, thermal cracking(pyrolysis) and transesterification, คุณสมบัติทางเคมี และชนิดของกรดไขมัน ในน้ำมันพืชแต่ละชนิด เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน และน้ำมันดีเซล ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีกรดไขมัน Oleic, Linoleic, Linolenic ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากกว่า Lauric, Myristic, Palmitic, Stearic ที่เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว และพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนมีสมบัติ(ความหนืด, เลขซีเทน)ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน

Walendziewski J. (2001) [18] นำของเสียจำพวกพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนมาผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยความร้อนและด้วยไฮโดรเจนใน closed autoclaves ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและดีเซลช่วงจุดเดือดที่ต้องมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปโดยในการทดลองใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนคือที่ อุณหภูมิ 410 – 430 องศาเซลเซียส ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ไฮโดรเจนจะสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า คือ 390 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1.5 ชั่วโมงโดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้เป็นแก๊สและของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 360 องศาเซลเซียส

Lee S.Y. (2002) [19] ศึกษาการแปรสภาพของพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา clinoptilolite zeolite ทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural clinoptilolite) และจากการสังเคราะห์ (synthesized clinoptilolite) เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา silica-alumina, modenite, Y-zeolite และ ZSM-5 และยังได้ศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรดของ clinoptilolite อุณหภูมิและเวลา ต่อการแปรสภาพพอลิสไตรีน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา clinoptilolite ทั้ง 2 ชนิด ให้ผลในการแปรสภาพพอลิสไตรีนดีเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาข้างต้น โดยให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบจำพวกเอโรแมติกมากกว่าร้อยละ 99 ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้เป็นสไตรีนโมโนเมอร์และเอทิลเบนซีนรองลงมา

และจากการเพิ่มความเข้มข้นของ clinoptilolite ทำให้ได้เอทิลเบนซีนเพิ่มมากขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของสไตรีน และได้สไตรีนเพิ่มเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มเวลาในการสัมผัสโดยการลดอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน ทำให้ได้เอทิลเบนซีนเพิ่มขึ้นเช่นกัน กล่าวคือหากต้องการผลิตภัณฑ์ชนิดใดจากการแปรสภาพพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา clinoptilolite แล้วนั้น ต้องควบคุมปัจจัยทั้งสามชนิดที่กล่าวมาให้เหมาะสม

Walendziewski J. (2002) [20] ศึกษาการแตกโมเลกุลของพลาสติกที่ใช้แล้ว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 การแตกตัวของพลาสติกผสมที่ใช้แล้ว ในเครื่อง glass reactor ที่ความดันบรรยากาศโดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 350 จนถึง 440 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา alkaline catalyt ร้อยละ 0-10 และศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง การทดลองที่ 2 การแตกตัวของพลาสติกผสมที่ใช้แล้ว ในเครื่อง autoclaves โดยใช้ H₂ pressure เปรียบเทียบ 2 กระบวนการ คือ catalytic process กับ thermal process ภายใต้อุณหภูมิ 380, 410, 440 องศาเซลเซียสและศึกษาปริมาณ carbon atom ในแอโรแมติก ของผลิตภัณฑ์ของเหลว ด้วยวิธีการ IR spectroscopy method

Twaiq et al. (2003) [21] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบ fixed bed ภายใต้ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 723 เคลวิน และทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 มีรูพรุนขนาดกลาง ด้วยสัดส่วน Si/Al เท่ากับ 50 โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งมีพื้นที่ผิวระหว่าง 550-1200 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.8 - 2.8 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่า MCM-41 มีความไวต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม โดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Palm Kernel Oil) ไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวในสัดส่วนที่สูงกว่าการเปลี่ยนแปลงจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Palm Olein Oil) และตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 เลือกทำปฏิกิริยาเฉพาะอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน โดยขึ้นกับชนิดของน้ำมันปาล์มที่ใช้ โดยเฉพาะ C13 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และ C17 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และพบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลงเมื่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา มีการเลือกเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน หรือดีเซล โดยขึ้นกับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

Walendziewski J. (2005) [22] ศึกษากระบวนการแตกโมเลกุลของพลาสติกด้วยความร้อนในเครื่อง continuous flow reactor ที่ภายในมี screw mixer ทำการทดลองโดยใส่เม็ดพลาสติกลงใน feed reservoir จากนั้น feed ไปยัง screw extruder 0.5-2.5 kg/h เพิ่มอุณหภูมิ

จาก 25 เป็น 250 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมเม็ดพลาสติกให้ผสมรวมกัน feed ต่อไปยังเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อด้วยอัตรา 0.3-2.5 kg/h อุณหภูมิ 420-500 องศาเซลเซียส เกิดการแตกโมเลกุลของพลาสติก ที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ได้ของแข็งและไอ จากนั้น feed ไปยัง vertical separation โดยด้านล่างแยกได้ solid carbon(coke) ส่วนด้านบนได้ไอ จากนั้นผ่านเครื่องหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ และผ่าน gas-liquid separator ด้านล่างได้ของเหลว ด้านบนได้ก๊าซซึ่งวัดปริมาณได้จาก gas flow meter โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ใช้พอลิโอสีนบริสุทธิ์ และการทดลองที่ 2 ใช้พอลิโอสีนใช้แล้วซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 2 การทดลองคือ ผสมพลาสติกระหว่างพอลิพรอพิลีนและ พอลิสไตรีน (70:30 โดยน้ำหนัก) กับผสมพลาสติกระหว่างพอลิเอทิลีนและ พอลิสไตรีน (90:10 โดยน้ำหนัก)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องมือ และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการแตกตัวน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลว และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้เพื่อหาภาวะของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน และองค์ประกอบที่ดีที่สุด

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (Tubular Reactor) รูปทรงกระบอก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.625 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.457 เซนติเมตร ยาว 12 เมตร สามารถทำการทดลองภายใต้สภาวะที่มีความดัน และอุณหภูมิสูงได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 เตาเผา (Tubular Furnace) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.1.3 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature Control) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟไปยังขดลวดความร้อน และตัดการจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ



รูปที่ 3.2 เตาเผา (Tubular Furnace)



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล

- 3.1.4 เทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ 2 ชุด
- 3.1.5 ชุดกรอง สำหรับแยกของเหลวออกจากของแข็ง
- 3.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 3.1.7 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.8 เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์ ขวดใส่สารตัวอย่าง
- 3.1.9 สายยาง peristatic
- 3.1.10 ปัมป์ peristatic ดังแสดงในรูปที่ 3.4
- 3.1.11 เครื่อง compressor air ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ปัมป์ peristatic



รูปที่ 3.5 เครื่อง compressor air

3.1.12 เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

3.1.13 เครื่องหาค่าความหนืด และคำนวณค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และดังแสดงในรูปที่ 3.8

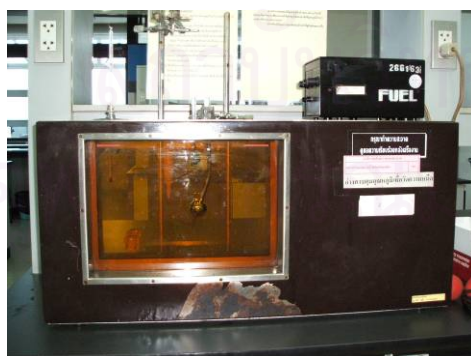
3.1.14 เครื่องบดย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.9

3.1.15 เครื่องกวนผสม ดังแสดงในรูปที่ 3.10

3.1.16 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) สำหรับวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.6 เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC)



รูปที่ 3.7 อ่างควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.9 เครื่องบดย่อย



รูปที่ 3.10 เครื่องกวนผสม



รูปที่ 3.11 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.2.1 น้ำมันพืชใช้แล้ว (น้ำมันปาล์มจากบริษัท Kentucky Fried Chicken Corporation)

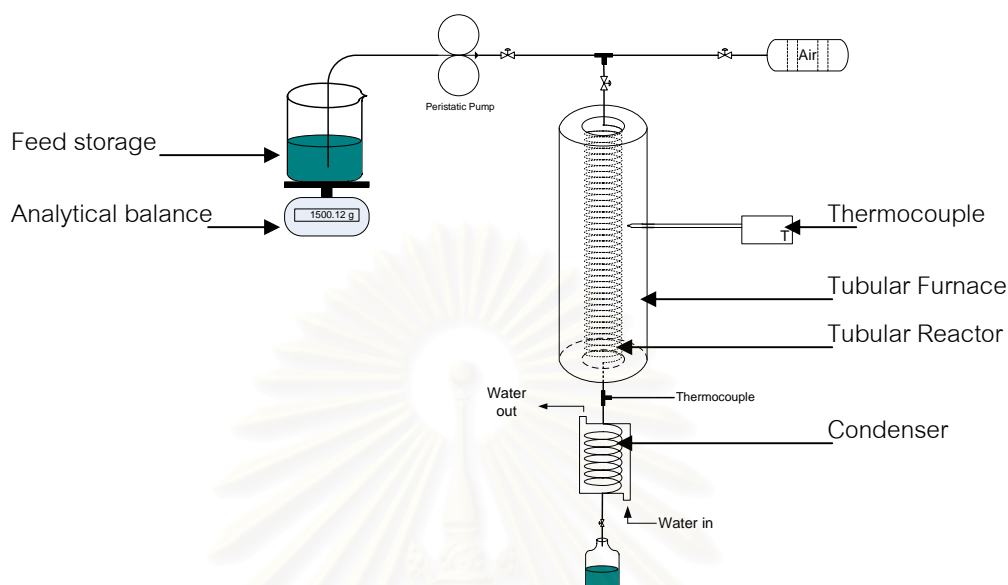
3.2.2 เม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน (AR grade)

3.2.3 สารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2)

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการทดลอง

3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น

1. ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ตัวแปรที่ศึกษา คือ
 - 1.1 ผลของอัตราการไหล (4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที)
 - 1.2 ผลของอุณหภูมิ (350-600 องศาเซลเซียส)
2. ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีน ตัวแปรที่ศึกษา คือ
 - 2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก)
 - 2.2 ผลของอุณหภูมิ (500-600 องศาเซลเซียส)
- 3.3.3 วิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีน
- 3.3.4 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมัน วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC)

3.3.5 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมัน วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

3.3.6 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมัน วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องหาค่าความหนืด และคำนวณค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ และสารตั้งต้น

1. นำน้ำมันพืชใช้แล้วไปกรองด้วยตะแกรง เพื่อกรองแยกสิ่งสกปรก และตะกอน
2. นำเม็ดพลาสติกไปบดให้มีขนาดเล็กลงจนเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย

3.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว และพอลิสไตรีน ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง ตามสัดส่วนที่กำหนด (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก) กวนผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องกวนผสม

2. นำสารตั้งต้นต่อเข้ากับปั๊ม peristatic โดยผ่านทางสายยาง peristatic ทำการวัดอัตราการไหลเข้า (flow rate)

3. ต่อสายยาง peristatic เข้ากับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 0.457 เซนติเมตร ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ที่มีเทอร์โมคัพเบิลวัดอุณหภูมิ และเครื่องควบแน่น จากนั้นให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เปิดปั๊มเพื่อให้น้ำมันไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์ และทำการจับเวลาที่น้ำมันไหลผ่านชุดท่อยาว 12 เมตร (ตั้งแต่เปิดปั๊มให้น้ำมันไหลเข้าเครื่องจนกระทั่งน้ำมันไหลผ่านชุดท่อยาว 12 เมตรออกมาเป็นหยดแรก)

4. เมื่อเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิที่จะทำการทดลองรอให้อุณหภูมิคงที่ 20 นาที ทำการจดบันทึกน้ำหนักสารตั้งต้น, เก็บตัวอย่างที่ออกมา, จดบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ออกมา และเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป

5. เมื่อเสร็จการทดลองแล้วเปิดวาล์วอากาศผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเผาไค้ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ และนำเครื่องควบแน่นไปเผาบนเตาแก๊สพร้อมอัดอากาศ เพื่อเผาไค้

6. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เก็บได้ มาแกว่งด้วยเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออกเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำมันต่อสารละลาย CS_2 ด้วยอัตราส่วน 1:100 โดยปริมาตร

7. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เก็บได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) เพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงจุดเดือดอุณหภูมิต่างๆ และวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีที่เกิดขึ้น

8. คำนวณร้อยละการเปลี่ยนของสารตั้งต้น

$$\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน (\% Oil yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้น}}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้นที่เริ่มต้น}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของแข็ง และแก๊ส (\% Solid \& Gas yield)} \\ = 100 - \text{ร้อยละผลได้น้ำมัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้เนฟทา (\% Overall naphtha yield, \% Selectivity)} \\ = \frac{\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน} \times \text{ร้อยละผลได้เนฟทาจาก DGC}}{100} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิตเนฟทาต่อนาที่ (Production rate of naphtha)} \\ = \text{ร้อยละผลได้เนฟทา} \times \text{อัตราการไหล} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิस्टาไดรีน และน้ำมันพืชใช้แล้ว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำมันทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคตต่อไปได้ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพลาสติก อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง อัตราการไหล ตลอดจนศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของน้ำมัน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 น้ำมันพืชใช้แล้ว [23,24]

เป็นน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำมันปาล์มถูกใช้งานสำหรับทอดไก่ในแต่ละครั้ง ด้วยอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาทีต่อรอบ ใช้งานสำหรับการทอดมันฝรั่งในแต่ละครั้งด้วยอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีต่อรอบ และใช้งานซ้ำเป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เนื่องจากในระหว่างทอดอาหารด้วยน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูงจะเกิดกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์สาร (pyrolysis) ได้น้ำมันที่มีสีเข้มขึ้น และมีความหนืดมากขึ้น และมีผลิตภัณฑ์หรือสารเชิงซ้อนหลายชนิด โดยสารกลุ่มใหญ่เรียกว่า polycyclic aromatic hydrocarbons ซึ่งสารบางชนิดในกลุ่มนี้เป็นสารก่อการกลายพันธุ์ และก่อมะเร็ง

4.1.2 องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว [25]

วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยวิธี AOCS 1993Ce2-66Ce1-62 พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบของกรดไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

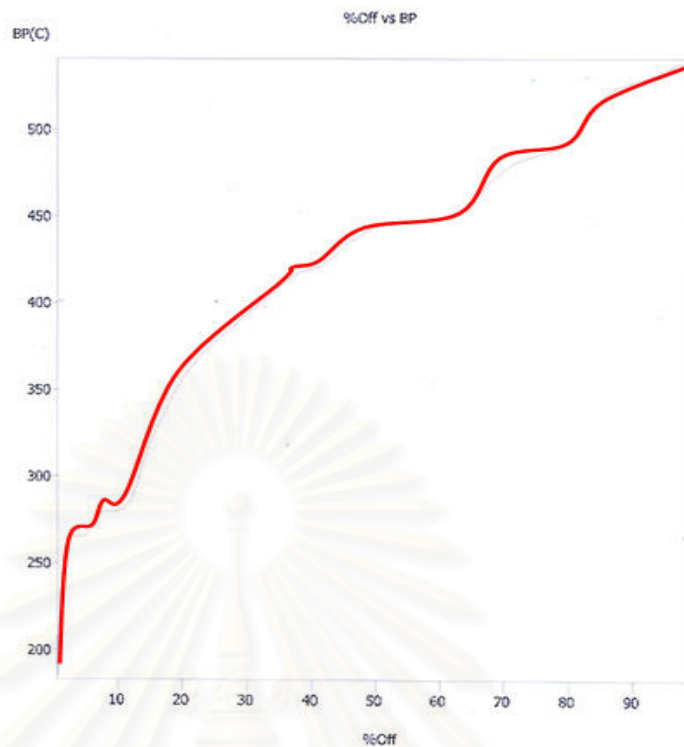
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว [25]

Composition of fatty acid		(%)
C 12:0	Lauric acid	0.32
C 14:0	Myristic acid	0.93
C 16:0	Palmitic acid	38.38
C 18:0	Stearic acid	4
C 20:0	Arachidic acid	0.34
Total saturate fatty acid		43.97
C 16:1	Palmitoleic acid	0.25
C 18:1	Oleic acid	45.59
C 18:2	Linoleic acid	10.03
C 18:3	Linolenic acid	0.16
Total unsaturate fatty acid		56.03

พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 43.97 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 16 และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 56.03 เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเช่นกัน โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 18 [26]

การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ตามวิธี ASTM2887-D86 สามารถหาองค์ประกอบเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ดังแสดงในรูปที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด [24]

พบว่าน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วมีองค์ประกอบเทียบเท่าผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph [24]

องค์ประกอบ	% SELECTIVITY
Naphtha	0.00
Kerosene	3.24
Light gas oil	8.13
Heavy gas oil	10.05
Long residue	78.58

โดยน้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น กากน้ำมันมากถึงร้อยละ 78.58 ซึ่งจะเห็นว่าน้ำมันพืชใช้แล้วประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก และไม่พบปริมาณของ แนฟทาเลยซึ่งแนฟทาเป็นผลิตภัณฑ์หลักของงานวิจัยนี้ที่ต้องการสังเคราะห์ขึ้น

4.1.3 วิเคราะห์หาค่าความหนืดของน้ำมันพีซีใช้แล้ว

วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องหาค่าความหนืด และคำนวณค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส พบว่ามีความหนืดเท่ากับ 52.86 mm²/s

อิทธิพลของตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษา และหาภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยศึกษาถึงภาวะที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ซึ่งผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีลักษณะเป็นน้ำมันซึ่งสามารถหาร้อยละของการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หรือร้อยละการเปลี่ยน แล้วนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยศึกษาจากค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph (DGC)

การทดลองแบ่งออกเป็น

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ ตาม ASTM D2887 เป็นแนฟทา (Naphtha) เคโรซีน (Kerosene) แก๊สออยล์เบา (Light gas oil) แก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil) และกากน้ำมัน (Long residue)

ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยศึกษาถึง

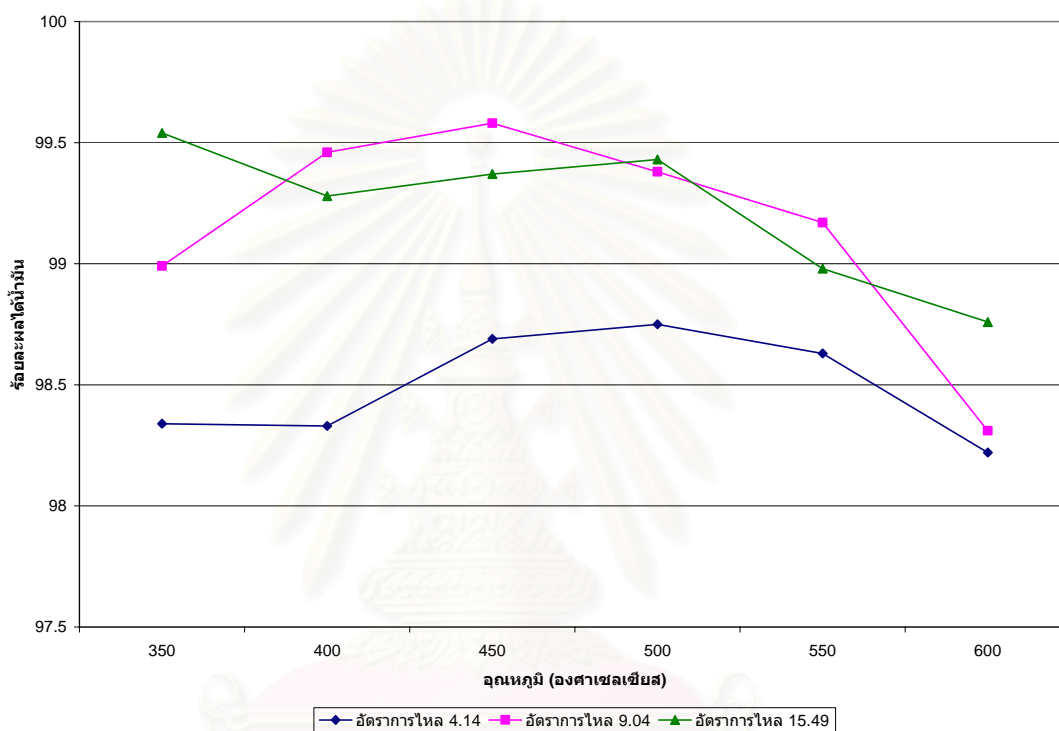
1. อุณหภูมิ (350-600 องศาเซลเซียส)
2. อัตราการไหล (4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที)

4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

ทำการศึกษาถึงการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ ดังนี้

1. อุณหภูมิ	350, 400, 450, 500, 550, 600	องศาเซลเซียส
2. อัตราการไหลคงที่	4.14, 9.04, 15.49	กรัมต่อนาที

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารตั้งต้นเกิดการแตกตัวให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันไม่แตกต่างกันมากในแต่ละอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลของปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

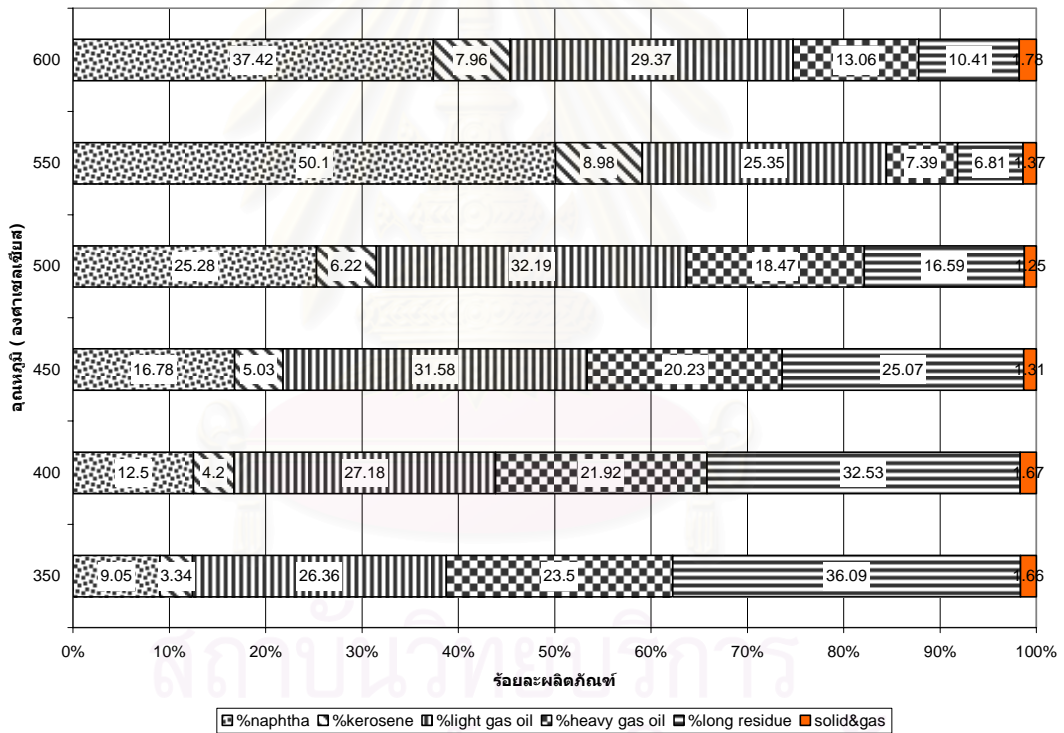
พบว่าในการทดลองที่อัตราการไหลทั้ง 3 จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 98 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนจะเป็นของเหลวในปริมาณมาก และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งและแก๊สปริมาณน้อย โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงน้ำมันจะเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สได้ดี จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวลดลง โดยที่อัตราการไหล 4.14 กรัมต่อนาที จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันน้อยที่สุด

เนื่องจากพื้นที่ภายในท่อมากแต่ปริมาณน้ำมันที่ไหลเข้าไปน้อย ทำให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊ส และที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาทีจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมากที่สุด

4.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้

4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 4.14 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.3

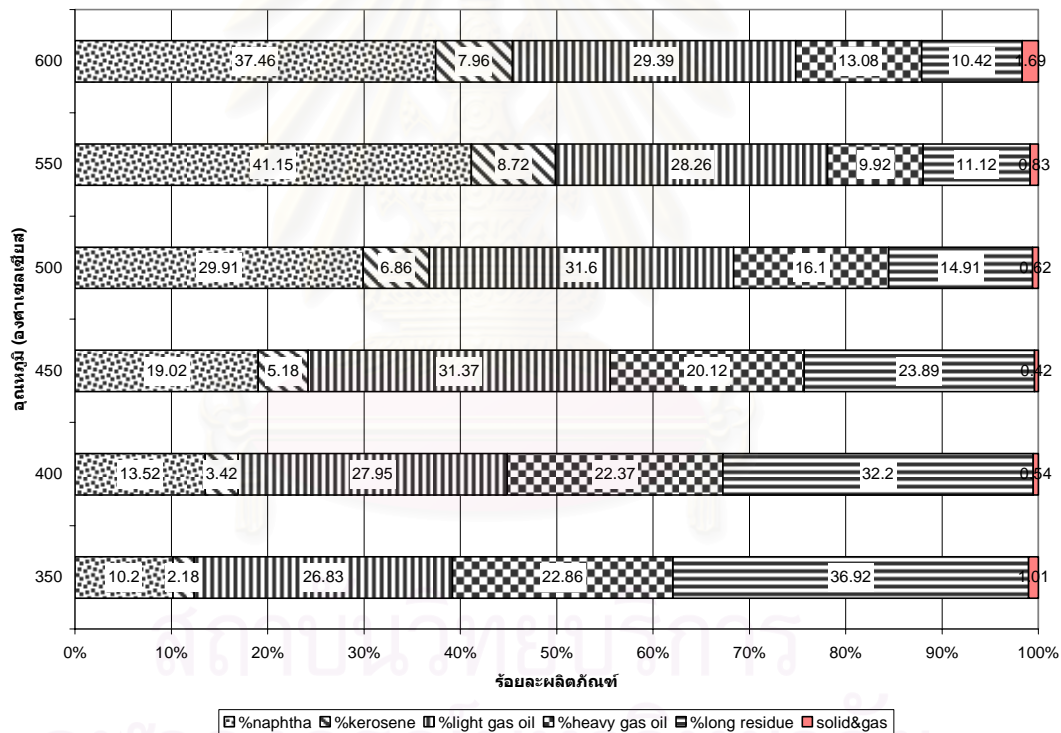


รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14 กรัมต่อนาที

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา เคโรซีน และแก๊สออลด์ชนิดเบามากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้น

จะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่นั้นแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงมีปริมาณแอฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแอฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 50.1 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสได้ปริมาณของแอฟทาลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมากน้ำมันเกิดการแตกตัวได้มาก ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวก C₁ - C₄ ซึ่งเป็นแก๊สมากขึ้น

เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่ออนาที อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.4

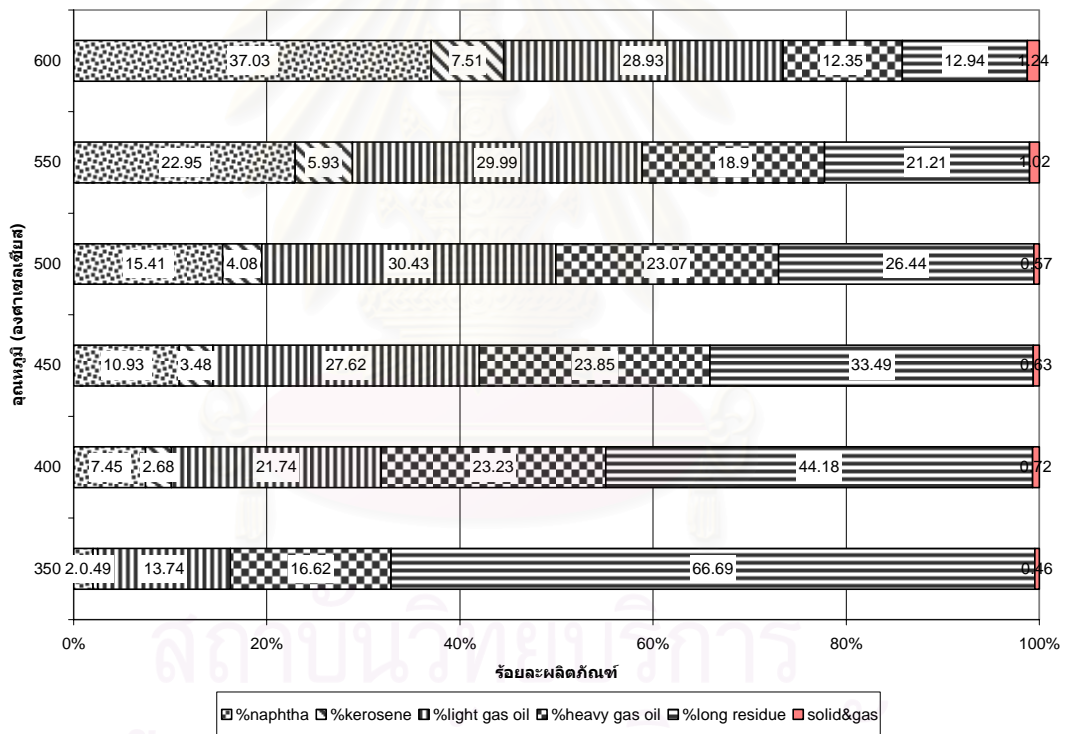


รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่ออนาที

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแอฟทา เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น มีปริมาณแก๊สออยล์หนัก

และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ นั้นแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงมีปริมาณเนฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณเนฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 41.15 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสได้ ปริมาณของเนฟทาลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมากน้ำมันเกิดการแตกตัวได้มาก ทำให้เกิดเป็น โมเลกุลขนาดเล็กจำพวก C₁ - C₄ ซึ่งเป็นแก๊สมากขึ้น

เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการ กระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงใน รูปที่ 4.5



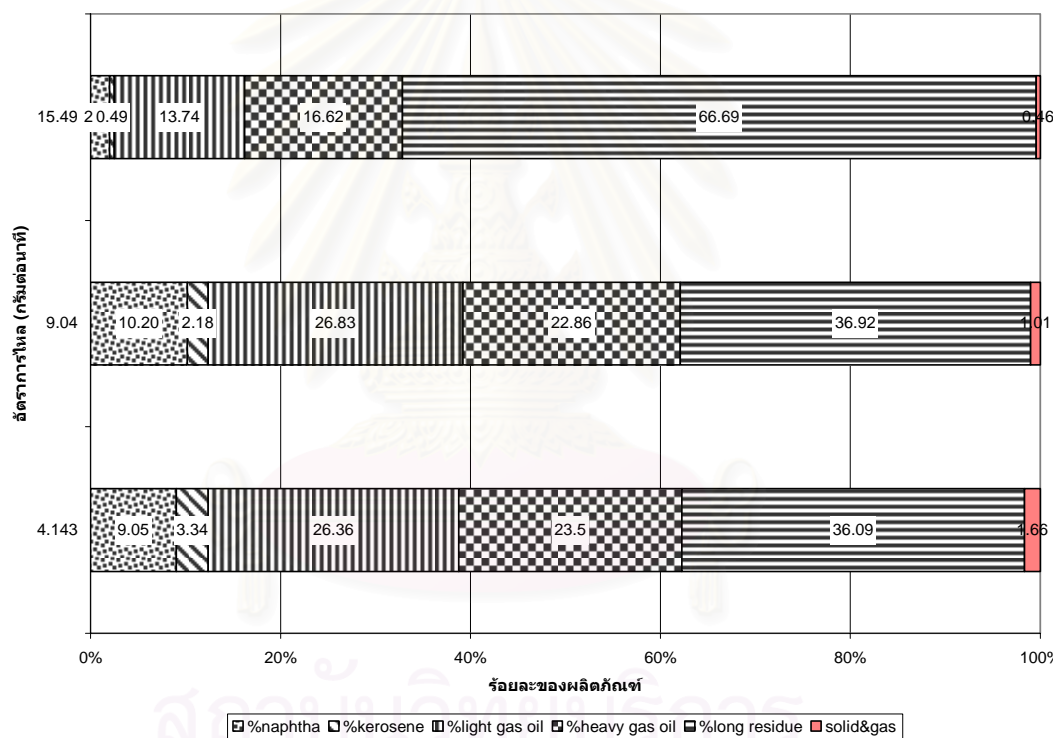
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของ ผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นเนฟทา เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น มีปริมาณแก๊สออยล์หนัก

และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ นั้นแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงมีปริมาณแอฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแอฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 37.03

4.3.2 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6

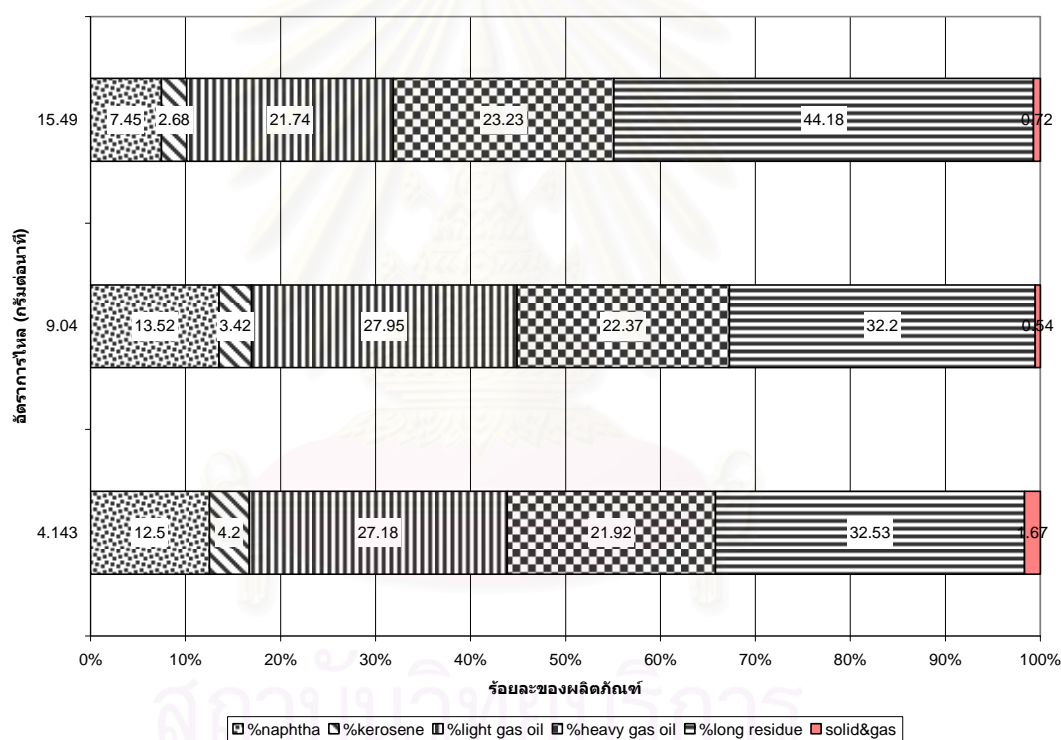


รูปที่ 4.6 ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แอฟทา เครโซลีนที่น้อย ให้ปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่มาก เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้ไม่ดีจึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มี

โมเลกุลขนาดใหญ่มากคือ แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมัน และมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กน้อยคือ แนฟทา เคโรซีน โดยที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่มากที่สุดคือร้อยละ 10.20 และอัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่น้อยที่สุดเนื่องจากเวลาที่น้ำมันอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์น้อย ที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันจึงยังไม่เกิดการแตกตัว

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.7

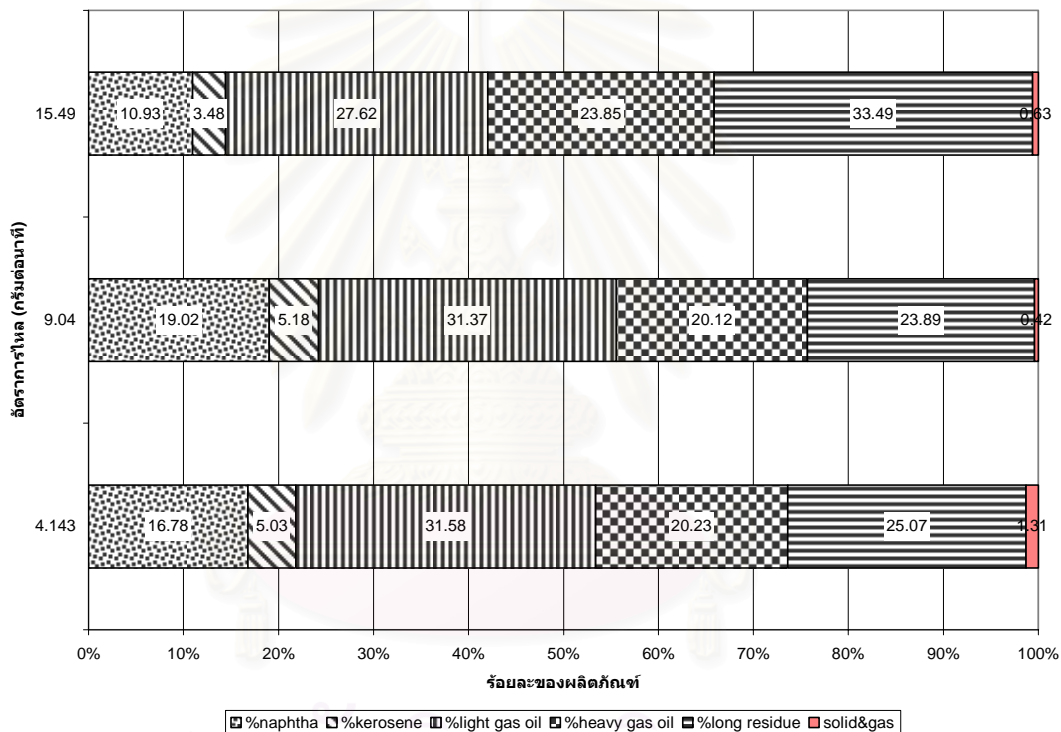


รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่น้อย ให้ปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่มาก เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้ไม่ดีจึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มี

โมเลกุลขนาดใหญ่มากคือ แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมัน และมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กน้อยคือ แนฟทา เครอซีน โดยที่อัตราการใช้ 9.04 กรัมต่ออนาทิ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่มากที่สุดคือร้อยละ 13.52 และอัตราการใช้ 15.49 กรัมต่ออนาทิ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการใช้ภายในเครื่องปฏิกรณ์เร็ว และอุณหภูมิที่ต่ำทำให้น้ำมันจึงยังไม่เกิดการแตกตัว

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการใช้ 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.8

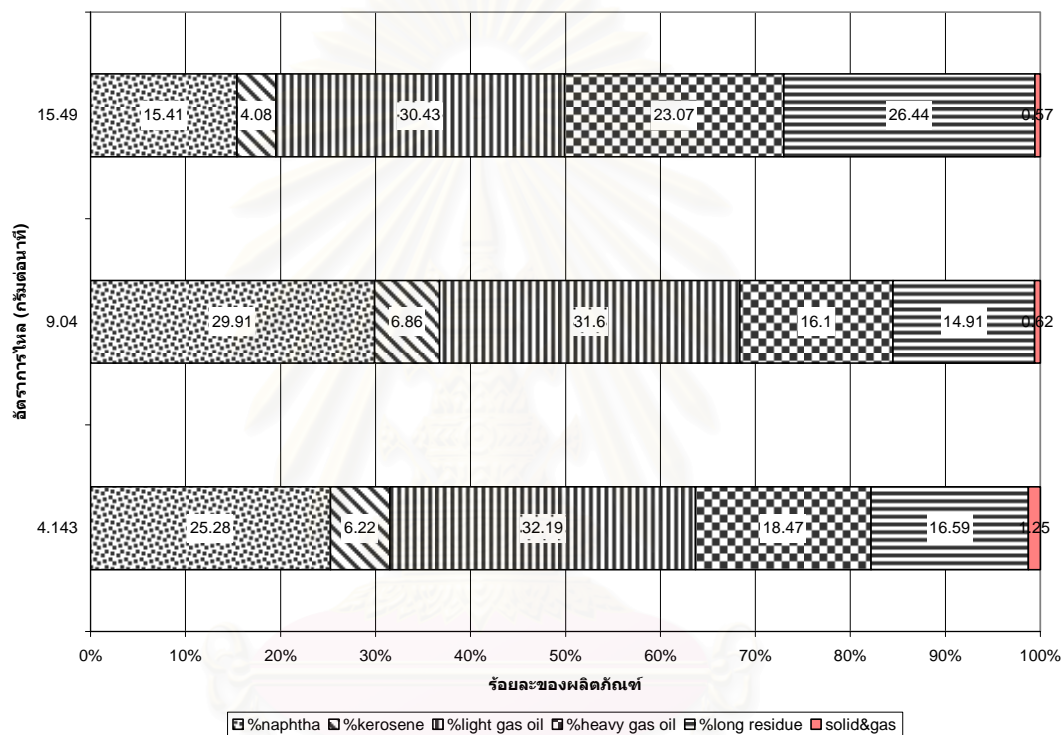


รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการใช้ที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการใช้ 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการใช้ 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เครอซีนที่น้อย ให้ปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่มาก เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้ไม่ดีจึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากคือ แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมัน และมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาด

เล็กน้อยคือ แนฟทา เคโรซีน โดยที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่มากที่สุดคือร้อยละ 19.02 และอัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่น้อยที่สุดเนื่องจากเวลาน้อย และอุณหภูมิที่ต่ำทำให้น้ำมันจึงยังไม่เกิดการแตกตัว

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.9

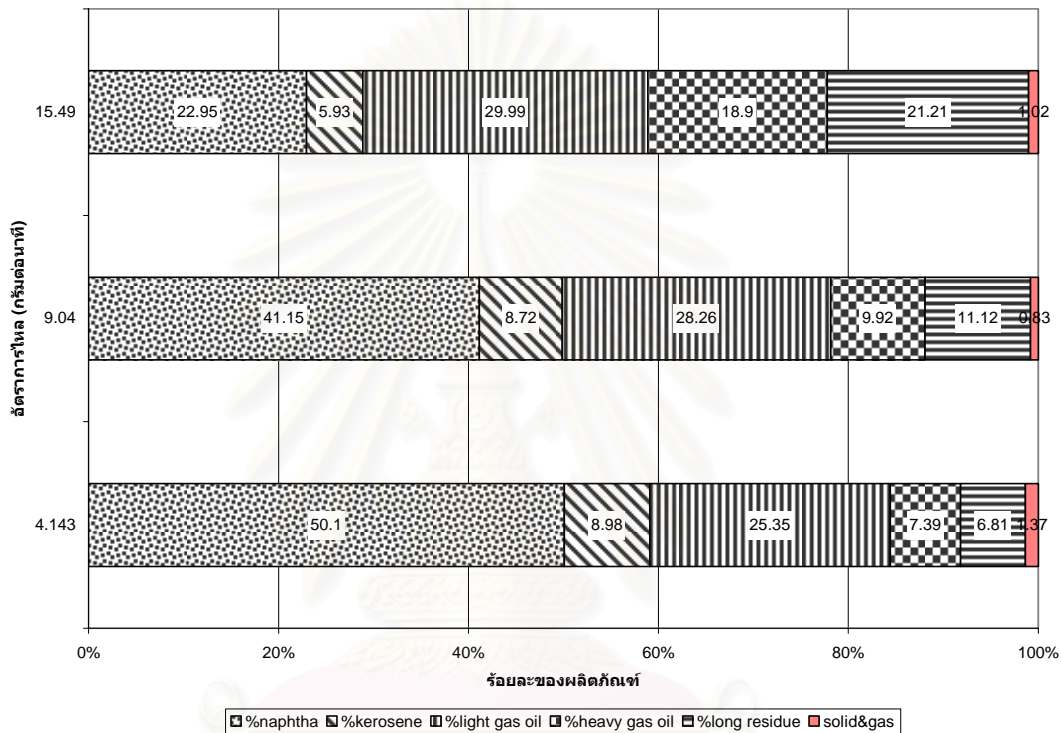


รูปที่ 4.9 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่มากขึ้น ให้ปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่ลดลงมาก เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้ น้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้ดีจึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่คือ แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมันที่น้อยลง และมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กคือ แนฟทา เคโรซีนมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่มากที่สุดคือร้อยละ 29.91 และอัตราการไหล

15.49 กรัมต่ออนาทิ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่น้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่น้ำมันอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์น้อย ทำให้น้ำมันจึงยังไม่เกิดการแตกตัว

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.10

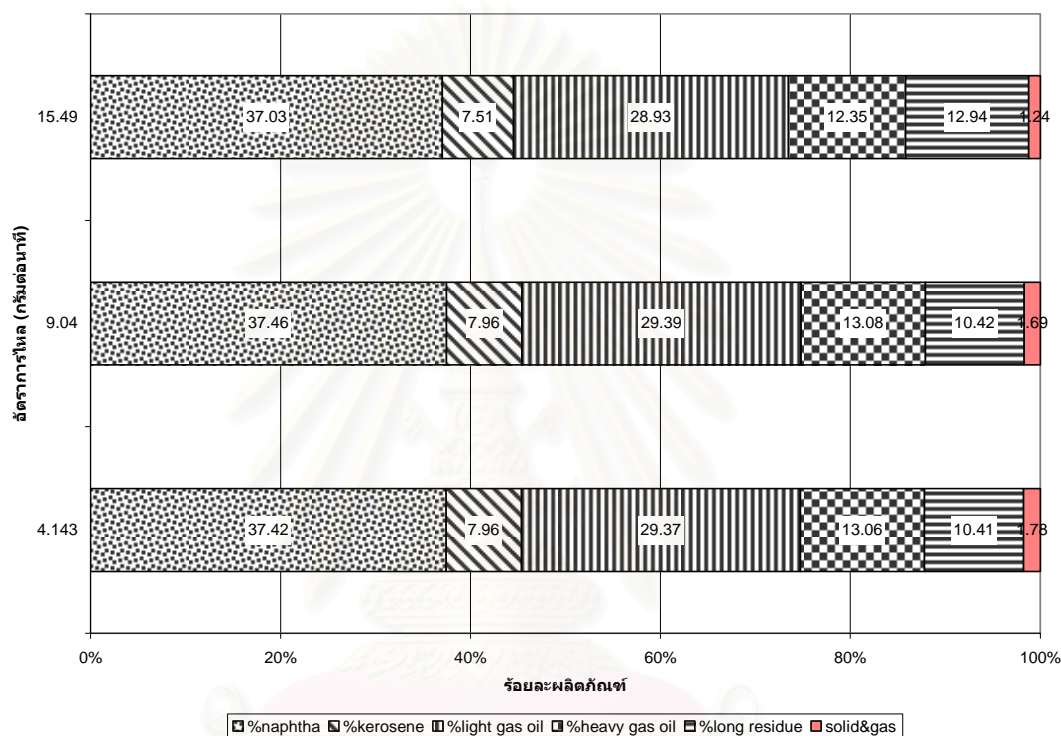


รูปที่ 4.10 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่ออนาทิ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้น้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้มากขึ้นทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่เพิ่มขึ้น ให้ปริมาณแก๊สออกยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่น้อยลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงน้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้ดีจึงทำให้ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากคือ แก๊สออกยล์หนัก กากน้ำมัน แตกตัวกลายเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางคือ แก๊สออกยล์เบา และต่อมาแตกตัวกลายเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กคือ แนฟทา เคโรซีน โดยที่อัตราการไหล 4.14 กรัมต่ออนาทิ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่มากที่สุดคือร้อยละ 50.1 เนื่องจาก

เวลาที่น้ำมันอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์นานกว่าอัตราการไหลอื่น ทำให้น้ำมันแตกตัวกลายเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กคือ แนฟทาได้มากขึ้น

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.11

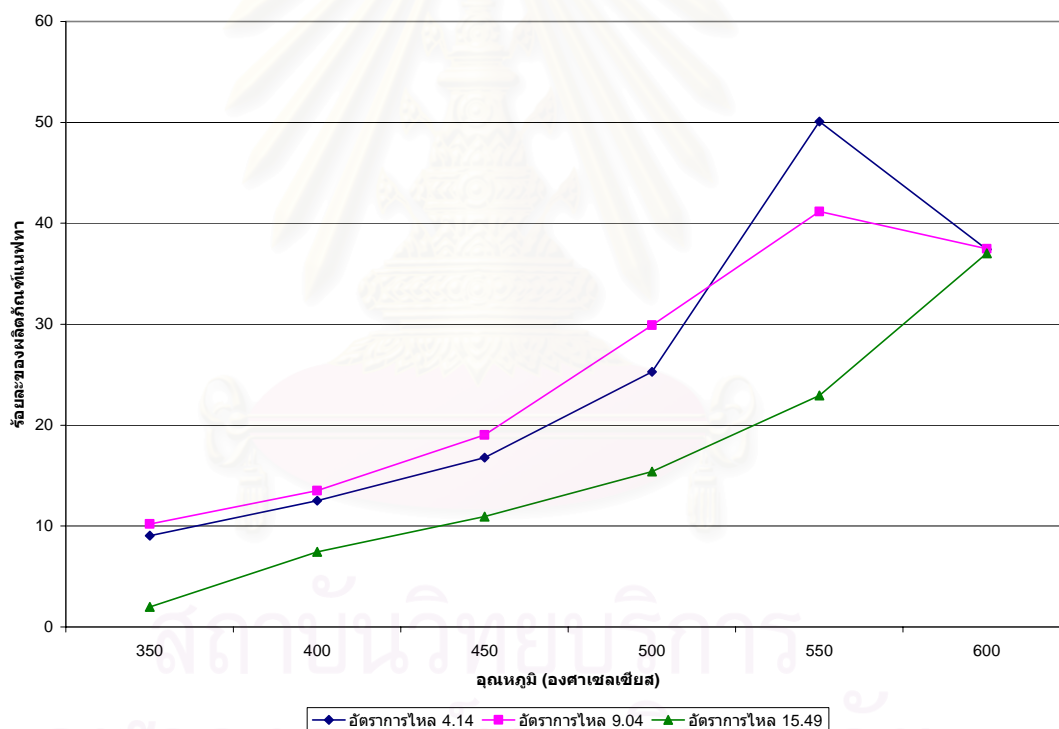


รูปที่ 4.11 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที อุณหภูมิที่สูงทำให้น้ำมันพีซีใช้แล้วเกิดการแตกตัวได้มากขึ้นจึงทำให้ที่อัตราการไหล 4.14 และ 9.04 กรัมต่อนาที มีปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่ลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมาก น้ำมันเกิดการแตกตัวได้มาก ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวก $C_1 - C_4$ ซึ่งเป็นแก๊สมากขึ้น และที่อัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาที มีปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราการไหลที่เร็วจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงจึงจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทา เคโรซีนที่สูง โดย

ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลทั้งสามจะให้ปริมาณแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา แก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่ใกล้เคียงกัน

จากการวิเคราะห์หาร้อยละผลได้ของแนฟทาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำ (350 องศาเซลเซียส) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาทัน้อย เนื่องจากอุณหภูมิสูงไม่เพียงพอที่จะทำให้ น้ำมันเกิดการแตกตัว และเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นจะเกิดการแตกตัวของน้ำมันได้ผลิตภัณฑ์แนฟทามากขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงที่สุด (600 องศาเซลเซียส) ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาลดลง เนื่องจาก อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัวกลายเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กพวก $C_1 - C_4$ มากขึ้นจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาลดลง ดังนั้นอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการแตกตัวของน้ำมันพีซีใช้แล้ว คือ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.12

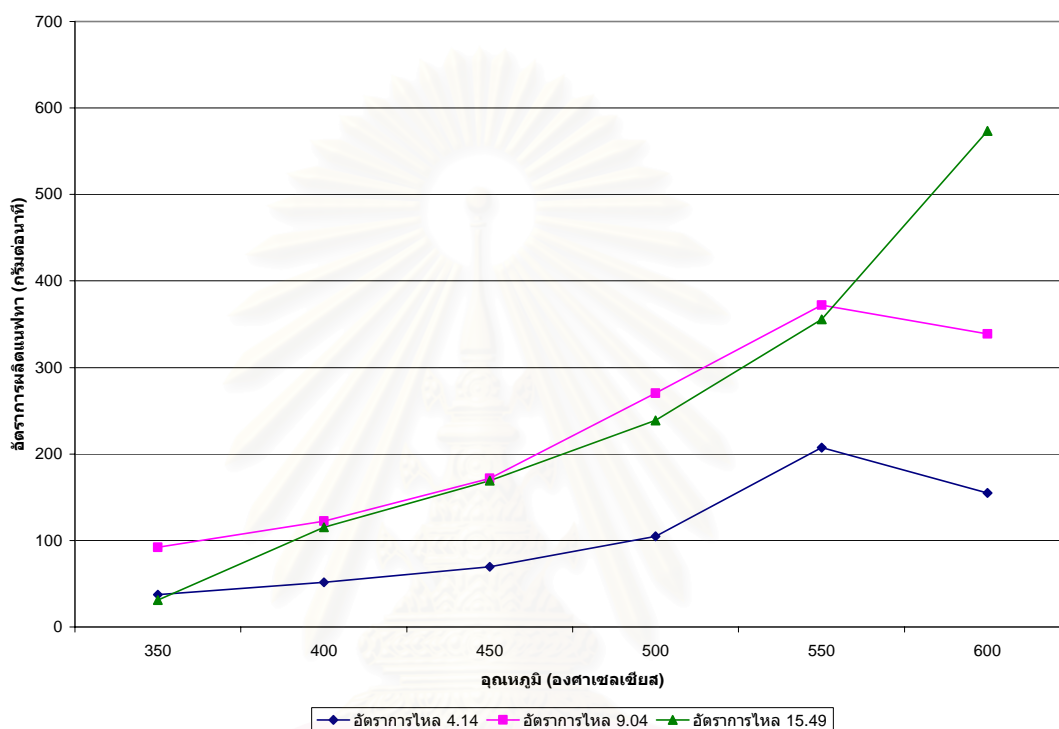


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แนฟทาที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

และจากการวิเคราะห์หาร้อยละผลได้ของแนฟทาทั้งหมด พบว่าเมื่ออัตราการไหลมาก (15.49 กรัมต่อนาที) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาทัน้อย เนื่องจากเกิดการไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์เร็ว น้ำมันเวลาที่น้ำมันอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์จึงน้อย ทำให้น้ำมันแตกตัวได้น้อยผลิตภัณฑ์

แนฟทาจึงน้อย ส่วนที่อัตราการไหลน้อย (4.14 กรัมต่อนาที) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาที่น้อย เนื่องจากเวลาที่น้ำมันอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์มากทำให้น้ำมันแตกตัวกลายเป็นแก๊สมาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แนฟทาน้อย ดังนั้นอัตราการไหลที่ดีที่สุดคือที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

เมื่อทำการศึกษาอัตราการผลิตแนฟทาต่ออนาทีที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการผลิตแนฟทาต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450, 500, 550, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที

พบว่าที่อัตราการไหล 4.14 กรัมต่อนาทีจะผลิตแนฟทาได้น้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่อยู่ในเครื่องนาน ทำให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นแนฟทาน้อย ส่วนที่อัตราการไหล 15.49 กรัมต่อนาทีจะผลิตแนฟทาได้มากที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลที่เร็วที่อุณหภูมิต่ำจึงเกิดการแตกตัวได้ไม่ดี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและประกอบกับปริมาณน้ำมันที่มาก ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์แนฟทามากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะผลิตแนฟทาได้มากที่สุดคือ 5.75 กรัมต่อนาที

อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

การทดลองแบ่งออกเป็น

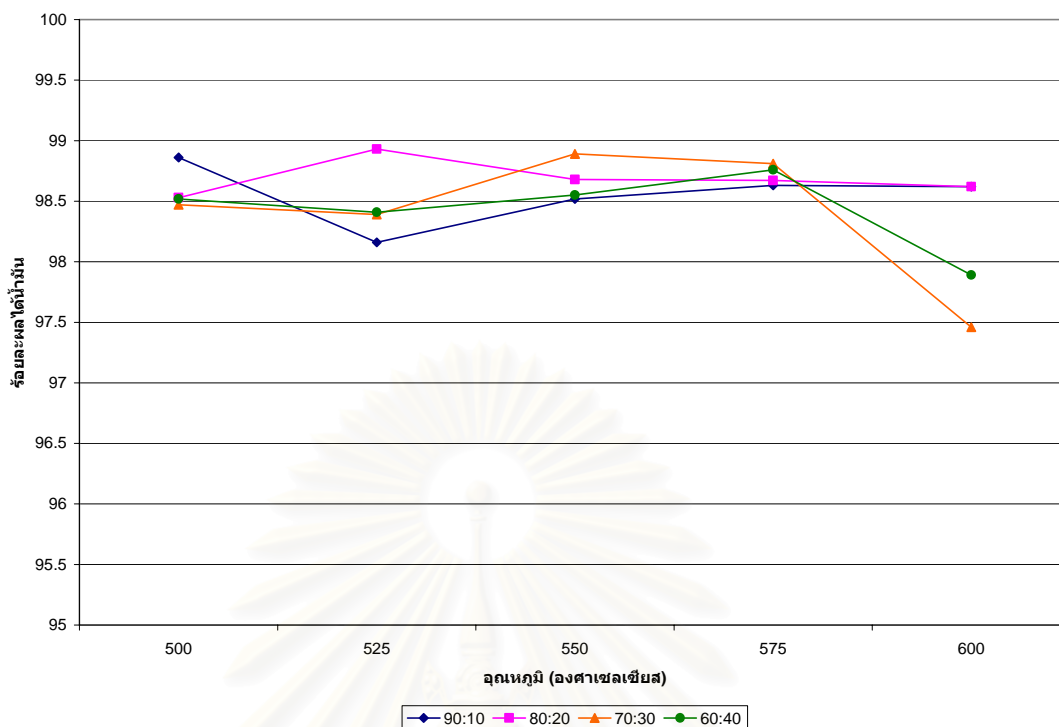
1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
2. ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ ตาม ASTM D2887 เป็นแนฟทา (Naphtha) เคโรซีน (Kerosene) แก๊สออยล์เบา (Light gas oil) แก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil) และกากน้ำมัน (Long residue)
3. วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
4. วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยศึกษาถึง

- | | | |
|---|--|--------------|
| 1. อุณหภูมิ | 500, 525, 550, 575, 600 | องศาเซลเซียส |
| 2. อัตราการไหลคงที่ | 9.04 | กรัมต่อนาที |
| 3. อัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน | อัตราส่วนที่ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก | |

4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.14



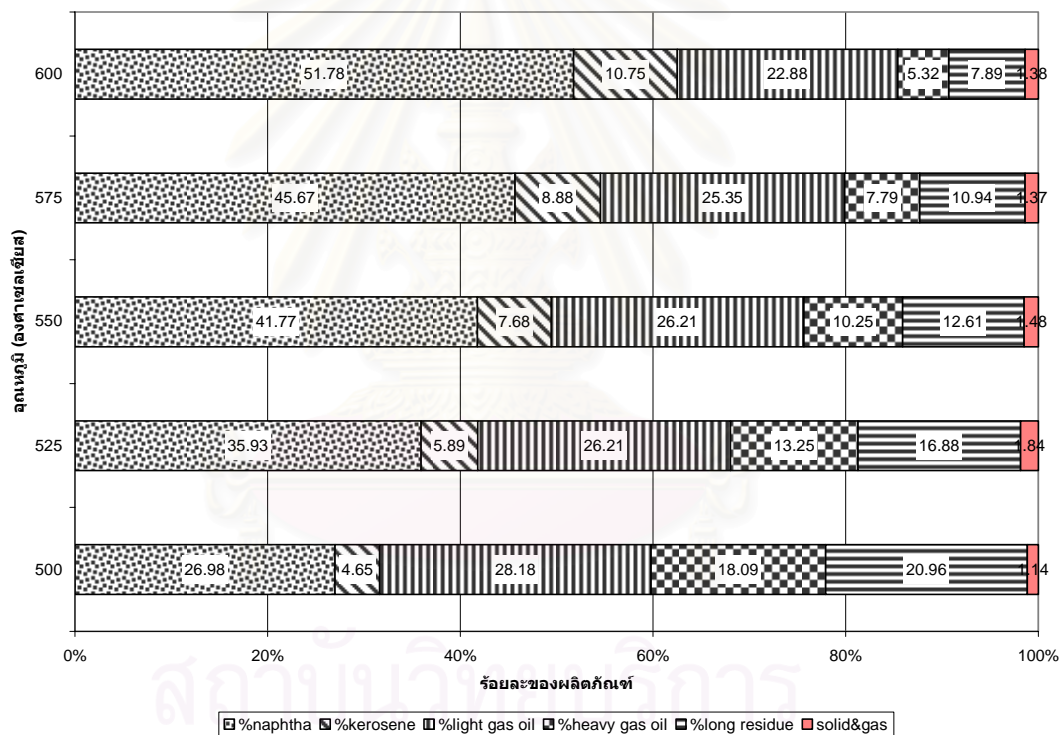
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลของปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิस्टาไทริน และน้ำมันพีซีใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิस्टาไทริน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก

พบว่าที่อัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิस्टาไทรินต่างๆ จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 97 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวที่มาก และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งและแก๊สที่น้อย โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงน้ำมันจะเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สมากขึ้น จึงได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวลดลง

4.5 การศึกษาผลหาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ ตาม ASTM D2887 เป็นแนฟทา (Naphtha) เคโรซีน (Kerosene) แก๊สออยล์เบา (Light gas oil) แก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil) และกากน้ำมัน (Long residue)

4.5.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 90:10 โดยน้ำหนัก ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.15

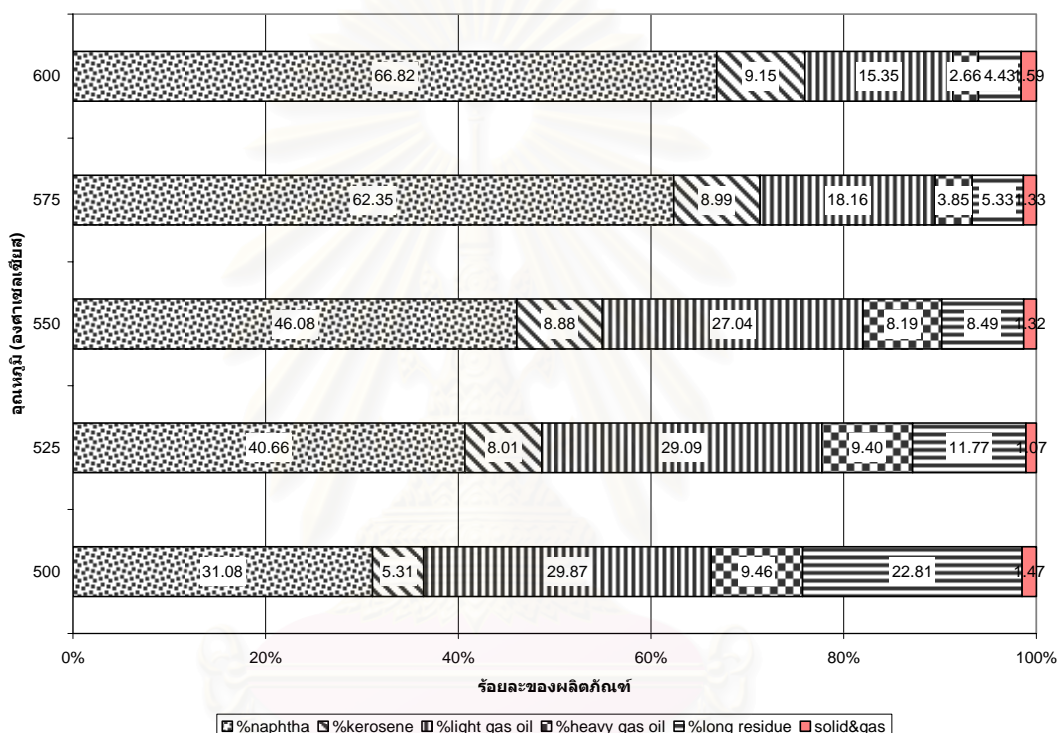


รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90:10 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส ช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา เคโรซีนมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นแตกตัวได้ดีขึ้นจึงมี

ปริมาณเนฟตามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณเนฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 51.78

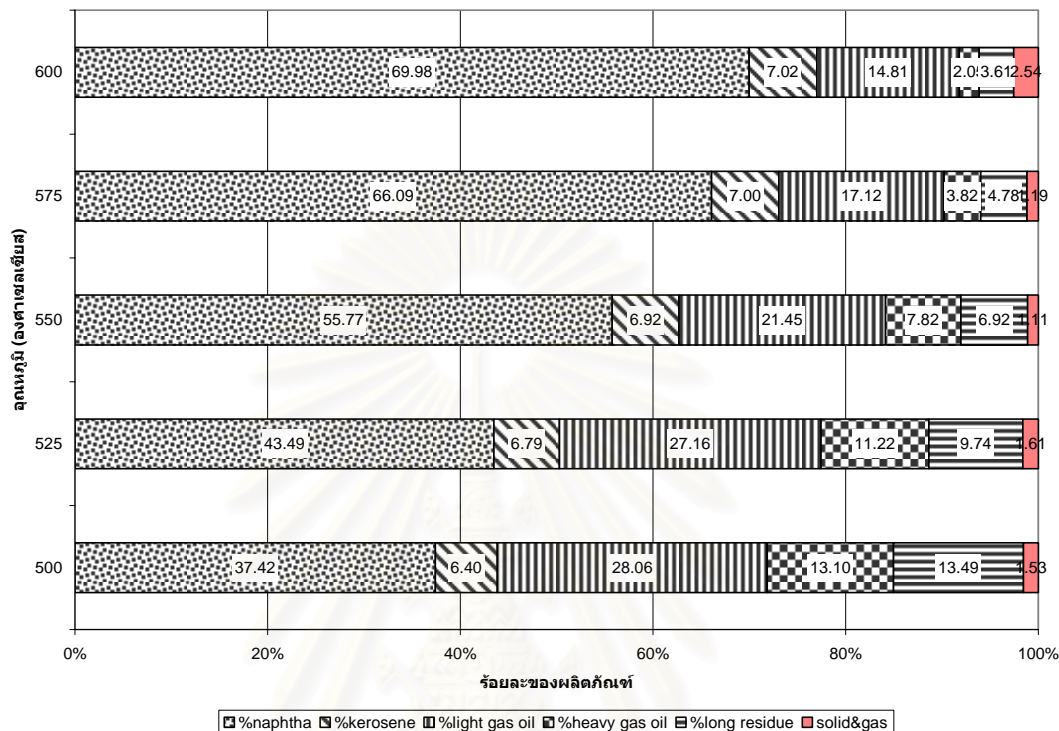
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 80:20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส ช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นเนฟทา เคโรซีนมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ นั้นแตกตัวได้ขึ้นจึงมีปริมาณเนฟตามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณเนฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 66.82

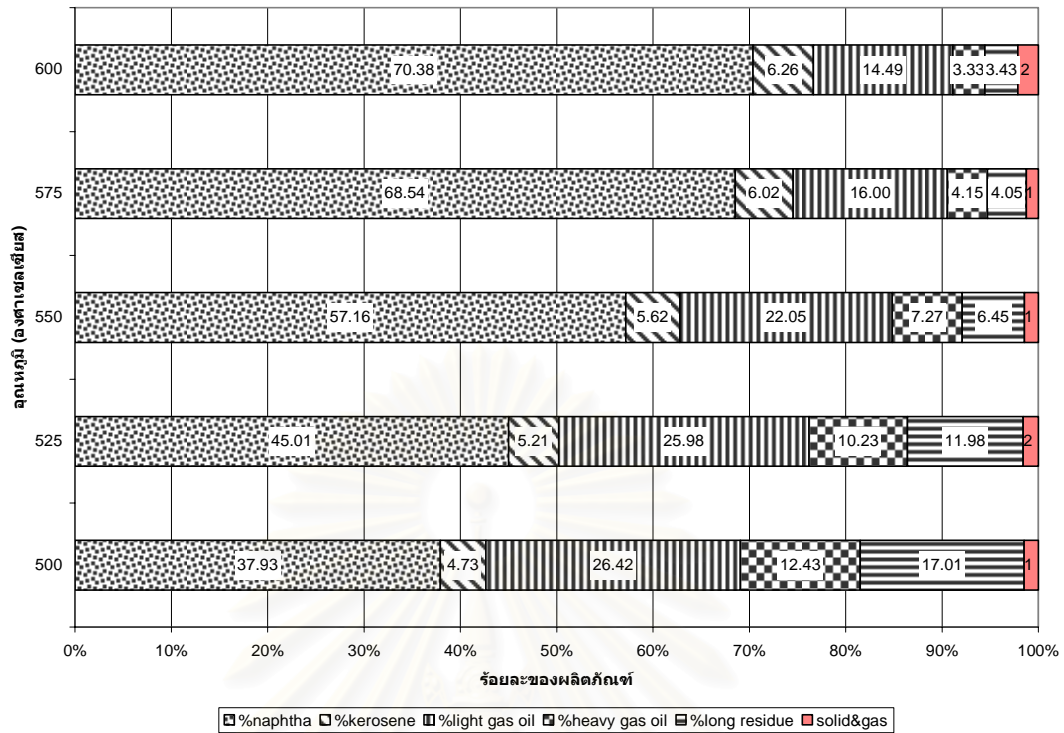
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 70:30 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส ช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา เคโรซีนมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวได้ดีขึ้นจึงมีปริมาณแนฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแนฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 69.98

ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.18

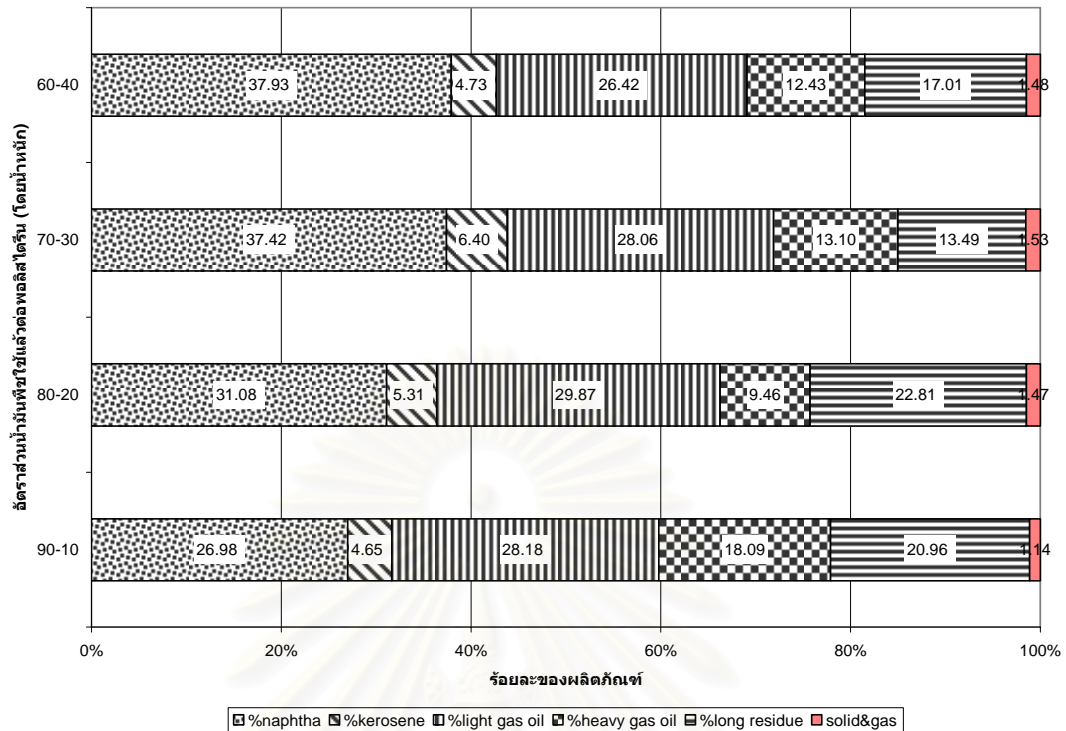


รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิไทริน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส ช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา เคโรซีนมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่แตกตัวได้ดีขึ้นจึงมีปริมาณแนฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแนฟทาที่มากที่สุด คือร้อยละ 70.38

4.5.2 ผลของอัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิไทริน ที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

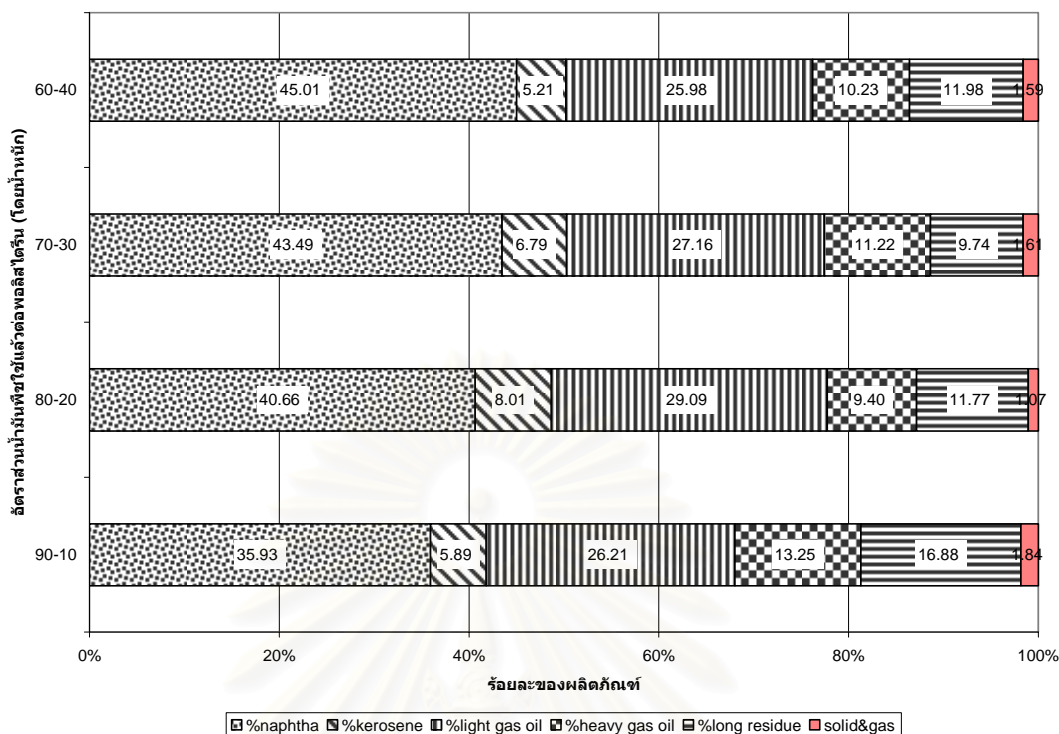
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิไทรินในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนลดลงจะได้ปริมาณของแนฟทา มากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจาก พอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัว ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพีซีทำให้น้ำมันพีซีแตกตัวได้ดี ขึ้นเมื่อรวมกับพอลิสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น โดยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก จะ ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด คือร้อยละ 37.93

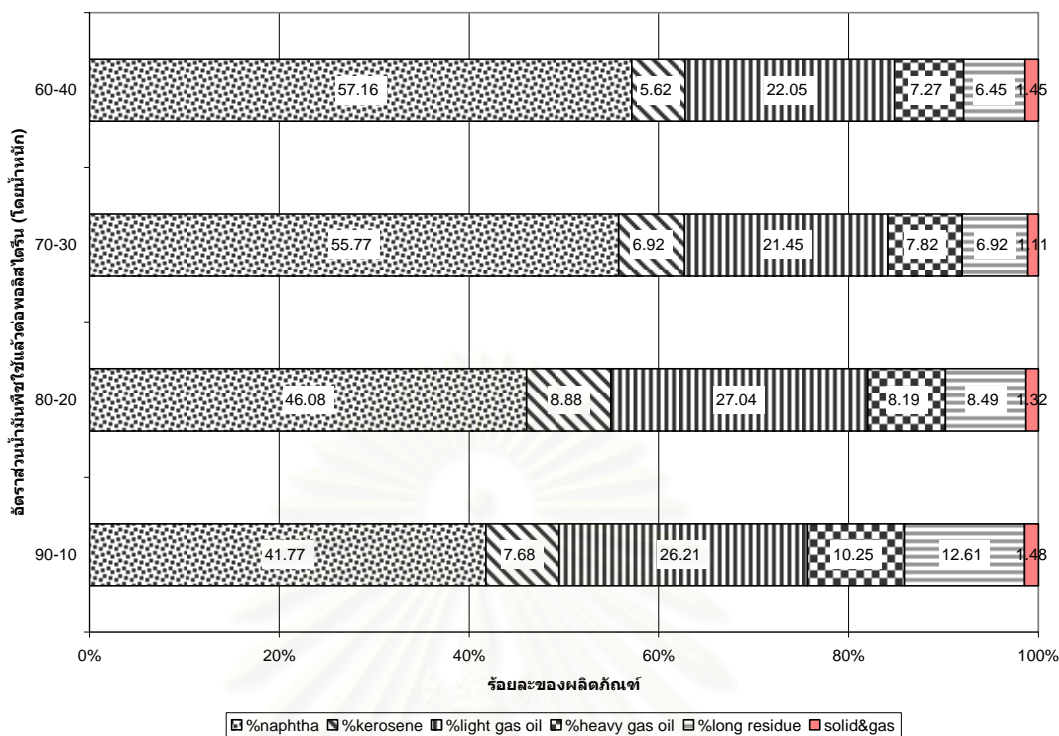
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์ แบบท่อที่อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนลดลงจะได้ปริมาณของแนฟทา มากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจาก พอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัว ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพีซีทำให้น้ำมันพีซีแตกตัวได้ดี ขึ้นเมื่อรวมกับพอลิสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น โดยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก จะ ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด คือร้อยละ 45.01

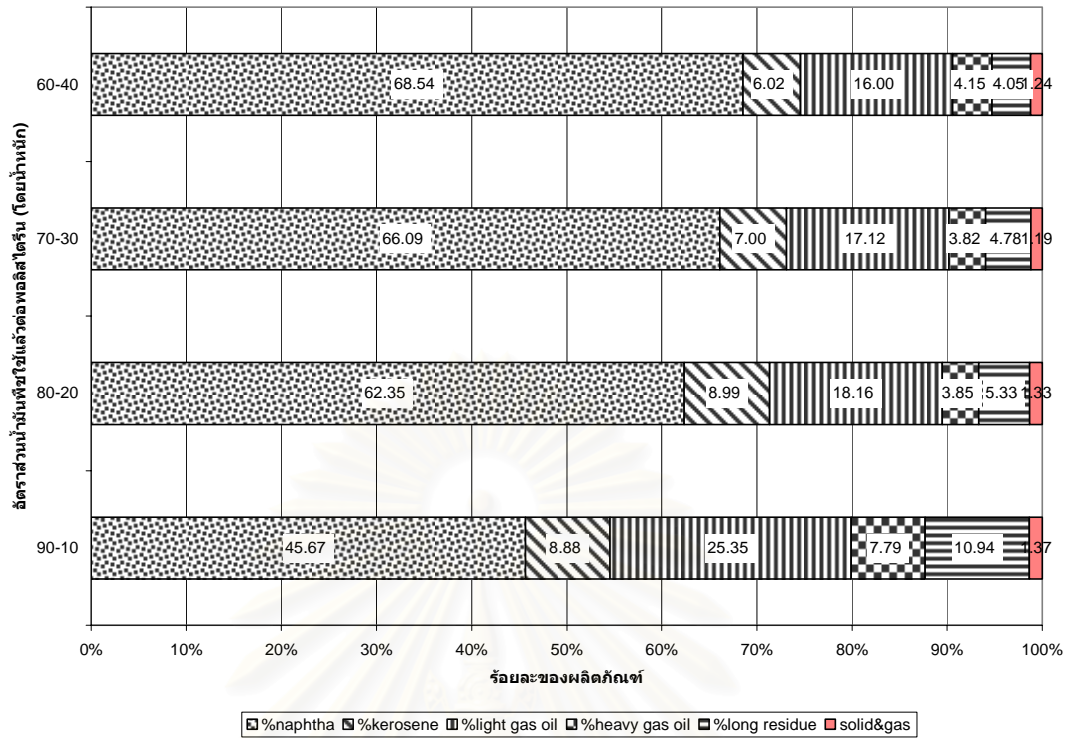
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์ แบบท่อที่อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนลดลงจะได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก พอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัวให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพีซีทำให้น้ำมันพีซีแตกตัวได้ดีขึ้นเมื่อรวมกับพอลิสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น โดยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด คือร้อยละ 57.16

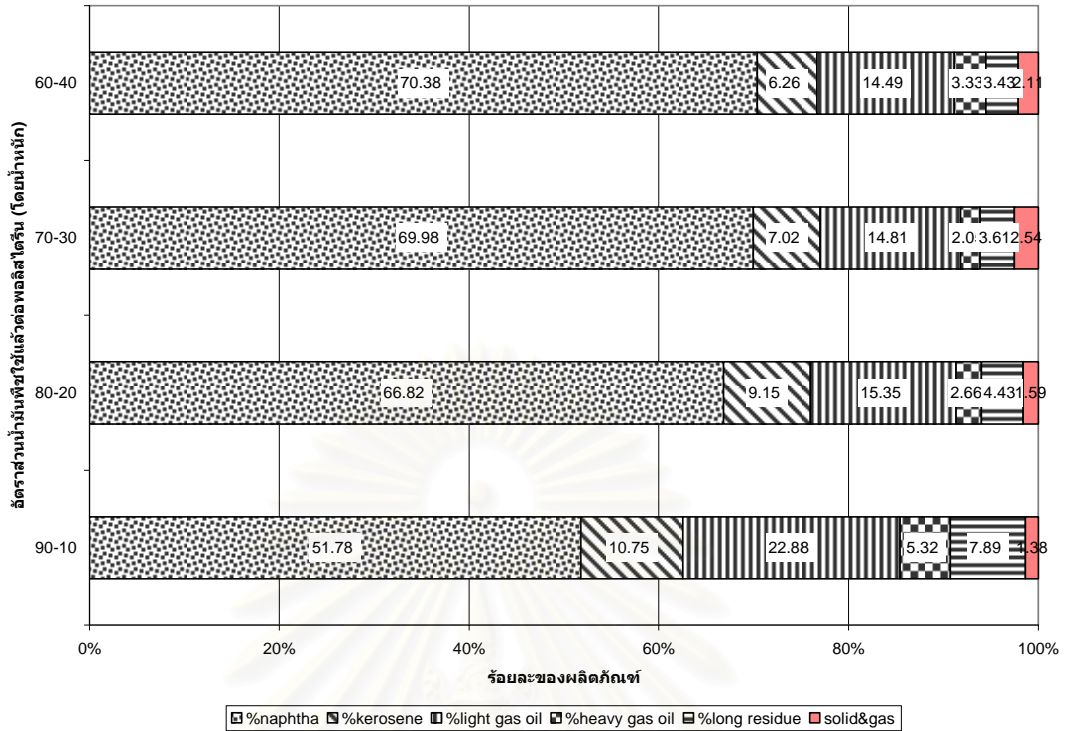
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพลีสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพลีสไตรีนลดลงจะได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก พลีสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัวให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพืชทำให้น้ำมันพืชแตกตัวได้ดีขึ้นเมื่อรวมกับพลีสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น โดยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด คือร้อยละ 68.54

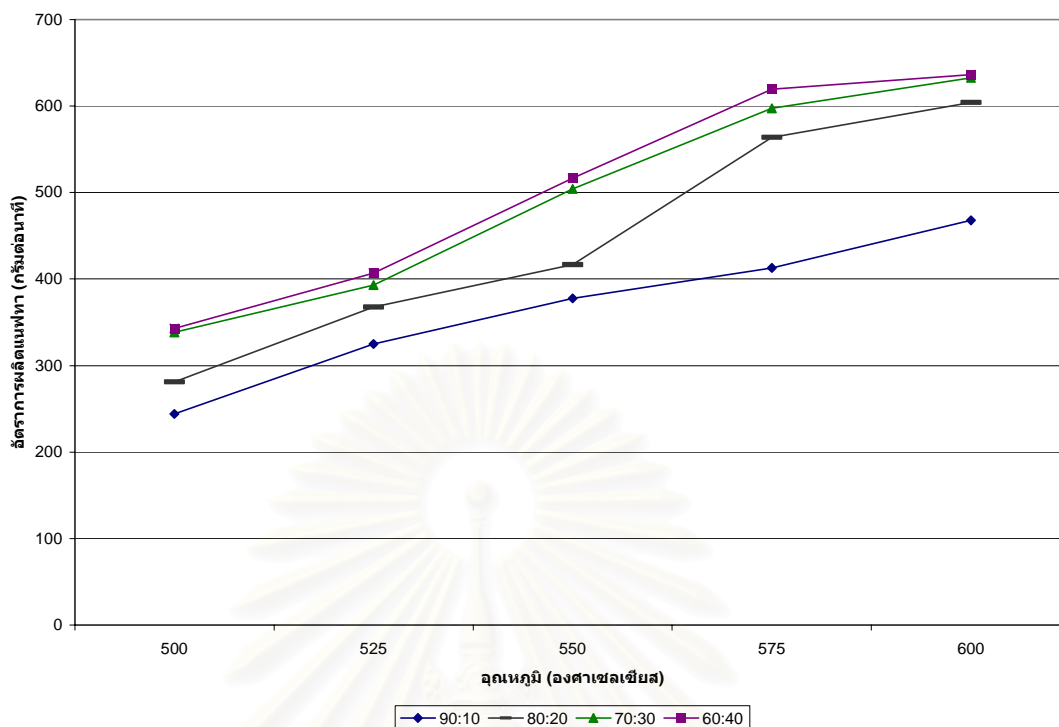
ศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพลีสไตรีนในเครื่องปฏิบัติการแบบท่อที่อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph อัตราส่วนน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60:40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนลดลงจะได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก พอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัวให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพีซีทำให้น้ำมันพีซีแตกตัวได้ดีขึ้นเมื่อรวมกับพอลิสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น โดยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทามากที่สุด คือร้อยละ 70.38

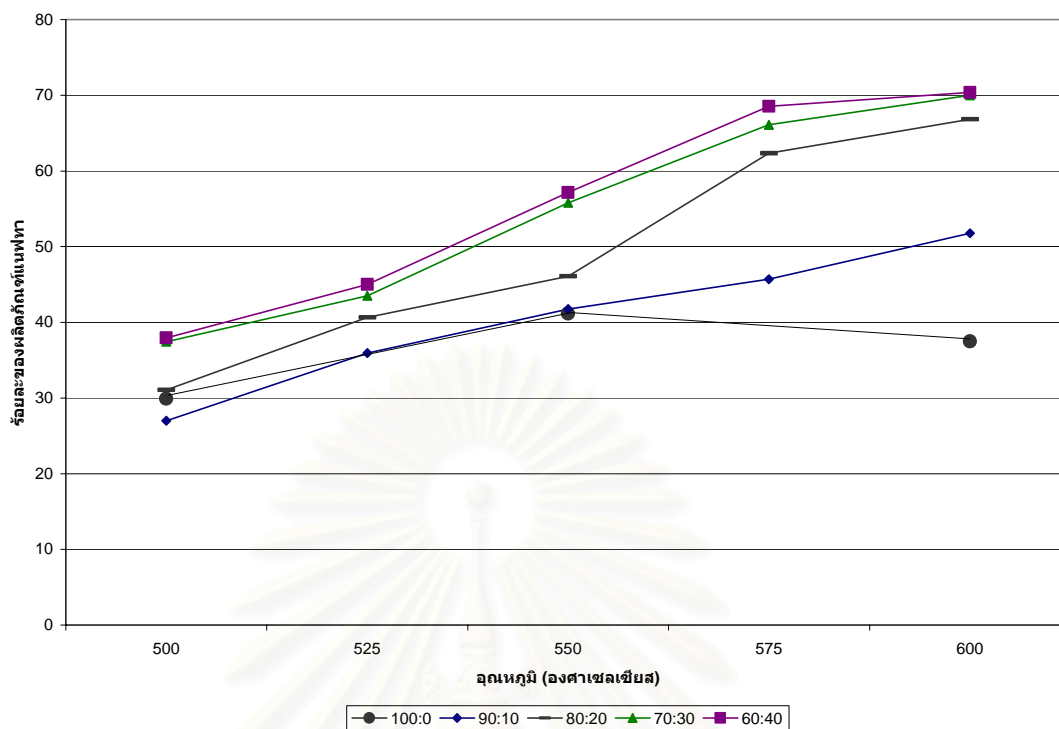
เมื่อทำการศึกษาอัตราการผลิตแนฟทาต่ออนาทีที่อัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบการผลิตแฉฟทาต่ออนาทที่ อัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิโอสไตรีน 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่ออนาท

ที่อัตราการไหลเดียวกันคือ 9.04 กรัมต่ออนาท เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดผลิตภัณฑแฉฟทาที่สูงขึ้นในทุกอัตราส่วน อัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิโอสไตรีน 90 : 10 โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณการผลิตแฉฟทาน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณของพอลิโอสไตรีนที่น้อยที่สุดจึงเกิดการแตกตัวให้ผลิตภัณฑแฉฟทาที่น้อย ส่วนที่อัตราส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิโอสไตรีน 60 : 40 โดยน้ำหนัก ผลิตแฉฟทาได้มาก เนื่องจากมีพอลิโอสไตรีนมากจึงเกิดการแตกตัวเป็นแฉฟทาได้มาก โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะผลิตแฉฟทาได้มากที่สุดคือ 636.24 กรัมต่ออนาท

เมื่อเปรียบเทียบการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว และการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิโอสไตรีนที่อัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่ออนาท ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของปริมาณผลิตภัณฑ์แนฟทาที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 500, 525, 550, 575, 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าใช้น้ำมันพีซีใช้แล้วเพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณของแนฟทาน้อยเพราะน้ำมันพีซีเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่การแตกตัวจำเป็นต้องใช้ที่อุณหภูมิสูง และเวลานานดังนั้นเมื่อใช้น้ำมันพีซีเพียงอย่างเดียวจึงแตกตัวเป็นแนฟทาได้น้อยโดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะได้เป็นแก๊สออลิฟินมากกว่าซึ่งยังเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่อยู่ เมื่อเติมปริมาณของพอลิสไตรีนมากขึ้นจะได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้น และได้กาน้ำมันหนักน้อยลงทั้งนี้เนื่องมาจากพอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างของวงเบนซีนและมีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแตกตัวให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายอีกทั้งยังช่วยให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพีซีทำให้น้ำมันพีซีแตกตัวได้ดีขึ้นเมื่อรวมกับพอลิสไตรีนจึงได้ปริมาณของแนฟทามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิสไตรีนมากขึ้น โดยที่น้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณของแนฟทามากที่สุด

4.6 วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องหาค่าความหนืด และคำนวณค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพีซีใช้แล้วมีความหนืดเท่ากับ 52.86 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อวินาที มีความหนืดเท่ากับ 1.90 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่าการที่ความหนืดลดลงเนื่องมาจากการที่เติมพอลิสไตรีนมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก หากในการทำปฏิกิริยาทำที่อุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะเป็นผลทำให้ไม่สามารถทำให้น้ำมันพีซีสามารถแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ ดังนั้นการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพอลิสไตรีนเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อนและโครงสร้างโมเลกุลมีการเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ สามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายกว่าน้ำมันพีซีจึงทำให้มีความหนืดที่ลดลง

4.7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง [27]

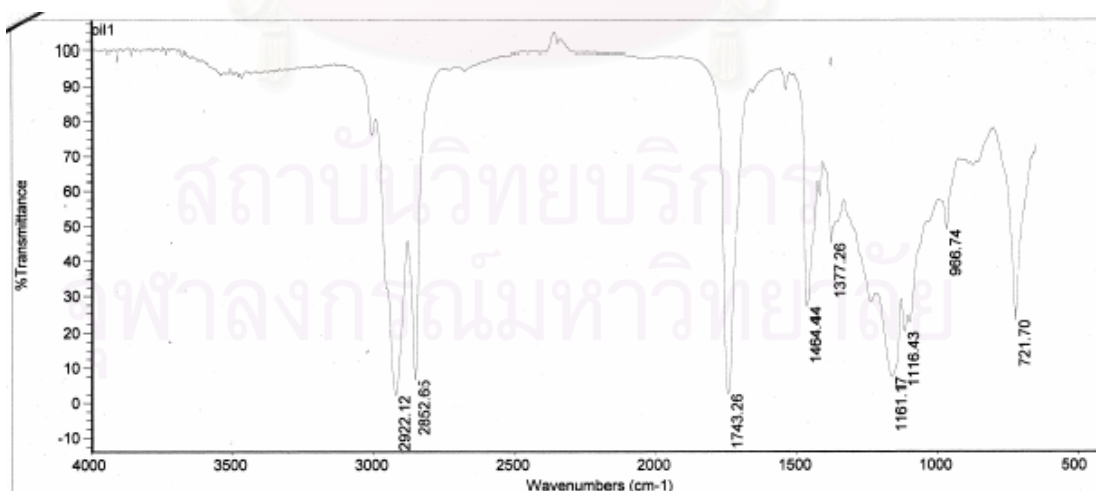
เมื่อนำน้ำมันพีซีใช้แล้วมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อของระบบน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อวินาที พบว่าน้ำมันพีซีใช้แล้วมีพิกที่ 2900 cm^{-1} ของ C-H (stretching) พิกที่ 1730 cm^{-1} ของ C=C-H ของอัลคีนในกรดไขมันไม่อิ่มตัว พิกที่ 1700 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (carbonyl group) พิกที่ 730 cm^{-1} ของ C-H (bending) และไม่พบโครงสร้างของวงแหวนเบนซีน ดังแสดงในรูปที่ 4.26

เมื่อทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันของระบบที่ใช้ น้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อวินาที พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมาก และผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงความเป็นอะโรมาติก (Aromatic compound) ดังแสดงในรูปที่ 4.27 จะเห็นพิกที่เห็นได้ชัดเจนที่ 1600 และ 1500 cm^{-1} ของพันธะคู่ของ C=C ในอะโรมาติก พิกที่ 1700 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (carbonyl group) พิกที่

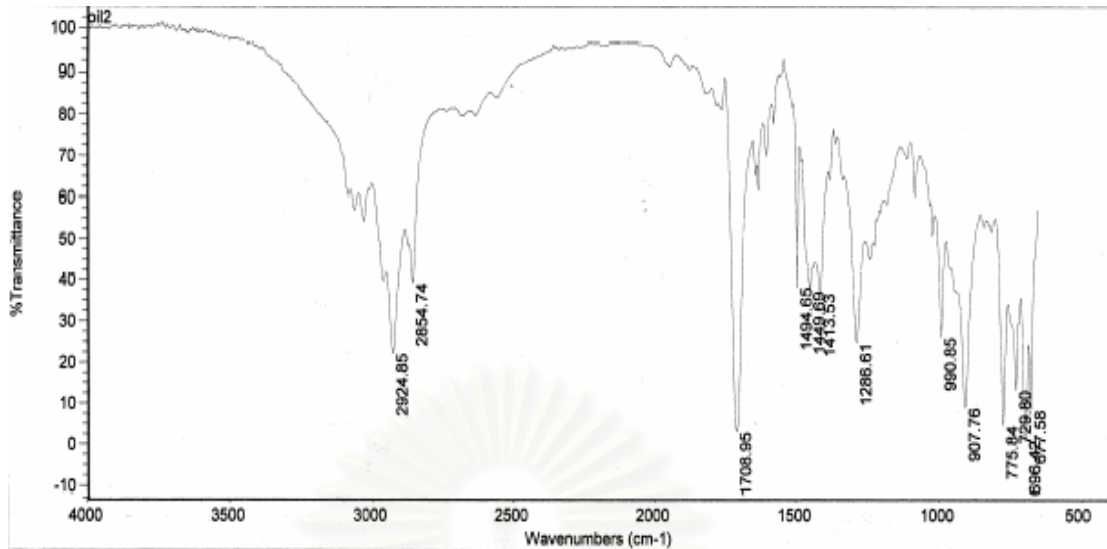
1495 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของเมทิลีน (methylene group) และ 1400 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของเมทิล (methyl group) ส่วนพีกที่เห็นชัดเจนที่ 900 cm^{-1} – 690 cm^{-1} ของวงแหวนเบนซีน พีกที่ 2900 cm^{-1} ของ C - H (stretching) ส่วนที่ 3000 cm^{-1} และ 3100 cm^{-1} ของ = CH ในแอโรแมติกด้วย แสดงว่าน้ำมันพืชใช้แล้วเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งการเพิ่มพอลิस्टาไทรีนมีส่วนช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีขนาดเล็กลงดังจะพบว่าหมู่ฟังก์ชันเป็นเมทิล (methyl group) เกิดขึ้น ส่วนความเป็นแอโรแมติกเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแตกตัวของพอลิस्टาไทรีนทำให้ได้สารประกอบแอโรแมติก

เมื่อนำน้ำมันเบนซีน ออกเทน 95 มาทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็นวงแอโรแมติก (aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมากจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงมีความเป็นแอโรแมติก (Aromatic compound) ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว และพอลิस्टาไทรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ จะเห็นได้ว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายกัน

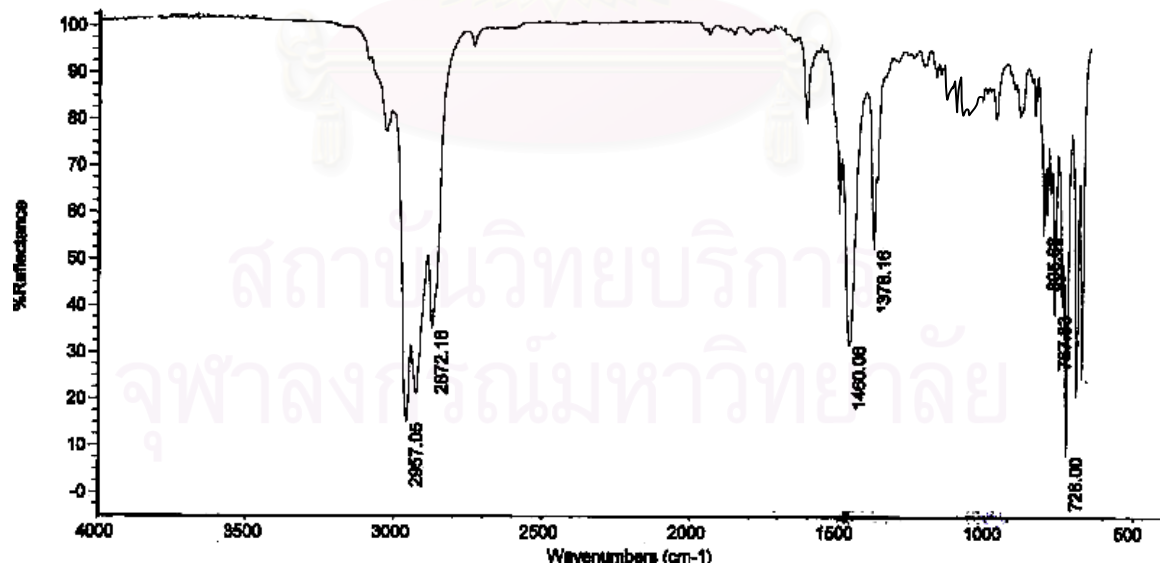
เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ของน้ำมันพืชใช้แล้ว, ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว และพอลิस्टาไทรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อของระบบน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิस्टาไทรีนที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที และน้ำมันเบนซีนออกเทน 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.26 FTIR spectrum จากน้ำมันพืชใช้แล้ว



รูปที่ 4.27 FTIR spectrum จากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.28 FTIR spectrum จากน้ำมันเบนซินออกเทน 95

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

ช่วงความถี่ (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	น้ำมันพืชใช้แล้ว	ผลิตภัณฑ์น้ำมัน	เบนซินออกเทน 95
3000 , 3100 cm ⁻¹	= CH ในแอลกอฮอล์	-	✓	✓
2900 cm ⁻¹	C-H (stretching)	✓	✓	✓
1730 cm ⁻¹	C=C-H ของอัลดีน	✓	-	-
1700 cm ⁻¹	หมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (carbonyl group)	✓	✓	-
1600, 1500 cm ⁻¹	พันธะคู่ของ C=C ในแอลกอฮอล์	-	✓	✓
1495 cm ⁻¹	หมู่ฟังก์ชันของเมทิลีน (methylene group)	-	✓	-
1400 cm ⁻¹	หมู่ฟังก์ชันของเมทิล (methyl group)	-	✓	-
900 cm ⁻¹ – 690 cm ⁻¹	วงแหวนเบนซีน	-	✓	✓
730 cm ⁻¹	C-H(bending)	✓	✓	✓

4.8 เปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียง

มารีนา (2546) [26] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันพีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณเนฟทาสูงสุดคือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน 79.74 โดยน้ำหนัก และที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และ HZSM-5 0.05 กรัม ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน 83.60 โดยน้ำหนัก

ประจักษ์ (2547) [28] ศึกษากระบวนการแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ น้ำหนักรวม 15 กรัม พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการแตกตัว คือ อัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีน 70 : 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อพลาสติก 60 : 40 โดยน้ำหนัก ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 5 % จำนวน 0.80 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์ และใช้เวลาในการทดลอง 75 นาที

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการแตกตัว คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที

จากผลการวิจัย และงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลอง และผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่ากระบวนการแตกตัวของน้ำมันพีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กจะให้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน และปริมาณเนฟทาที่น้อยกว่ากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เนื่องจากกระบวนการแตกตัวของน้ำมันพีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่นานจึงส่งผลให้น้ำมันเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สมาก และกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อนั้นมีส่วนผสมของพอลิสไตรีนอยู่ซึ่งพอลิสไตรีนนี้มีโครงสร้างเป็นวงเบนซีนเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงจึงเกิดการแตกโมเลกุล ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เนฟทาที่สูง

เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ พบว่ากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ จะได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันมากกว่า เนื่องจากน้ำมันพีซีใช้แล้วนั้นมีความหนืดน้อย สามารถแตกตัวได้ง่าย เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงจึงเกิดการแตกตัวได้ดีทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันในปริมาณมาก และเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์พบว่าได้ปริมาณร้อยละเนฟทาที่สูง เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนคือ 60 : 40 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อพอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีนคือ 60 : 40 โดยน้ำหนัก และมีอัตราส่วนพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีนคือ 70:30 โดยน้ำหนัก เห็นได้ว่าอัตราส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนคือ 60 : 40 โดยน้ำหนัก จะมีปริมาณของพอลิสไตรีนมากกว่า ซึ่งพอลิสไตรีนนี้มีโครงสร้างเป็นวงเบนซีนเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงจึงเกิดการแตกโมเลกุล ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เนฟทาที่สูง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

ตัวแปรที่ศึกษา	มารีนา (2546)	มารีนา (2546)	ประจักษ์ (2547)	งานวิจัยนี้
สารตั้งต้น	น้ำมันพืชใช้แล้ว	น้ำมันพืชใช้แล้ว	พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	พอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้ว
ตัวเร่งปฏิกิริยา	เหล็กบนถ่านกัมมันต์	HZSM-5	เหล็กบนถ่านกัมมันต์	-
อัตราส่วนของน้ำมันต่อพลาสติก (โดยน้ำหนัก)	-	-	60 : 40	60 : 40
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง	430 องศาเซลเซียส	430 องศาเซลเซียส	430 องศาเซลเซียส	600 องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	60 นาที	60 นาที	75 นาที	9.91 นาที
ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น	10 บาร์	10 บาร์	1 บาร์	-
อัตราการไหล	-	-	-	9.04 กรัมต่อนาที
ร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยา	0.5 % Fe/A.C.	0.05 %	5 % Fe/A.C.	-
ผลิตภัณฑ์ที่ได้				
น้ำมัน (ของเหลว)	79.74	83.60	75.65	97.89
แก๊ส	17.78	15.30	17.37	} 2.11
ของแข็ง	2.48	1.10	6.98	

ตัวแปรที่ศึกษา	มารีนา (2546)	มารีนา (2546)	ประชารัตน์ (2547)	งานวิจัยนี้
องค์ประกอบผลิตภัณฑ์โดยรวม				
- แนนฟา	28.14 %	26.75 %	46.34 %	70.38 %
- เคโรซีน	16.56 %	13.79 %	10.02 %	6.26 %
- แก๊สออกยลซ์ชนิดเบา	21.86 %	22.99 %	11.98 %	14.49 %
- แก๊สออกยลซ์ชนิดหนัก	3.26 %	3.76 %	2.76 %	3.33 %
- กากน้ำมัน	9.91 %	16.30 %	4.55 %	3.43 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยการแตกตัวเป็นของเหลวจากน้ำมันพืชใช้แล้วจำเป็นต้องทำในภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูง เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงได้นำพอลิสไตรีนซึ่งมีความสามารถในการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และแตกตัวให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันพืชได้ดีมาผสมลงในปฏิกิริยาการแตกตัวที่สามารถเกิดการแตกตัวเป็นของเหลวได้ดี จากการศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว และพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ (350-600 องศาเซลเซียส), อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วกับพอลิสไตรีน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยน้ำหนัก), อัตราการไหล (4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที) ได้ดำเนินการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทั้งในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน และเชิงคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือดต่างๆด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated Distillation Gas Chromatograph) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

- ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราการไหล
- ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่ให้แนวโน้มของค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิ	550	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	9.04	กรัมต่อนาที

โดยภาวะการทดลองข้างต้นได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 99.17 ร้อยละผลได้ของแข็ง และแก๊ส 0.83 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

แนฟทา	ร้อยละ 41.15
เคโรซีน	ร้อยละ 8.72
แก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ 28.26
แก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ 9.92
กากน้ำมัน	ร้อยละ 11.12

5.1.2 การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

- ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้วกับพอลิสไตรีน อุณหภูมิ และอัตราการไหล
- ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่ให้แนวโน้มของค่าการกระจายตัวผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพีซีใช้แล้ว กับพอลิสไตรีน	60:40	โดยน้ำหนัก
อุณหภูมิ	600	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	9.04	กรัมต่อนาที

โดยภาวะการทดลองข้างต้นได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 97.89 ร้อยละผลได้ของแข็ง และแก๊ส 2.11 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

แนฟทา	ร้อยละ 70.38
เคโรซีน	ร้อยละ 6.26
แก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ 14.49
แก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ 3.33
กากน้ำมัน	ร้อยละ 3.43

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิไสไตรีน และน้ำมันพืชใช้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
2. ศึกษา และพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อใช้ในการขยายส่วนการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น
3. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
2. <http://www.morakot.com>
3. <http://www.tei.or.th/bep/envperfeval/palm>
4. <http://www.cedis.or.th>
5. <http://www.cpi-th.com>
6. รศ.ดร.นิธิยา รัตนานพนนท์. เคมีอาหาร, 2545
7. เรื่องวิทย์ สว่างแก้ว. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิค
ชั้นในเมทานอล ภาวะเหนือวิกฤตอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์ระดับนำร่อง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
8. รศ.ปรีชา พหลเทพ. โพลีเมอร์. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง,
2546
9. เกษร พะลัง. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์.
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2546
10. <http://www.plastic recycling.com>
11. <http://classroom.psu.ac.th>
12. นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. การแยกสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนใช้แล้วในเครื่อง
ปฏิกรณ์แบบแบดซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
13. สมโภช ภู่อู่ระสุพงษ์. การแตกตัวของน้ำมันประกอบอาหารเหลือทิ้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
กรด. รายงานโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาเคมี
เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
14. G.Audisio, F. Bertini., Polym. Degrad. Stab., V.9, 1990, p. 191.
15. J.D.Adjaye, N.N. Bakhshi, Production of hydrocarbon by catalytic upgrading of a
fast pyrolysis. Part I: Conversion over various catalyst, Fuel processing
Technology, V.45, 1995, p. 161-183
16. Twaiq, F. A., Zabidi, N. A. M., Bhatia S., Catalytic conversion of palm oil to
hydrocarbon : Performance of various zeolite catalysts, Ind. Eng. Chem.
Res., 1999, 38, p. 230-3237

17. Milford A. Henna, Fangrui M., Biodiesel production: a review, Bioresource Technology, 70 ,1999, p.1-15
18. Walendziewski J., Steininger M., Thermal and catalytic conversion of waste polyolefins, Journal of Catalysis, 2001, 65, p. 323 – 330
19. Lee S.Y., Yoon J.H., Kim J.R., ParkD.w., Degradation of Polystyrene using Clinoptilolite catalysis, Journal of Analytical and Applied Pyrolysi , 2002, 64, p.71
20. Walendziewski J., Engine fuel derived from waste plastics by thermal treatment, Fuel , 81, 2002, p. 473-481
21. Twaiq, F. A., Zabidi, N. A. M., Mohamed A.R., Bhatia S., Catalytic conversion of palm oil over mesoporous aluminosilicate MCM-41 for the production of liquid hydrocarbon fuels, 2003, 1660, p. 1-16
22. Walendziewski J., Continuous flow cracking of waste plastics, Fuel Processing Technology, 86, 2005, p. 1265-1278
23. Niesink., R.J.M., de Vries.J., Hollinger M.A., Toxicology:Principles and Applications, p. 394, 454, 649
24. วิชากร จารุศิริ. การเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5และซัลเฟตเซอร์โคเนีย.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
25. สำนักวิจัย และพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กรมวิชาการเกษตร
26. มารีนา มงคล. การแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ และ HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
27. แม้น อมรสิทธิ์.PRINCIPLES AND TECHNIQUES OF INSTRUMENTAL ANALYSIS. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534
28. ประชารัตน์ แต่ภักดี. การแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ก1 แสดงผลการศึกษาภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Temp.	Flow rate	% naphtha	% kerosene	% light gas oil	% heavy gas oil	% long residue
350	4.14	9.05	3.34	26.36	23.5	36.09
400	4.14	12.5	4.2	27.18	21.92	32.53
450	4.14	16.78	5.03	31.58	20.23	25.07
500	4.14	25.28	6.22	32.19	18.47	16.59
550	4.14	50.1	8.98	25.35	7.39	6.81
600	4.14	37.42	7.96	29.37	13.06	10.41
350	9.04	10.2	2.18	26.83	22.86	36.92
400	9.04	13.52	3.42	27.95	22.37	32.2
450	9.04	19.02	5.18	31.37	20.12	23.89
500	9.04	29.91	6.86	31.6	16.1	14.91
550	9.04	41.72	8.72	28.26	9.92	11.12
600	9.04	37.46	7.96	29.39	13.08	10.42
350	15.49	2.0	0.49	13.74	16.62	66.69
400	15.49	7.45	2.68	21.74	23.23	44.18
450	15.49	10.93	3.48	27.62	23.85	33.49
500	15.49	15.41	4.08	30.43	23.07	26.44
550	15.49	22.95	5.93	29.99	18.9	21.21
600	15.49	37.03	7.51	28.93	12.35	12.94

ตาราง ก2 แสดงผลการศึกษ้อัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Temp.	Flow rate	% Yield liquid	% Yield solid & gas
350	4.14	98.34	1.66
400	4.14	98.33	1.67
450	4.14	98.69	1.31
500	4.14	98.75	1.25
550	4.14	98.63	1.37
600	4.14	98.22	1.78
350	9.04	98.99	1.01
400	9.04	99.46	0.54
450	9.04	99.58	0.42
500	9.04	99.38	0.62
550	9.04	99.17	0.83
600	9.04	98.31	1.69
350	15.49	99.54	0.46
400	15.49	99.28	0.72
450	15.49	99.37	0.63
500	15.49	99.43	0.57
550	15.49	98.98	1.02
600	15.49	98.76	1.24

ตาราง ก3 แสดงผลการศึกษากาภาวะอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันพีซีใช้แล้วต่อพอลิสไตรีนในการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Temp.	Ratio used oil: PS	% naphtha	% kerosene	% light gas oil	% heavy gas oil	% long residue
500	90:10	26.98	4.65	28.18	18.09	20.96
525	90:10	35.93	5.89	26.21	13.25	16.88
550	90:10	41.77	7.68	26.21	10.25	12.61
575	90:10	45.67	8.88	25.35	7.79	10.94
600	90:10	51.78	10.75	22.88	5.32	7.89
500	80:20	31.08	5.31	29.87	9.46	22.81
525	80:20	40.66	8.01	29.09	9.40	11.77
550	80:20	46.08	8.88	27.04	8.19	8.49
575	80:20	62.35	8.99	18.16	3.85	5.33
600	80:20	66.82	9.15	15.35	2.66	4.43
500	70:30	37.42	6.40	28.06	13.10	13.49
525	70:30	43.49	6.79	27.16	11.22	9.74
550	70:30	55.77	6.92	21.45	7.82	6.92
575	70:30	66.09	7.00	17.12	3.82	4.78
600	70:30	69.98	7.02	14.81	2.05	3.61
500	60:40	37.93	4.73	26.42	12.43	17.01
525	60:40	45.01	5.21	25.98	10.23	11.98
550	60:40	57.16	5.62	22.05	7.27	6.45
575	60:40	68.54	6.02	16.00	4.15	4.05
600	60:40	70.38	6.26	14.49	3.33	3.43

ตาราง ก4 แสดงผลการศึกษากาภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิไสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Temp.	Ratio used oil: PS	% Yield liquid	% Yield solid & gas
500	90:10	98.86	1.14
525	90:10	98.16	1.84
550	90:10	98.52	1.48
575	90:10	98.63	1.37
600	90:10	98.62	1.38
500	80:20	98.53	1.47
525	80:20	98.93	1.07
550	80:20	98.68	1.32
575	80:20	98.67	1.33
600	80:20	98.41	1.59
500	70:30	98.47	1.53
525	70:30	98.39	1.61
550	70:30	98.89	1.11
575	70:30	98.81	1.19
600	70:30	97.46	2.54
500	60:40	98.52	1.48
525	60:40	98.41	1.59
550	60:40	98.55	1.45
575	60:40	98.76	1.24
600	60:40	97.89	2.11

ตาราง ก5 แสดงผลการผลิตแอฟทา (กรัมต่อนาที) ของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

Flow rate (g/min) Temp.(°C)	4.14	9.04	15.49
350	0.37	0.92	0.31
400	0.52	1.22	1.16
450	0.69	1.72	1.69
500	1.05	2.70	2.39
550	2.08	3.72	3.57
600	1.30	3.39	5.75

ตาราง ก6 แสดงผลการผลิตแอฟทา (กรัมต่อนาที) ของการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

ratio oil : PS Temp.(°C)	90:10	80:20	70:30	60:40
500	243.90	280.96	338.28	342.89
525	324.81	367.57	393.15	406.89
550	377.60	416.56	504.16	516.73
575	412.86	563.64	597.45	619.60
600	468.09	604.05	632.62	636.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด (Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph (DGC) การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยวิธีนี้จะวิเคราะห์ตามจุดเดือดของสารดังต่อไปนี้

IBP – 200 °C	= naphtha
200 °C – 250 °C	= kerosene
250 °C – 350 °C	= light gas oil
350 °C – 370 °C	= heavy gas oil
370 °C – FBP	= long residue

การวิเคราะห์เริ่มด้วยการนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตราส่วน 1:100 โดยปริมาตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมทั้งดีเทคเตอร์แบบ FID ซอฟต์แวร์ Simulated Distillation รุ่น Star Simulated Distillation Version 5.5 คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary Column มี Stationary Phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน ภาวะที่ใช้คือ

อุณหภูมิหัวฉีด (Injector Temperature) เท่ากับ 298 องศาเซลเซียส

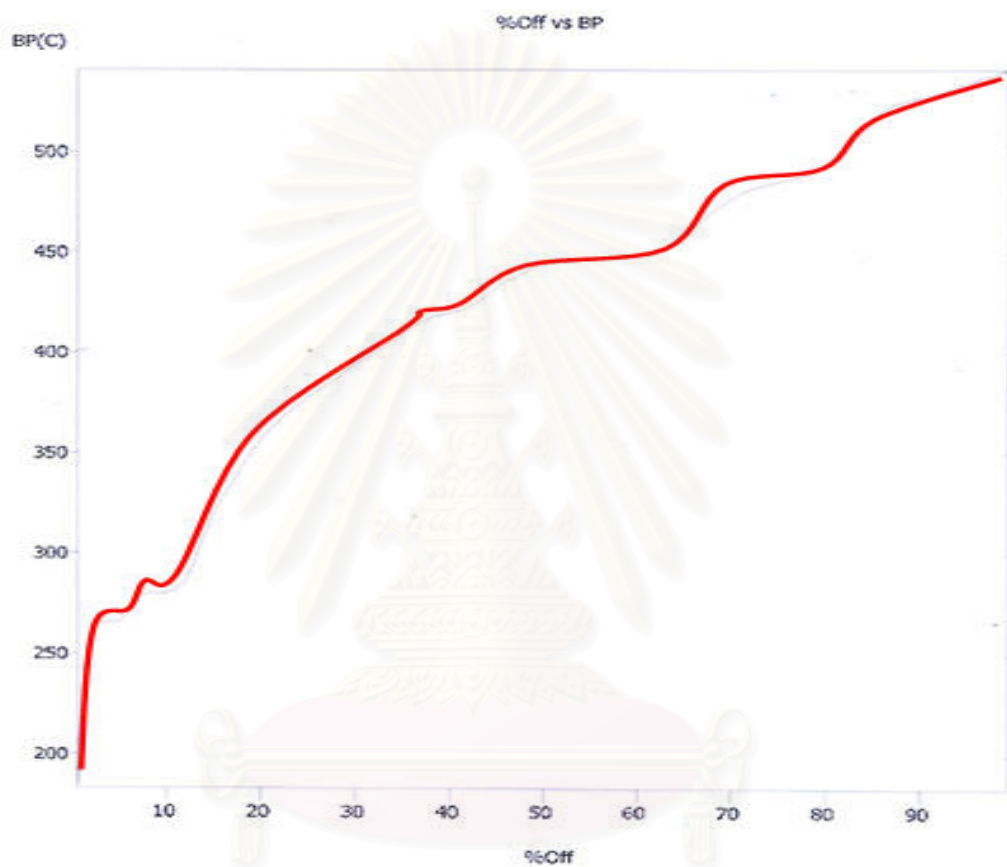
อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) ซึ่งจะใช้เป็นแบบโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature Program) 1 ขั้นตอน และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิด้วย คือ เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.01 นาทีจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 320 องศาเซลเซียสแล้วคงที่เป็นเวลา 8.50 นาที

อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

แก๊สตัวพา (Carrier Gas) เป็นแก๊สฮีเลียมโดยมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วย Split ratio เท่ากับ 2

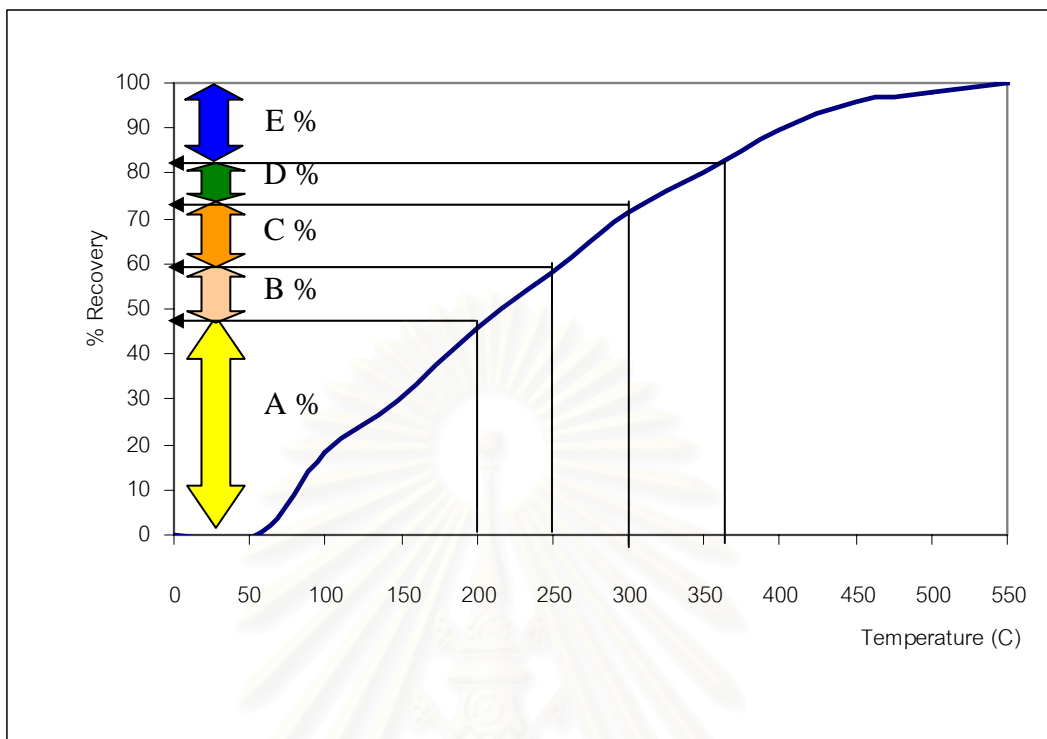
ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี จะนำไปเปลี่ยนเป็นกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated Distillation โดยจะทำการเทียบกับกราฟโครมาโทแกรมของสารผสมมาตรฐานตาม ASTM D2887 และโครมาโทแกรมการทำงานของเครื่องเมื่อไม่มีการฉีดสารใดๆ (Blank) ดังแสดงในรูปที่ ข1



รูปที่ ข1 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันจากเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph [24]

ตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ ข2 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatograph และการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ [28]

การคำนวณหาปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือด

ปริมาณ naphtha ที่อ่านจากกราฟ A %

$$\text{ดังนั้น \% naphtha ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{A \times W}{100}$$

ปริมาณ kerosene ที่อ่านจากกราฟ B %

$$\text{ดังนั้น \% kerosene ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{B \times W}{100}$$

ปริมาณ light gas oil ที่อ่านจากกราฟ C %

$$\text{ดังนั้น \% light gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{C \times W}{100}$$

ปริมาณ heavy gas oil ที่อ่านจากกราฟ D %
 ดังนั้น % gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม = $\frac{D \times W}{100}$

ปริมาณ long residue ที่อ่านจากกราฟ E %
 ดังนั้น % long residue ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม = $\frac{E \times W}{100}$



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

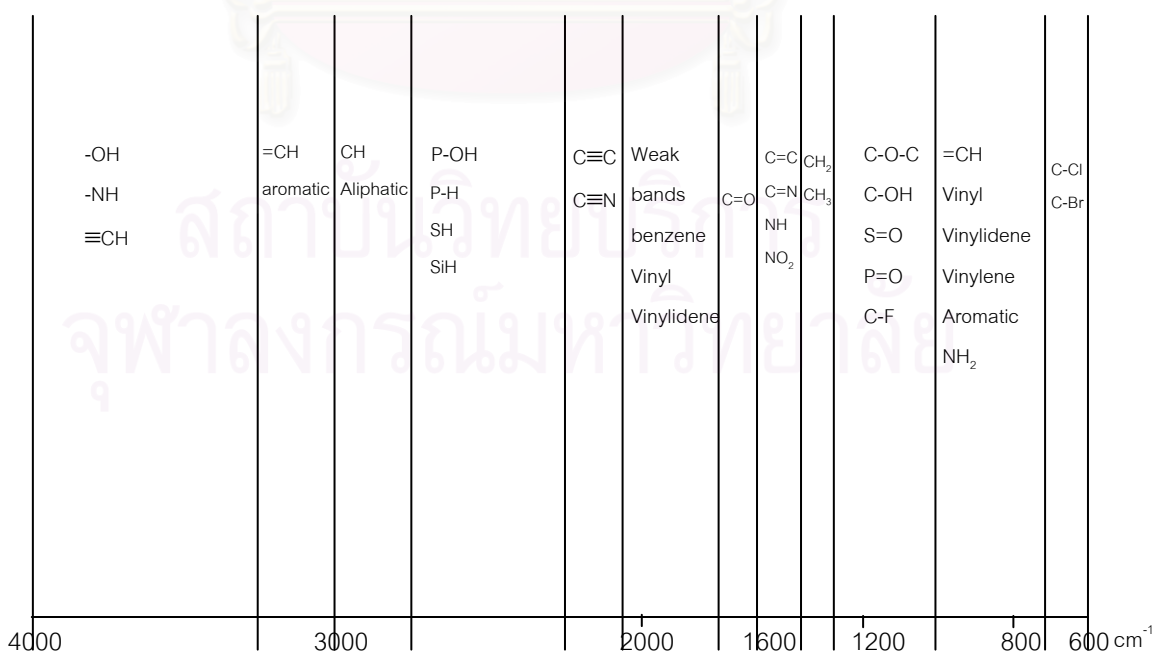
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วย FT - IR

การแปลความหมายของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer จะพิจารณาแถบการดูดกลืน Infrared Spectrum เป็น 3 ช่วง คือ

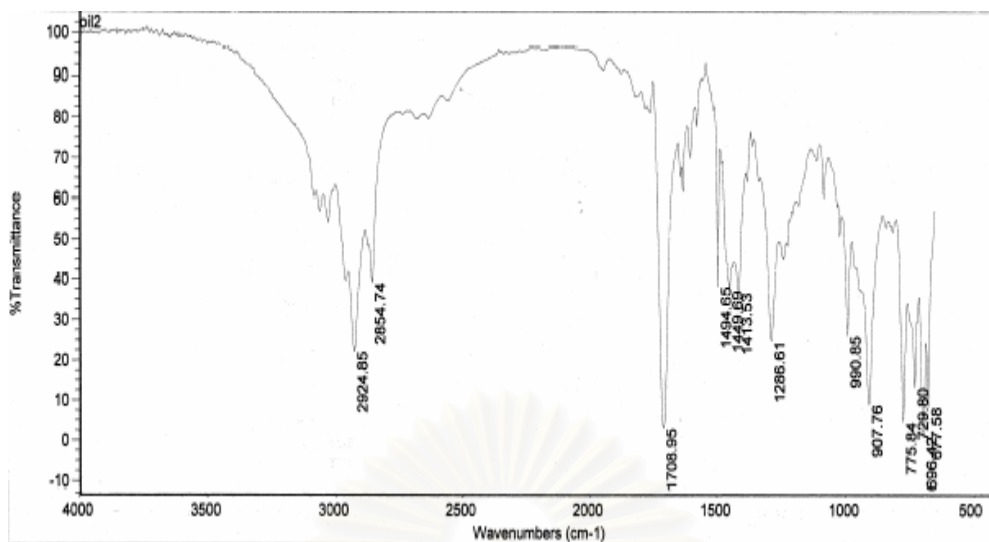
1. ย่านความถี่ $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Functional group regional เป็นย่านที่บอกถึงชนิดของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันใดในย่านนี้ จะเป็นการยืนยันว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ในโมเลกุลสารที่สนใจ แต่ทั้งนี้การแปลความหมายต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากโครงสร้างบางตัวอาจให้แถบดูดกลืนที่กว้างจนสังเกตได้ยาก

2. ย่านความถี่ $910 - 1300 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Finger print regional ซึ่งแถบดูดกลืนในย่านนี้มีความสลับซับซ้อนมาก แต่แถบที่ปรากฏจะมีลักษณะเฉพาะตัวของโมเลกุลแต่ละชนิด อันจะมีประโยชน์ในการยืนยันว่าสาร 2 ตัวที่สงสัยเป็นสารเดียวกันหรือไม่ โดยทำการเทียบสเปกตรัมของสารที่เตรียมในตัวอย่างชนิดเดียวกัน หากปรากฏแถบการดูดกลืนในย่านนี้ทับกันทุกตัว แสดงว่าเป็นสารตัวเดียวกัน

3. ย่านความถี่ $650 - 910 \text{ cm}^{-1}$ จะบ่งบอกถึงการจับตัวของหมู่แทนที่บนวงแหวนสารประกอบอะโรมาติก ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนบริเวณนี้ ย่อมแสดงว่าสารที่สนใจไม่มีองค์ประกอบเป็นอะโรมาติก



รูปที่ ค.1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่างๆ [27]



รูปที่ ค.2 ตัวอย่างแสดงค่าการดูดกลืนของแสงจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์หาค่าความหนืด และคำนวณค่า IV จากค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส

การหาค่าความหนืด และคำนวณค่า IV จากค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส (Kinematic viscosity and calculating of viscosity index from kinematic viscosity at 40 °C and 100 °C) รุ่น ASTM D2270

ขั้นตอนใช้งานอย่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อวัดความหนืด

1. ตรวจสอบระดับซีด Paraffin ในอ่างควบคุม (ห้ามต่ำกว่าระดับซีดที่กำหนด)
2. เสียบปลั๊กไฟฟ้า (220 V.)
3. ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการ (ที่ 40 องศาเซลเซียส หรือ 100 องศาเซลเซียส)
 - โดยหมุนปุ่มด้านซ้ายมือสุดก่อน (หลักสิบ) ตามต้องการ
 - หมุนปุ่มถัดมาตรงกลาง โดยปรับเป็นหลักหน่วยตามต้องการ
 - หมุนปุ่มด้านขวาสุด (เป็นการปรับองศาเซลเซียสแบบละเอียด)
4. เมื่อทำการตั้งอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการต่อไปนี้
 - กดปุ่ม Main Switch และปุ่ม Heater
5. รอจนกว่าอุณหภูมิจะถึงค่าที่ Set ไว้ โดยดูจาก thermometer ที่เสียบในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
6. ใส่สารตัวอย่างลงใน Viscometer แล้วแช่ทิ้งไว้ประมาณ 25 – 30 นาที จึงเริ่มจับเวลา (flow time) เป็นวินาที

การคำนวณหาค่าความหนืด

$$\text{Viscosity (mm}^2/\text{s)} = \text{flow time (s)} \times K \text{ (mm}^2/\text{s}^2)$$

เช่น การคำนวณหาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิโอสไตรีน และน้ำมันพีซีแล้วที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จับเวลาในการทดลองได้ 435 วินาที มีค่า K= 0.004365 mm²/s²

$$\text{Viscosity (mm}^2/\text{s)} = 435 \text{ (s)} \times 0.004365 \text{ (mm}^2/\text{s}^2)$$

ดังนั้นความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของ
พอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที มีค่าเท่ากับ 1.90 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนิตา วิสุทธิรังษีอุไร เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย