



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช
และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยความร้อนเป็นแก๊ส
โซลินในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

โดย

วิชากร จารุศิริ

มกราคม 2551



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช
และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยความร้อนเป็นแก๊ส
โซลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

โดย

วิชากร จารุศิริ

มกราคม 2551

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยความร้อน เป็นแก๊สโซลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง” สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยได้รับการสนับสนุนจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2550 ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ความสำเร็จของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยพลังงาน และ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ รองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัย สถาบันวิจัยพลังงาน ที่กรุณาให้การสนับสนุนการจัดทำโครงการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิ อาทิ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะข้อสังเกตในประเด็นที่ผู้วิจัยอาจขาดตกบกพร่องไป จนทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ในที่สุด ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรธน ประศาสน์สารกิจ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ และ อาจารย์ชินเทพ เพ็ญชาติ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับทำการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ และบุคลากรในสถาบันวิจัยพลังงาน รวมถึงผู้ให้ช่วยเหลือที่มีได้เอ่ยนามไว้ในที่นี้แต่ได้อยู่เบื้องหลังงานวิจัยตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย ทุก ๆ ท่านเหล่านี้ได้ให้ความช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือและแก้ไขข้อขัดข้องต่าง ๆ จนงานวิจัยแล้วเสร็จไปด้วยดีด้วยความเข้มแข็งด้วยมิตรภาพอันงดงาม

ท้ายที่สุดนี้งานวิจัยนี้แม้ว่าผู้วิจัยได้ทำการศึกษาให้ครอบคลุมในประเด็นของปัญหาตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ แต่อาจมีความไม่สมบูรณ์ หรือมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งผู้วิจัยขอน้อมรับความคิดเห็นรวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ ไว้ด้วยความขอบพระคุณยิ่ง

ชื่อโครงการ การแตกตัวของพลาสติก น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยความร้อนเป็นแก๊สโซลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ชื่อผู้วิจัย ดร.วิษชากร จารุศิริ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์
อาจารย์ชินเทพ เพ็ญชาติ นางสาวจินตนา อุลลวัฒน์

เดือนปีที่วิจัยแล้วเสร็จ ตุลาคม 2550

วิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงในปัจจุบัน จึงมีความพยายามวิจัยหาพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน และ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารป้อนเข้าได้แก่น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีน อัตราส่วน 0.7 ต่อ ต่อ 0.1 ต่อ 0.2 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของสารป้อนเข้า 1.23 กรัมต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้อัตราของแก๊สโซลีนสูงที่สุดร้อยละ 50.95 เคโรซีนร้อยละ 10.38 แก๊สออยล์ ร้อยละ 21.68 และ กากน้ำมันร้อยละ 16.99 โดยน้ำหนัก นำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไปกลั่นลำดับส่วนในช่วงการกลั่นตามคาบจุดเดือดของแก๊สโซลีน (ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น ถึง 200 องศาเซลเซียส) บนเครื่องกลั่นขนาดกำลังการกลั่น 1 ลิตรต่อชั่วโมง โดยนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนบรรจุในเครื่องกลั่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ เมื่อวิเคราะห์สมบัติกายภาพ เช่น สี อัตราการไหลเท ความดันไอ มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเบนซิน และการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 จากนั้นนำน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินได้ โดยมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้ น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เล็กน้อย

Title Thermal cracking of used plastics, used vegetable oil and used lubricating oil to gasoline and liquid fuels in a continuous reactor

Researchers Witchakorn Charusiri, Ph.D. Assoc.Prof.Tharapong Vitidsant, Ph.D.
Lect.Chinatep Benyajati Ms.Jintana Ubonwat

As for the energy crisis is a problem that multiplies the violence in now, many researchers attempt to seek the new alternative energy upwards to the petroleum fuels replacement. This research aims to studies thermal cracking and catalytic cracking of used plastic, used vegetable oil, and used lubricating oil to gasoline as a liquid fuels for vehicles in a continuous reactor for study the affected of variable such as temperature, hydrogen flowing rate, and flow rate of feedstock which composed of used vegetable oil, waste lubricating oil and polypropylene in the ratio of 0.70 : 0.10 : 0.20 respectively. Liquid products were analyzed by simulated distillation gas chromatograph and the product distribution were obtained. At the condition of 550 °C, hydrogen gas flowing rate of 5 ml/min, feedstock's flowing rate of 1.23 gram/min over 5% Fe/AC shown the highest yield of gasoline amount of 50.95 wt%, kerosene 10.38 wt%, gas oil 21.68 wt% and long residue 16.99 wt%. Therefore the liquid product were distilled by boiling point of gasoline fraction (IBP – 200 °C) the synthetic gasoline were obtained. The testing results of gasoline on engine testing unit providing that the speed, maximum power and efficiency little lower than the premium gasoline octane number 91.

สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.4 ระยะเวลาดำเนินการ.....	8
1.5 แผนงานวิจัย.....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 พลาสติก.....	10
2.2 น้ำมันหล่อลื่น.....	17
2.3 น้ำมันจากพืช.....	27
2.4 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking).....	41
2.5 การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking).....	42
2.6 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking).....	45
2.7 การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมัน (Crude oil evaluation).....	46
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	47
3 วิธีการวิจัย.....	53
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	53
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	57

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 วิธีออกแบบการทดลอง.....	57
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด.....	60
3.5 การกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด.....	61
3.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR.....	63
3.7 การวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนโดยวิธีการคำนวณจาก ^1H NMR.....	63
3.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์.....	65
3.9 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์จากการขับขี่จริง...	66
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	69
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น.....	69
4.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สโซลีนในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	73
4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	77
4.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้.....	79
4.5 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	92
4.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	96
4.7 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันเครื่องใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้.....	98

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	หน้า	
4.8	วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมัน.....	114
4.9	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง	115
4.10	การวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์.....	118
4.11	การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้้ำมันเบนซินออกเทน 91.....	120
4.12	การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนจากการขับขีจริง.....	125
5	สรุปผลการทดลอง.....	129
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	129
5.2	ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยระดับต่อไป.....	131
	เอกสารอ้างอิง.....	133
	ภาคผนวก.....	137

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1-1	Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	6
2-1	ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ถึง ค.ศ.2008.....	12
2-2	การกลั่นน้ำมันดิบ.....	18
2-3	กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น.....	19
2-4	หลักการของความหนืด.....	20
2-5	ความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด.....	21
2-6	ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40.....	22
2-7	การหาค่าดัชนีความหนืด.....	23
3-1	Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจน.....	54
3-2	Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน	54
3-3	การติดตั้งการทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน.....	55
3-4	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น.....	56
3-5	แผนผังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้รีดิฟิวตัวเร่งปฏิกิริยา.....	60
3-6	เครื่องกลั่นขนาดกำลังการกลั่น 1 ลิตรต่อชั่วโมง.....	62
3-7	การปรับตั้งอุณหภูมิของเครื่องกลั่นและการควบคุมการกลั่นที่หอกลิ้นระดับต่าง ๆ	62
3-8	^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry ของน้ำมันแก๊สโซลีนตามการทดลองของ Myers.....	64
3-9	ชุดทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน.....	66
3-10	การติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เพื่อวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองโดยการ ขับขี่จริง.....	67
4-1	Normal Probability Plot ของการออกแบบการทดลองแบบ 2^k	75
4-2	Normal Probability Plot สำหรับการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง.....	76
4-3	ส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการประมาณจากแบบจำลอง.....	76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-4	อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สไซลีน..... 78
4-5	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที..... 79
4-6	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศา เซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที..... 80
4-7	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที..... 82
4-8	ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตก ตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที..... 83
4-9	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ แตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที 84
4-10	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ แตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที 85
4-11	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการ แตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที 86
4-12	ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน ต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติก ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที 88

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4-13	ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที	89
4-14	ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที	90
4-15	ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที	91
4-16	Normal Probability Plot ของการออกแบบการทดลองแบบ 2^K	94
4-17	Normal Probability Plot สำหรับการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง.....	95
4-18	ส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการประมาณจากแบบจำลอง.....	95
4-19	อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนคงที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที.....	97
4-20	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400 - 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	99
4-21	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	100

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อัตราการไหลแก๊ส ไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	101
4-23 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมัน พีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตรา การไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที.....	103
4-24 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมัน พีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตรา การไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที.....	104
4-25 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมัน พีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตรา การไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที.....	106
4-26 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมัน พีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตรา การไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที.....	107

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-27 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที.....	109
4-28 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที.....	110
4-29 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที.....	112
4-30 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที.....	113
4-31 FT-IR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของน้ำมันพีชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที.....	116
4-32 FT-IR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของน้ำมันพีชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที.....	117

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-33	FT-IR Spectrum ของน้ำมันเบนซินออกเทน 95.....	118
4-34	^1H NMR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ TC-G1.....	119
4-35	^1H NMR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ CC-G2.....	120
4-36	^1H NMR Spectrum ของน้ำมันเบนซินออกเทน 91.....	120
4-37	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ.....	123
4-38	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ.....	123
4-39	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็ว.....	124
4-40	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับความเร็วรอบ.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีน.....	14
2-2 ปริมาณการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นภายในประเทศไทย.....	26
2-3 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	28
2-4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	29
2-5 ความหนืดของน้ำมันจากพืชบางชนิด.....	31
2-6 ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ.....	32
2-6 ความสัมพันธ์ของค่า Smoke point ต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมัน เมล็ดฝ้าย.....	32
2-7 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อค่า Smoke point, Flash point และ Fire point.....	33
2-8 องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันพืชต่อน้ำหนักของสารป้อนทั้งการใช้แก๊ส ไนโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง.....	38
2-9 องค์ประกอบของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของ น้ำมันพืช.....	39
3-1 ตัวแปรในแต่ละระดับที่ทำการศึกษา.....	58
3-2 ช่วง Chemical Shift ของโปรตอนแต่ละชนิด.....	64
3-3 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงขณะวิ่งด้วยความเร็วคงที่.....	68
4-1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	69
4-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	70
4-3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	71
4-4 องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	71
4-5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีน.....	72
4-6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรุกรานทั้งหมด (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก ร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์.....	72
4-7 ผลการวิเคราะห์ธาตุขององค์ประกอบบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-8 ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนที่ภาวะต่าง ๆ ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k	74
4-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองแบบ 2^k	74
4-10 ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนที่ภาวะต่าง ๆ ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k	93
4-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองแบบ 2^k	93
4-12 ผลการวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์.....	119
4-13 ผลการวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์และน้ำมันเบนซิน....	119
4-14 เปรียบเทียบน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์กับค่ามาตรฐานของน้ำมันเบนซินตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน.....	121
4-15 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ขณะวิ่งตามโหมด (ECE-Test cycle).....	126
4-16 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ ขณะวิ่งตามโหมด (ECE-Test cycle).....	127
4-17 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราเร็วคงที่ ณ เกียร์ต่าง ๆ.....	128

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันสภาพเศรษฐกิจและสังคมได้เจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง และจากผลแห่งความเจริญทำให้มีความต้องการใช้พลังงานมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉพาะในปีพุทธศักราช 2545 มีการใช้พลังงานทั่วโลกคิดเป็นปริมาณ 10,781 พันล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งหากยังมีการใช้พลังงานเทียบเท่าปีพุทธศักราช 2544 และยังไม่มีการค้นพบแหล่งน้ำมันใหม่ทั่วโลกจะมีพลังงานน้ำมันใช้ได้เพียง 20 ปี (BP Statistical Review of World Energy, 2002)

ในปีพุทธศักราช 2546 พบว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานภายในประเทศรวมทั้งสิ้น เทียบเท่าน้ำมันดิบ 56,289 พันตัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547) เพิ่มขึ้นจากปีพุทธศักราช 2545 คิดเป็นร้อยละ 6.2 และยังเป็นการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง กว่าปีที่ผ่านๆ มา เป็นปีที่ 5 ในจำนวนของการใช้พลังงานในประเทศเป็นการจัดหาพลังงานจากแหล่งพลังงานภายในประเทศเทียบเท่าน้ำมันดิบ 48,149 พันตัน และนำเข้าจากแหล่งพลังงานต่างประเทศเทียบเท่าน้ำมันดิบ 51,316 พันตัน ซึ่งสูงขึ้นกว่าปีที่ผ่านมาถึงร้อยละ 8.1 และด้วยเหตุที่ในปัจจุบันเทคโนโลยีและสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ล้วนจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น ซึ่งเป็นผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นอย่างต่อเนื่องและด้วยเหตุที่ประเทศไทยยังมีความจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศถึงกว่าร้อยละ 60 ส่งผลต่อเศรษฐกิจของประเทศและเป็นภาระของรัฐบาลที่จำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศ

จากสภาพความเจริญทางเศรษฐกิจและสังคมทำให้มีความต้องใช้พลาสติกในกระบวนการผลิตและบริโภคเป็นจำนวนมากสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ปี ย่อมจะส่งผลถึงปริมาณขยะพลาสติกที่จะต้องเพิ่มขึ้น อันก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดขยะพลาสติก เนื่องจากการกำจัดขยะพลาสติกมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูง จึงจำเป็นต้องหาหนทางกำจัดที่เหมาะสมและไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หรือการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

หรือสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อื่นจะเป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติก ในการเพิ่มคุณค่าของขยะพลาสติกเหล่านั้น

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil) เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมมีลักษณะเป็นของเหลว มีหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลที่มีลักษณะปิด ประกอบด้วย ส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และ สารเพิ่มคุณภาพเป็นสารที่เติมลงไปใ้มน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในด้านกายภาพและเคมีให้เหมาะสมกับชนิด และประเภทการใช้งานของเครื่องจักร น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเมื่อเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปแล้วก็จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดถูกผลิตมาให้เหมาะกับการใช้งาน ด้วยการนำน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษตามการใช้งาน เช่น สารชะล้าง และสารเพิ่มดัชนีความหนืด เป็นต้น เมื่อใช้งานไปแล้วคุณสมบัติ และคุณภาพต่าง ๆ จะเสื่อมไปเรื่อย ๆ จนไม่เหมาะแก่การใช้งาน โดยการเสื่อมสภาพเกิดจาก 3 สาเหตุ คือ

1) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นโดยเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วเกิดสารประเภทกรด เกิดคราบยางเหนียวปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพ เกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูง จะทำให้เนื่อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียว เกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร ตามปกติในน้ำมันหล่อลื่นมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่แล้ว หากสารนี้ถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพ น้ำมันหล่อลื่นก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้

2) สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพ ทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่มีคุณสมบัติดีพอที่จะทำงานได้ดีต่อไป

3) มีสิ่งสกปรก หรือสารอื่นจากภายนอกเข้าไปปะปน เช่น น้ำ ฝุ่นละออง เหม่า และอื่น ๆ เมื่อเข้าไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นแล้ว อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นได้ เช่น น้ำ เมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่นแล้ว เครื่องยนต์ทำงานจะปั่นผสมน้ำเข้ากับน้ำมันหล่อลื่น อนุภาคน้ำเข้าแทรกตัวในเนื่อน้ำมัน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะขาวขุ่น ความหนืดเปลี่ยนไป และ ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานได้ต่อไป หรือเศษโลหะในเครื่องยนต์ เมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่นเป็นจำนวนมากแล้ว จะไปขัดสีกับผิวโลหะของเครื่องจักรกล ทำให้เกิดรอยข่วน สึกกร่อน และค่าความหนืดของ

น้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้น หรือน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเข้าไปผสมกับน้ำมันหล่อลื่นแล้วจะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลดลงมาก ค่าจุดวาบไฟลดต่ำลง ไม่เหมาะแก่การใช้งานอีกต่อไป

ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมสภาพจึงจัดเป็นของเสียประเภทหนึ่งที่เราพบเห็นได้อยู่ทั่วไป โดยเฉพาะเนื่องจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง มีการปล่อยน้ำมันที่ใช้แล้ว ปะปนมากับน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และยังมีการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผ่านกระบวนการทางเคมีแล้วนำกลับมาขายเป็นน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่เกิดจากการเปลี่ยนถ่ายจากรถยนต์ภายในสถานบริการ เป็นของเสียที่เป็นอันตรายชนิดหนึ่งตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535 ต้องมีการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสม น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมีสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น โลหะหนักพวก แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สารหนู หรือสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่สามารถเข้าสู่ร่างกายคนเราได้ทางการสัมผัส

เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นของเสียที่มีมูลค่า โดยส่วนใหญ่สถานบริการที่มีขนาดเล็ก จึงขายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้กับพ่อค้าคนกลางที่อาจนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปผสมเพื่อนำไปขายใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหากับรถยนต์ของผู้ที่นำไปใช้ต่อไป ส่วนสถานบริการขนาดใหญ่ส่วนมาก จะขายให้กับบริษัทรับกำจัดของเสียเพื่อนำไปผสมเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตปูนซีเมนต์ แต่จะได้ราคาต่ำกว่าพ่อค้าคนกลาง บางสถานบริการจึงแบ่งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วส่วนหนึ่งขายให้กับบริษัทรับกำจัดของเสียเพื่อให้ถูกต้องตามกฎหมาย และอีกส่วนหนึ่งได้นำมาขายให้กับพ่อค้าคนกลางที่ได้ราคาที่สูงกว่าการจัดการเช่นนี้อาจเกิดปัญหาในกรณีที่พ่อค้าคนกลางดำเนินการขนส่งไม่ดีก็อาจเกิดการรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

จากการสำรวจโดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ป.ต.ท. ในปี 2540 พบว่า กลุ่มผู้ใช้น้ำมันหล่อลื่น ได้แก่ กลุ่มยานยนต์ กลุ่มอุตสาหกรรม กลุ่มประมง และกลุ่มราชการและรัฐวิสาหกิจมีปริมาณการใช้ในปี 2540 ประมาณ 223 ล้านลิตร/ปี, 73 ล้านลิตร/ปี, 17 ล้านลิตร/ปี, 11 ล้านลิตร/ปี และ 5 ล้านลิตร/ปี ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณของเสียจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะมีปริมาณถึงกว่า 200 ล้านลิตร/ปี และมีการศึกษาพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการบำบัดในประเทศขณะนี้ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานใช้ใหม่ (Re-Used) แต่น่าจะเหมาะแก่การนำไปทดแทนเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ปูนซีเมนต์ หรืออาจจะนำไปผสมกับน้ำมันดิบในกระบวนการกลั่นของโรงกลั่น จะให้คุณค่าทางเศรษฐกิจในการจัดการดีกว่าวิธีอื่นๆ

ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่ได้รับอนุญาตให้ครอบครองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปรีไซเคิลเพื่อทำผลิตภัณฑ์ใหม่ แต่น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วส่วนใหญ่จะถูกจัดการนอกโรงงานรีไซเคิล โดยมีผู้ประกอบการรับซื้อจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิง รวมทั้งเป็นวัตถุดิบในการทำน้ำมันหล่อลื่นปลอม ดังนั้นแนวทางการแปรรูปน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวจึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะช่วยลดปริมาณการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาบรรจุใหม่ โดยจะเป็นกระบวนการทำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบเชื้อเพลิงเหลวเป็นไปตามวิธีการที่ถูกต้องและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้การนำน้ำมันพืชสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร และใช้บริโภคในครัวเรือนที่ผ่านการใช้แล้วก็จัดว่าเป็นของเสียประเภทหนึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อแปรรูปให้เกิดการเพิ่มมูลค่าพร้อมไปกับการช่วยขจัดของเสีย การสำรวจเบื้องต้นพบว่าประเทศไทยมีการใช้น้ำมันพืชรวมประมาณ 47 ล้านลิตรต่อปี (วิซชากร, 2548) โดยส่วนใหญ่อยู่ในอุตสาหกรรมทอดอาหารขนาดใหญ่ โรงงานทอดบะหมี่สำเร็จรูป โรงงานทอดอาหาร/ขนมอบกรอบ ร้านอาหาร ภัตตาคาร รวมถึงร้านอาหารฟาสต์ฟู้ด (fast food) และปัจจุบันไม่มีความตื่นตัวในปัญหาการนำน้ำมันปรุงอาหารที่ผ่านการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ผู้ประกอบการบางรายนำน้ำมันใช้แล้วมารองและฟอกสีแล้วนำไปขายในราคาถูกแก่ผู้ค้ารายย่อยทั้งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว และร้านอาหารจําพวกทอด เช่น ปาท่องโก๋ ก๋วยเตี๋ยว แก้วทอด แผลงทอด ฯลฯ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคและเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง อาจถึงขั้นยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำให้เสียชีวิต จึงเห็นว่าการใช้น้ำมันปรุงอาหารที่ผ่านการใช้แล้วมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมีความเหมาะสมมากกว่าการนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์มาแปรรูปในด้านการเพิ่มมูลค่าของของเสียพร้อมกับการช่วยขจัดน้ำมันพืชใช้แล้วที่ของเสียอีกทางหนึ่งด้วย

จากเหตุผลดังกล่าวมาจึงควรได้มีการส่งเสริมเพื่อให้มีขยะพลาสติกและน้ำมันใช้แล้วเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานของประเทศ ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้ทรัพยากรของประเทศอย่างคุ้มค่าแล้ว ยังเป็นการใช้พลังงานจากแหล่งในประเทศ และเป็นการลดภาระการจัดหาแหล่งพลังงานต่างประเทศนับว่าเป็นการช่วยเศรษฐกิจของชาติได้เป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติก และน้ำมันใช้แล้ว ทั้งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ และน้ำมันพืชจากอุตสาหกรรมทอดอาหารกรอบ โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ประเภทกรด เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ซึ่งจัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม

ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัม ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอะลูมินา ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเซอร์โคเนีย รวมถึง การผสมตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงผลในแง่ความสามารถในการช่วยให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวให้มีขนาดเล็กลงและจัดโครงสร้างเหมาะสมกับสมบัติของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบสำหรับการขยายส่วนการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของพอลิพรอพิลีน น้ำมันหล่อลื่น และ น้ำมันพืชใช้แล้ว ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น เวลาในการเกิดปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำมันใช้แล้วภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

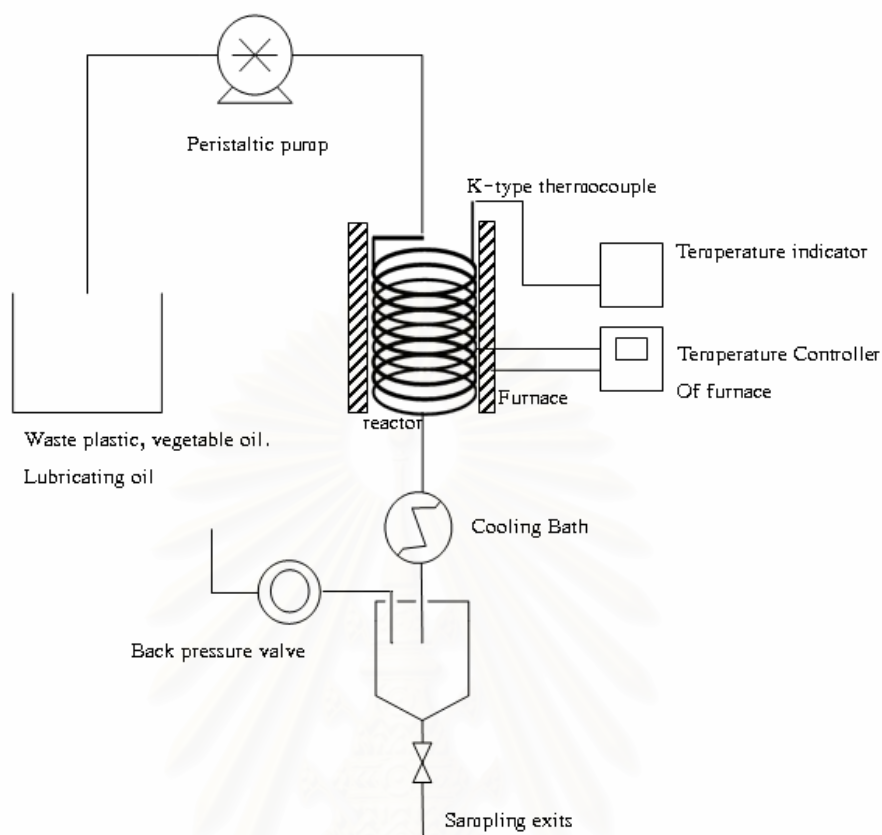
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดที่เทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนได้ดีที่สุด

3. ศึกษาการกลั่นแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ไปทดลองใช้กับเครื่องยนต์

1.3 วิธีและขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2. จัดหาวัสดุอุปกรณ์เพื่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์ เครื่องมือวิเคราะห์ และสารเคมี



รูปที่ 1-1 Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพลาสติก จะถูกหลอมใน storage ที่มีการอุ่นให้ร้อนจนเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส เพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ โดยอัตราการป้อนถูกควบคุมด้วย Peristaltic pump ซึ่งปรับรอบอัตราการหมุน อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถูกควบคุมโดยการปรับอุณหภูมิของเตา (furnace) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของเหลวภายในเครื่องปฏิกรณ์ (ของผสมของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพลาสติก) โดยมีเทอร์โมคัพเบิลแบบเค (K-type thermocouple) ต่อตรงกลางของเครื่องปฏิกรณ์ และเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์นี้มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน ดังนั้นภายในระบบจะมีการควบคุมความดันของแก๊สไฮโดรเจนด้วย back pressure valve ที่ติดตั้งอยู่ตอนล่างสุดของเครื่องปฏิกรณ์

3.เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยวิธี Impregnation โดยใช้ Ferric nitrate Nanohydrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ให้ได้ปริมาณเหล็กร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กระจายตัวอยู่

บนถ่านกัมมันต์ และทดสอบคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (surface area) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ (Brunauer-Emmett-Teller) ซึ่งจะพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์แตกต่างกันจะให้พื้นที่ผิวรูพรุนที่แตกต่างกัน และเมื่อร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์มากขึ้นจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนมากขึ้นเนื่องจากปริมาณของโลหะที่เติมลงไปจะช่วยกระตุ้นเปรียบเสมือนการใช้ $ZnCl_2$ ในการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวรูพรุนให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น และมีผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณภาพดีขึ้น

4. วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

5. วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพืชใช้แล้ว

6. หาภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่

(1) อัตราส่วนต่าง ๆ ระหว่างพอลิพรอพิลีน น้ำมันพืชใช้แล้ว
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

(2) อุณหภูมิ 380 - 600 องศาเซลเซียส

(3) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน

(4) อัตราการไหลของสารตั้งต้น

นอกจากนี้เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของพลาสติกและน้ำมันพืช/น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จะศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ และตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิยมใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรม เปรียบเทียบผลกันด้วย

7. วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ตลอดจนหาปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC) เพื่อหาค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือด วิธีการตาม ASTM D2887 ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวเป็นการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเทียบกับสารมาตรฐานโดยการให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจนถึง 320 องศาเซลเซียสใน Open tubular Column มี Detector เป็นแบบ FID Detector ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงค่า % Recovery ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเมื่อเทียบกับสารมาตรฐานที่อุณหภูมิในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ โดยสามารถคำนวณหาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามคาบจุดเดือดของการวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมันดิบ (Crude oil evaluation) ได้ดังนี้

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

8. ทดสอบองค์ประกอบทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ที่ได้

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวตามจุดเดือดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จะสามารถกำหนดภาวะของตัวแปรที่ใช้ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้สามารถนำไปกลั่นลำดับส่วนเพื่อให้ได้องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ในงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะถูกกลั่นลำดับส่วนเพื่อให้ได้องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ในงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะถูกกลั่นเป็นแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์ และ กากน้ำมัน ซึ่งจะนำแนฟทาวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงเทียบเคียงกับน้ำมันเบนซิน และ แก๊สออยล์วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล ได้แก่ค่าความร้อน ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 องศาเซลเซียส, ค่าซีเทน, ค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และจุดวาบไฟ

9. ทดสอบนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

ในงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องจะถูกกลั่นเป็นแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์ และ กากน้ำมัน ซึ่งจำนำแนฟทามาใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเครื่องยนต์ในห้องทดสอบ โดยทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงโดยวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แปลงพลังงานกลจากเครื่องยนต์เป็นไฟฟ้า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันดำ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ใช้งานจริง ทดสอบประสิทธิภาพการขับขี่ และอัตราเร่ง เป็นต้น

10. วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการวิจัย

1.4 ระยะเวลาการดำเนินการ 12 เดือน

ตั้งแต่เดือน 1 ตุลาคม 2549 ถึง 30 กันยายน 2550

1.5 แผนงานวิจัย

กิจกรรม	เดือน												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	■	■											
2. จัดหาวัสดุอุปกรณ์เพื่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์ เครื่องมือวิเคราะห์ และสารเคมี	■	■	■										
3. ออกแบบ และสร้างเครื่องปฏิกรณ์และเครื่องกลั่น	■	■	■										
4. วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันพืช และพลาสติกใช้แล้ว			■	■	■								
5. ออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม				■	■	■							
6. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่หนึ่ง						●							
7. ทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว						■	■	■	■				
8. วิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติทางเชื้อเพลิง					■	■		■	■				
9. วิเคราะห์สมบัติของการเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก หรือ รถจักรยานยนต์									■	■			
10. ทดสอบความสามารถและประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก หรือ รถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวที่สังเคราะห์ได้										■	■		
11. จัดประชุมสัมมนา รวบรวมรายงานการศึกษาระดับสมบูรณเพื่อเผยแพร่ผลการศึกษา ให้กับผู้เกี่ยวข้อง และผู้สนใจจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ และเอกชน จำนวนอย่างน้อย 20 คน													●
12. จัดทำรายงานการศึกษาระดับสมบูรณ													●

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวพลาสติก และน้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้ความร้อนให้เป็นน้ำมันชนิดเบาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง และนำน้ำมันมากลั่นเพื่อนำไปทดสอบในเครื่องยนต์ และสามารถขยายส่วนเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีของเสียจากน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยการเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการกำจัดของเสียและพัฒนาเชื้อเพลิงใหม่

บทที่ 2

แนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่มีการขยายตัวอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้เกิดการบริโภคและก่อให้เกิดขยะและของเสียจำพวกพลาสติกและน้ำมันใช้แล้ว ซึ่งจำเป็นต้องหาหนทางในการกำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพร้อมๆ ไปด้วยกับการขยายตัวของสังคมและการอุปโภคบริโภคของประชาชน ก็ทำให้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานเป็นปัญหาสำคัญของชาติอย่างหนึ่ง เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของการนำขยะหรือของเสียกลับมาใช้ใหม่หรือแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานของประเทศ ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้ทรัพยากรของประเทศอย่างคุ้มค่าแล้ว ยังเป็นการใช้พลังงานจากแหล่งในประเทศ และเป็นการลดภาระการจัดการแหล่งพลังงานต่างประเทศนับว่าเป็นการช่วยเศรษฐกิจของชาติได้เป็นอย่างดี กรอบแนวคิดงานของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติก และน้ำมันใช้แล้ว ทั้งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ และน้ำมันพืชจากอุตสาหกรรมทอดอาหารกรอบ โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ประเภทกรด เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ซึ่งจัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายด้วยขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนภายในห้องปฏิบัติการ และมีราคาไม่แพง ก็จะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อศึกษาถึงผลในแง่ความสามารถในการช่วยให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวให้มีขนาดเล็กลงและจัดโครงสร้างเหมาะสมจนมีสมบัติของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบสำหรับการขยายส่วนการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

2.1 พลาสติก

ในปัจจุบัน พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของคนเรา ไม่ว่าจะเป็นเครื่องครัว ถ้วยชาม อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องประดับ เพอร์นิเจอร์ ฯลฯ ล้วนแต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพลาสติกแทบทั้งสิ้น พลาสติกหรือที่เรียกว่า "พอลิเมอร์" (Polymer) เป็นสารสังเคราะห์ขึ้นมา

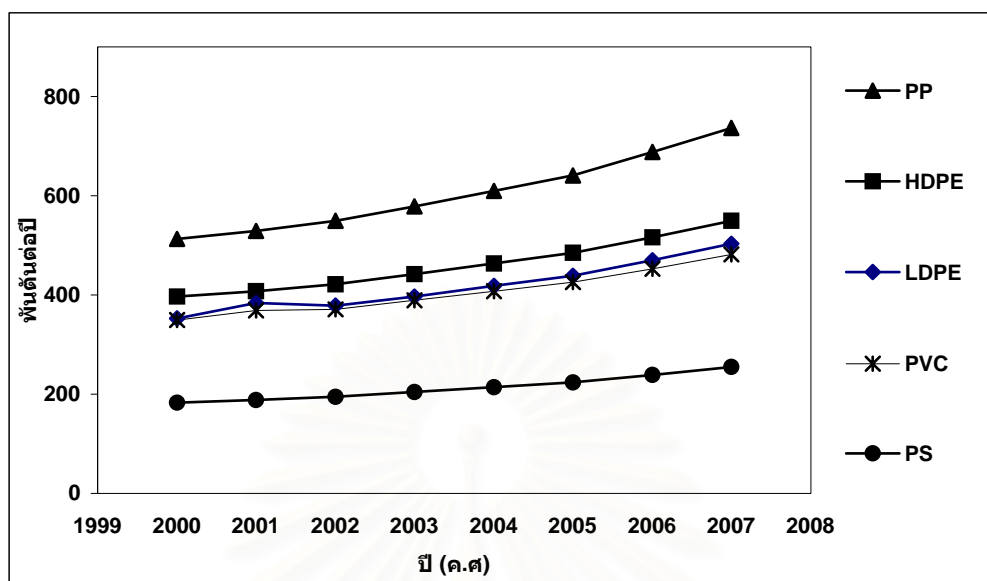
ตามกระบวนการที่เรียกว่า “พอลิเมอไรเซชัน” (Polymerization) ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้หน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “มอนอเมอร์” (Monomer) เกิดการรวมตัวเชื่อมกัน ทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นและแปรลักษณะทางกายภาพจากเดิมที่อาจจะอยู่ในรูปของแก๊สหรือของเหลว กลายเป็นของแข็งซึ่งจะมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มนุษย์ค้นพบสารประกอบพอลิเมอร์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2313 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติในรูปของยาง (Barbalata, 1996; ปรีชา, 2537)

การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกนั้น จะนำวัตถุดิบมาแปรรูป โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น ทำเป็นแผ่นฟิล์ม ทำเป็นเส้นใย ทำเป็นแผ่นเทป ทำให้เป็นรูปแบบตามแบบพิมพ์โดยการฉีดขึ้นรูป หรือเป่าตามแบบ เป็นต้น ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่าง ๆ เช่น ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อนและถุงเย็น ของเด็กเล่น เครื่องใช้ในครัวเรือน เส้นใย ฯลฯ อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกนี้เริ่มขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2493 ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติพิเศษ และเด่นกว่าวัสดุชนิดอื่น และสามารถใช้แทนแก้ว ไม้ หรือกระดาษได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการดัดและต่างได้ดี อีกทั้งยังสามารถเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี มีน้ำหนักเบา

จากสมบัติข้างต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพลาสติกเป็นที่ยอมรับจนสามารถสร้างตลาดได้ดีและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันก็ได้มีการพัฒนารูปแบบพลาสติกต่าง ๆ สีสันพร้อมกับคุณภาพที่สูงขึ้น

2.1.1 การบริโภคเม็ดพลาสติก

ผลผลิตเม็ดพลาสติกมีสัดส่วนร้อยละ 9.0 ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือร้อยละ 2.5 ของ GDP ผลผลิตครึ่งหนึ่งส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ (สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1, 2546; กรมส่งเสริมการค้าส่งออก, 2541) ยอดการใช้เม็ดพลาสติกในประเทศปีละประมาณ 2.4 ล้านตัน ผลิตในประเทศ 1.7 ล้านตัน และนำเข้า 0.7 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นพลาสติก 5 ประเภท คือ พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังรูปที่ 2-1

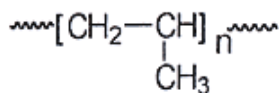


รูปที่ 2-1 ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ถึง ค.ศ.2008 (สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1, 2546)

2.1.2 พอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Mackey, 1992; ปรีชา, 2536) ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ความถ่วงจำเพาะต่ำ ความแข็งแรงเปราะสูง อุณหภูมิบิดตัวสูง ทนทานต่อสารเคมีได้ดี มีสมบัติด้านไฟฟ้าได้ดี จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในครัวเรือน ภาชนะ บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น พอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่มีอิมิตัวน้อยมาก หรือไม่มีเลยการสลับที่ของหมู่เมทิลไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันได้มากมาย โดยหมู่เมทิลเป็นตัวกำหนดโครงสร้างแทกติกซิตี (Tacticity) ของพอลิเมอร์ได้ โดยแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ กันดังนี้

1. แบบ Isotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่ด้านเดียวกันของสายโซ่โมเลกุล
2. แบบ Syndiotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุล
3. แบบ Atactic เมื่อหมู่เมทิลไม่อยู่กันเป็นระเบียบบนสายโซ่โมเลกุล



โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

ลักษณะการใช้งาน	เทอร์โมพลาสติก เส้นใย เทอร์โมพลาสติกยืดหยุ่น (thermoplastic elastomers)
มอนอเมอร์	พรอพิลีน
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	Ziegler-Natta polymerization, Metallocene catalysis polymerization
โครงสร้างพื้นฐานวิทยา(Morphology) :	ความเป็นอสัณฐานสูง (atactic), ความเป็นผลึกสูง(isotactic)
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) :	270 องศาเซลเซียส(100% isotactic)
อุณหภูมิคล้ายแก้ว(Glass transition temperature):	-17 องศาเซลเซียส

2.1.3 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

1. ความต้านทานต่อสารเคมี พอลิพรอพิลีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) จึงแสดงสมบัติการต้านทานต่อสารเคมีได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทนต่อกรด (ยกเว้น Oxidizing acid) เบส ได้
2. ความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม พอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ Teritary มีการเกาะตัวของโมเลกุลอย่างไม่แน่นหนา ถูกย่อยสลายได้ง่าย ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด
3. ความสามารถในการติดไฟ พอลิพรอพิลีนติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส โดยสมบัติทางกลและสมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2-1 สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีน (นงเยาว์, 2538)

สมบัติ	วิธีการทดสอบ	โพลิเมอร์		
		3	0.7	0.2
ดรรชนีการไหล	(ก)	3	0.7	0.2
ความต้านทานแรงดึงขาด (ปอนด์/ตารางนิ้ว) (เมกะพาสคัล)	(ข)	5000 34	4400 30	4200 29
ร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด	(ข)	350	115	175
มอดุลัสการบิดโค้ง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)(* 10 ⁵) (เมกะพาสคัล)	-	1.9 1310	1.7 1170	1.6 1100
อุณหภูมิเปราะตัว (°C)	ici/ASTM D.476	15	0	0
จุดอ่อนตัวไวแคท (°C)	BS 2782	145-150	148	148
ความแข็งตามสเกลรีคเวลด (สเกล อาร์)	-	95	90	90
ความต้านทานแรงกระแทก (ฟุต-ปอนด์) (จูล)	(ค)	10 13.5	25 34	34 46

(ก) ใช้พอลิเอทิลีนเกรดมาตรฐาน ขึ้นรูปครั้งละ 2.16 กิโลกรัม อุณหภูมิการขึ้นรูป 230 °C

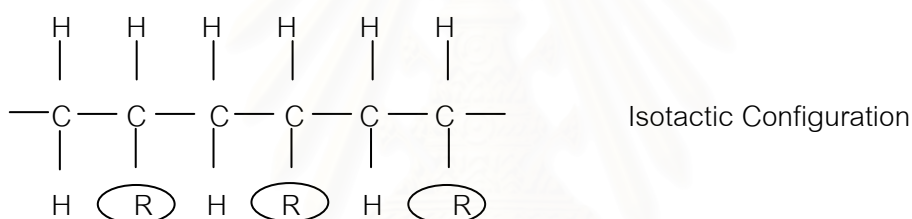
(ข) อัตราเร็วในการดึง (Straining Rate) 18 นิ้ว/นาที

(ค) ทดสอบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ขนาดศูนย์กลาง 14 นิ้ว ทดสอบ ณ อุณหภูมิ 20 °C

ในปี ค.ศ.1954 แนพตาได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซีเกอร์ค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน (ปรีชา, 2536) โดยปรับปรุงรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยา และได้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปซึ่งมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น โอลิฟินิกพอลิพรอพิลีนที่มี

ความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีนแต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและแข็งแรงกว่าโครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่หลักของโมเลกุล (Main chain) พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (ปรีชา, 2536; Morre, 1996) ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลักได้แก่

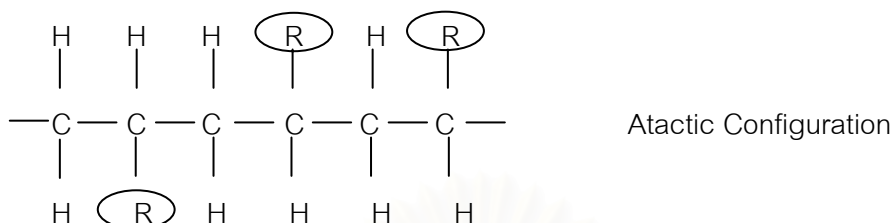
1) ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลทำให้การตกผลึกดีที่สุดสังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Heterogenous ของ Titanium (III) chloride กับตัวเร่งร่วมกับสารประกอบ Organoaluminium เช่น Diethylaluminium chloride



สมบัติของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน

สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีนนอกจากขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เป็นแบบไอโซแทคติกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนทางการค้า ซึ่งทำการผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทดสอบวิธีเดียวกัน และมีปริมาณโครงสร้างไอโซแทคติกใกล้เคียงกันมาก แต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ปรากฏว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น คือเมื่อตรวจนิการไหล (Melt Flow Index) ลดลง พลาสติกจะมีความต้านทานแรงดึงขาด ความแข็งตึง ความแข็ง และ อุณหภูมิจุดเปราะตัวลดลง ในขณะที่ความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้น

II) อะแทกติกพอลิพรอพิลีน

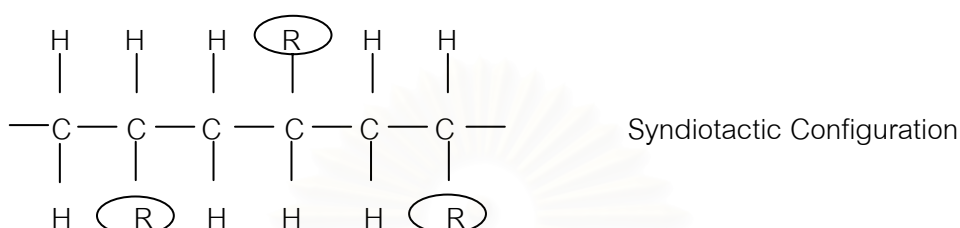


อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุดสังเคราะห์จากกรดลิวอิส และสารประกอบ Organometallic เกิดเป็นโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน

อะแทกติกพอลิพรอพิลีน สามารถทำการผลิตได้โดยตรง หรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ตามปกติพอลิพรอพิลีน ชนิดเอแทกติกอย่างสมบูรณ์ จะมีโครงสร้างอสัณฐาน แต่ในทางการค้ายังมีส่วนที่เป็นผลึกหลงเหลืออยู่บ้าง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 20,000 - 80,000 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร อะแทกติกพอลิพรอพิลีนมีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างไอโซ และยาง สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนได้เช่นเดียวกับไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน แต่อะแทกติกพอลิพรอพิลีนจะเกิดการบวมอย่างมากในสารไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และรวมตัวได้ดีกับตัวเติมจำพวกแรบริบูมินัส และเรซินต่าง ๆ

ในอดีตอะแทกติกพอลิพรอพิลีนเป็นผลพลอยได้ที่ไม่เป็นที่ปรารถนาในการผลิต แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในยุโรปใช้ผสมกับบิพูมินัส เพื่อใช้ทำรอยต่อต่าง ๆ การผสมพลาสติกชนิดนี้จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น

III) ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) สลับกันบนโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลงมีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย



2.1.4 การใช้ประโยชน์ของพอลิพรอพิลีน (ปรีชา,2536)

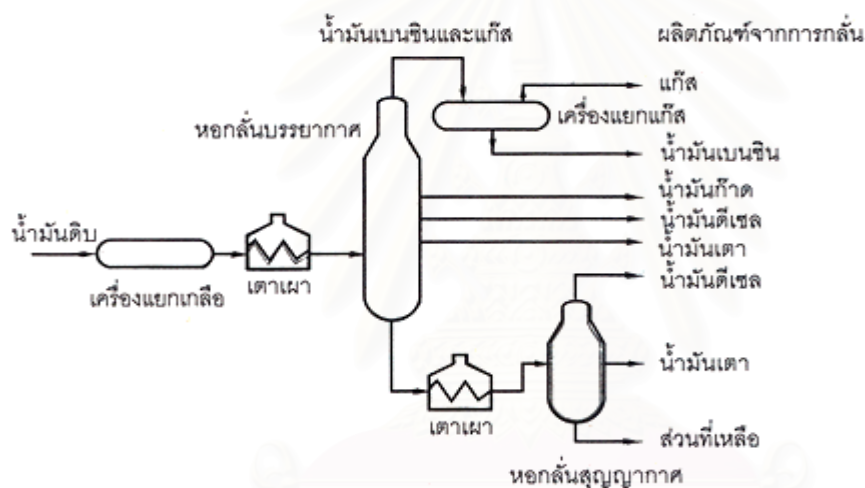
ปัจจุบันได้มีการใช้พอลิพรอพิลีนอย่างกว้างขวาง มีการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้งาน เช่น โพลิพรอพิลีน เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานประเภทที่ต้องการสมบัติด้านทนทานต่อสภาพแวดล้อมและทนความร้อนได้ดี นิยมนำมาทำกล่องพลาสติก ส่วนพอลิพรอพิลีนโคพอลิเมอร์มีสมบัติด้านทนการกระแทกสูง มีจุดเปราะต่ำที่อุณหภูมิห้อง นิยมใช้ผลิตเป็นวัสดุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรผ้า ตัวถัง และกันชนรถยนต์ นอกจากนี้ได้มีการพยายามที่จะปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนให้สมบัติทนทานในการรับแรงกระแทก หรือทนต่อ ความร้อน อุณหภูมิสูงได้ โดยผสมพอลิพรอพิลีนกับวัสดุจำพวกยางเพื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ เช่น กันชน หน้าปัด หรือการผสมพอลิพรอพิลีนกับทัลค์ (Talc) เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความร้อน และอุณหภูมิ

2.2 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil)

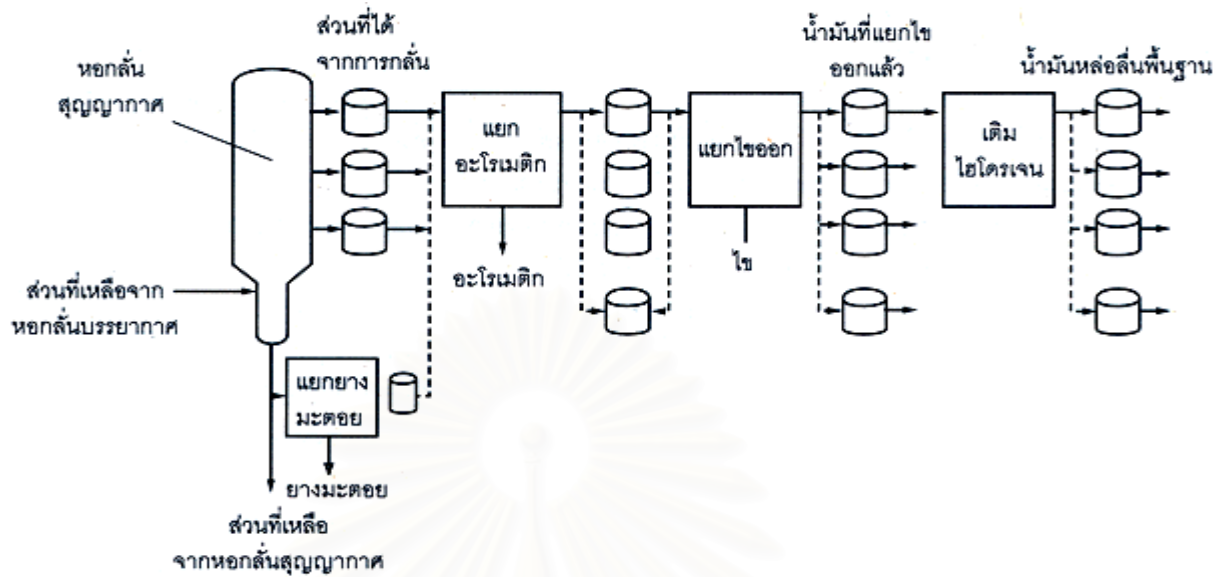
สารหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่มากมาย ซึ่งถ้าแบ่งตามสถานะจะแบ่งออกได้เป็นสี่ชนิด คือ ก๊าซ ของเหลว สารกึ่งแข็ง (semi solid) และของแข็ง (ปารง, 2536) ในจำนวนของสารหล่อลื่นทั้งหมดที่ใช้กันสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวจะใช้กันมากที่สุด รองลงมาคือ สารกึ่งแข็งซึ่งได้แก่ จาระบี (Chaiprasert, 1999) การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันแพร่หลายมากนั้น เพราะสามารถแยกผิววัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์และสามารถรับแรงที่กระทำได้มากของเหลวที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นมีสารละลายกับน้ำ (aqueous solution) น้ำมันแร่ (mineral oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนี้น้ำจะมีการใช้งานค่อนข้าง

จำกัด เช่น ใช้ในการหล่อลื่นแบริงไม้ หรือแบริงยางของกังหันวิดน้ำหรือเครื่องสูบน้ำบางประเภท ส่วนสารละลายกับน้ำจะใช้เฉพาะในการหล่อลื่นชิ้นงานของเครื่องกลึง เครื่องเจียระไนและเครื่องไสเป็นหลัก สำหรับสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้กันมากก็คือ น้ำมันหล่อลื่นซึ่งจะมีอยู่สองชนิด คือ น้ำมันแร่และน้ำมันสังเคราะห์ส่วนน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีราคาแพง

รูปแสดงขั้นตอนของการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาตามจุดเดือดดังรูปที่ 2-2 ซึ่งจะแบ่งชนิดของน้ำมันได้



รูปที่ 2-2 การกลั่นน้ำมันดิบ (ธำรง, 2536)



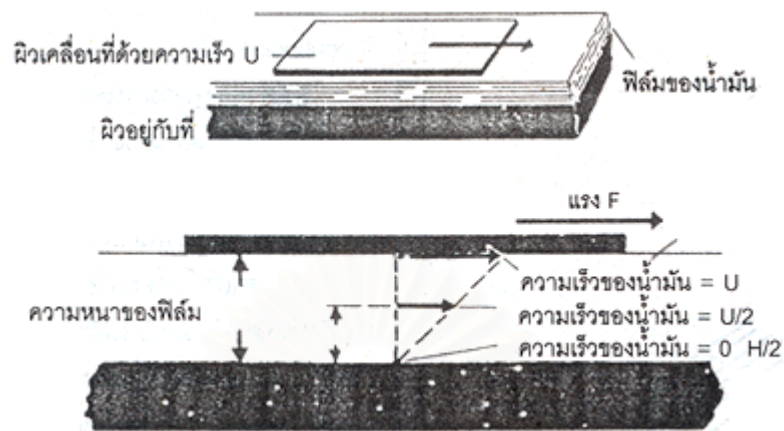
รูปที่ 2-3 กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น (อ้าง, 2536)

จากภาพเป็นขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นซึ่งการผลิตดังกล่าวเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube base stock) ซึ่งโดยทั่วไปยังไม่สามารถนำไปใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลได้ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเสียก่อน วิธีที่นิยมใช้กันก็คือการใส่สารเพิ่มคุณภาพ (additives) เข้าไป

2.2.1 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

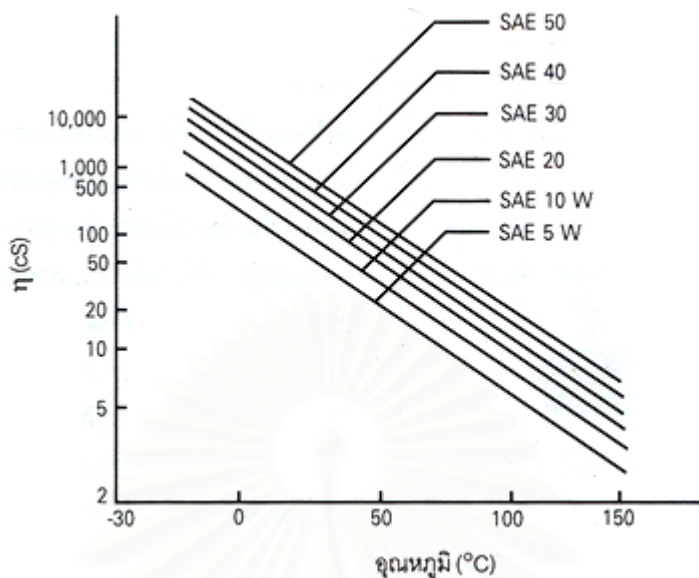
น้ำมันหล่อลื่นประเภทน้ำมันแร่มีหลายชนิดแต่ชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้ จึงจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น และในการผลิตก็จะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นให้ได้ตามต้องการสำหรับคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่สำคัญทั้งคุณสมบัติทางด้านฟิลิกส์และเคมี (วีระศักดิ์, 2533; อ้าง, 2536) มีดังต่อไปนี้

1. **ความหนืด (viscosity)** ถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัสและมีผลต่อการเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างผิวสัมผัสที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานในการไหล



รูปที่ 2-4 หลักการของความหนืด (อ้าง, 2536)

หลักการของความหนืดตามที่แสดงในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยแผ่นวัตถุถูกดึงไปบนฟิล์มของน้ำมันด้วยความเร็วสม่ำเสมอฟิล์มของน้ำมันติดอยู่กับผิววัตถุที่เคลื่อนที่และที่อยู่กับที่ซึ่งเมื่อพิจารณาให้น้ำมันประกอบขึ้นด้วยชั้นน้ำมันหลายๆ ชั้น ชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่เคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเดียวกับผิวที่เคลื่อนที่ (U) ส่วนชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่อยู่กับที่ก็จะมีความเร็วเป็นศูนย์ ชั้นน้ำมันที่อยู่ระหว่างชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดก็จะถูกดึงไปด้วยชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบนถัดไปให้มีความเร็วส่วนหนึ่งของความเร็ว U ซึ่งความเร็วของแต่ละชั้นของน้ำมันดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากผิววัตถุที่อยู่กับที่แรง (F) ที่ต้องใช้ในการดึงให้ผิววัตถุอันบนเคลื่อนที่ไปนี้ก็คือ แรงที่ต้องเอาชนะความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นน้ำมันนั่นเอง และเนื่องจากแรงนี้เป็นผลมาจากความหนืด โดยแรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืด ดังนั้นความหนืดก็สามารถได้จากการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานของน้ำมัน ความหนืดที่หาได้ในที่นี้เรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ หรือความหนืดเชิงพลศาสตร์



รูปที่ 2-5 ความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด (อ้าง, 2536)

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะไม่คงที่แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแปรผัน กับอุณหภูมิและความดันในการใช้งานในด้านของอุณหภูมิตั้งแต่ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมันซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของเหลวจะขยายตัวโมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกห่างกันทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ลดลงและเป็นผลให้ความหนืดลดลงด้วย แสดงดังรูปที่ 2-5 เป็นกราฟแสดงถึงผลของอุณหภูมิต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น และเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้ด้วย นอกจากแสดงด้วยกราฟแล้วผลของอุณหภูมิต่อความหนืดก็ยังสามารถแสดงได้ด้วยสมการแต่เป็นเพียงสมการโดยประมาณเท่านั้น

$$\log \eta = A + B / T$$

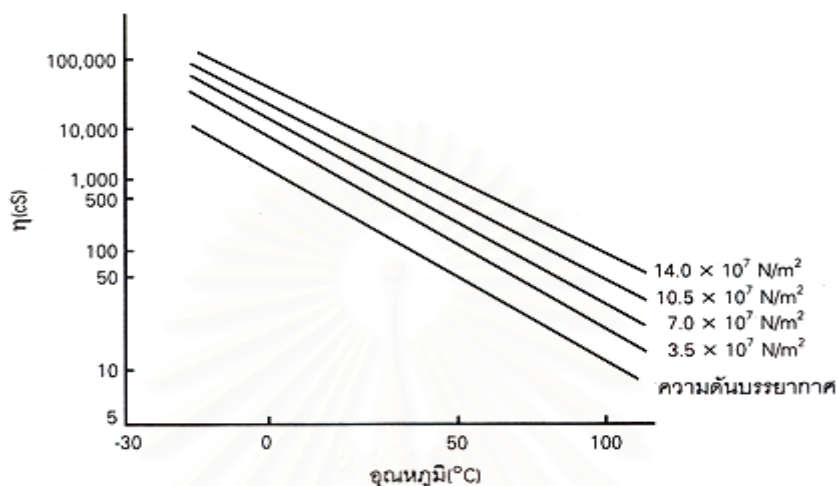
$$\eta = \text{ความหนืดเชิงพลศาสตร์}$$

$$A \text{ และ } B = \text{ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิสัมบูรณ์}$$

สำหรับผลของความดันต่อความหนืดนั้น จะเห็นได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อความดัน ของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นโมเลกุลของน้ำมันก็จะถูกบีบให้เข้าใกล้กันทำให้แรงยึดติดระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นด้วย รูปที่ 2-6

แสดงถึงผลของความดันที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 ซึ่งความหนืดจะเปลี่ยนแปลงจนเห็นได้ชัดเจนเมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ $2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ (Pascal)



รูปที่ 2-6 ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 (อ้าง, 2536)

และเมื่อความดันเพิ่มเป็น $3.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ความหนืดก็จะเพิ่มเป็นสองเท่าของความหนืดที่ความดันบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงของความหนืดอันเนื่องมาจากความดันสามารถแสดงได้ด้วยสมการโดยประมาณ คือ

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha P}$$

$$\eta = \text{ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดัน } P$$

$$\eta_0 = \text{ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดันบรรยากาศ}$$

$$P = \text{ความดันของน้ำมันหล่อลื่น}$$

$$\alpha = \text{สัมประสิทธิ์ของความดันกับความหนืด}$$

$$e = 2.71828$$

2. **ดัชนีความหนืด** (viscosity index) น้ำมันหล่อลื่นต่างชนิดกันจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดดัชนีความหนืดขึ้นมาเพื่อใช้แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิโดยใช้การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่จะหาดัชนีความหนืดกับ

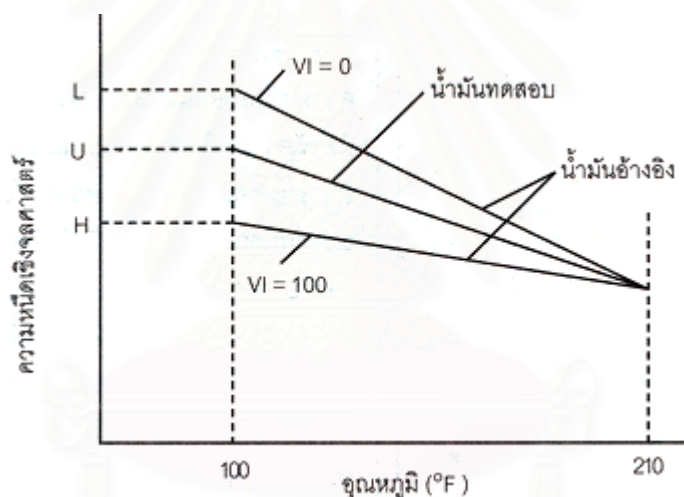
น้ำมันหล่อลื่นที่เลือกสองชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น Gulf Coast ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิมากให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับ 0 และน้ำมันหล่อลื่น Pennsylvanian ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้อยให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับ 100

การหาดัชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกระทำได้โดยการหาความหนืดเชิงจลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100°F และ 120°C แล้วหาค่าดัชนีความหนืดตามสมการคือ

$$V.I. = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

V.I. = ดัชนีความหนืด (viscosity index)

ค่า L, U และ H แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2-7 การหาดัชนีความหนืด (ธำรง, 2536)

3. กากคาร์บอน (carbon residue) หมายถึง สิ่งที่ตกค้างอยู่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังจากเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นในสภาวะที่กำหนด ปริมาณกากคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นไม่ค่อยมีความสำคัญต่อการใช้งาน เนื่องจากจะไม่มีคาร์บอนโดยตรงของน้ำมันหล่อลื่นในการนำไปใช้งาน

4. สี (color) สีของน้ำมันหล่อลื่นที่เห็นเมื่อมีแสงผ่านนั้นจะมีสีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ใสมากจนถึงดำ ซึ่งอาจ มีสีเหลือง แดง และน้ำตาล เป็นต้น ความแตกต่างกันของสีของน้ำมันหล่อลื่นเป็นผลมาจากชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นแตกต่างกันทั้งวิธีการกลั่นและผลิต จำนวนและชนิดของสารเพิ่มคุณภาพ ดังนั้นสีของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปจึงไม่มีความสำคัญในด้านการใช้งานยกเว้นกรณีที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา

5. **ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ** (density and gravity) ความหนาแน่น หมายถึง มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด ส่วนความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ในสหรัฐอเมริกา มักนิยมกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะในรูปของหน่วย องศา API (American Petroleum Institute) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{องศา API} = \frac{141.5}{\text{Sp. gr. } 60 / 60^\circ \text{ F}} - 131.5$$

$$\text{องศา API} = \text{องศา API ที่ } 60^\circ \text{ F Sp gr } 60/60^\circ \text{ F} = \text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ } 60^\circ \text{ F}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อค่าองศา API เพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลงค่าความถ่วงจำเพาะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วซึ่งถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง (ค่าองศา API เพิ่มขึ้น) แสดงว่ามีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่นและถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นก็อาจแสดงว่ามีสิ่งแปลกปลอม เช่น เชม่า หรือสารที่เกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น

6. **จุดวาบไฟและจุดติดไฟ** (flash and fire points) หมายถึง อุณหภูมิที่น้ำมันระเหยกลายเป็นไอ เพียงพอที่ผิวและสามารถลุกไหม้ได้เมื่อโดนเปลวไฟแต่ที่อุณหภูมินี้การระเหยกลายเป็นไอจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การลุกไหม้คงอยู่ต่อไป เปลวไฟจึงดับลงเองทันที แต่หากมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันต่อไปอีกอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่การระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่จะทำให้เกิดลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมินี้ เรียกว่า จุดติดไฟ จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นใหม่จะแปรผันกับความหนืดโดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงก็จะมีจุดวาบไฟสูงด้วย นอกจากนี้ชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็มีผลต่อจุดวาบไฟด้วย จุดวาบไฟ และจุดติดไฟของน้ำมันใช้ในการควบคุมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและใช้ในการพิจารณาในด้านความปลอดภัยในการทำงาน

7. **จุดไหลเท** (pour point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มไหลภายใต้สภาวะที่กำหนดซึ่งน้ำมันทั่วไปจะมีไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันเย็นไขก็จะตกผลึกและเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงโดยกักเอาน้ำมันไว้และเมื่อผลึกของไขเกิดขึ้นมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้ต่อไป ความสำคัญของจุดไหลเทจะขึ้นอยู่กับสภาวะของการทำงาน ตัวอย่างเช่น ในประเทศหนาวจะต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำเพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลได้ถึงแม้อุณหภูมิของ

อากาศโดยรอบจะต่ำในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำก็ไม่มีควมจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงตลอดเวลา

8. **ตัวเลขความเป็นกลาง (neutrallization number)** น้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจะมีสภาพความเป็นกรดอยู่เล็กน้อยซึ่งสภาพความเป็นกรดนี้จะวัดเป็นปริมาณของเบสมาตรฐานที่ต้องใช้ในการทำให้น้ำมันมีสภาพเป็นกลางสภาพความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจน (oxidation) ซึ่งทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้นสภาพความเป็นกรดนี้อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะได้ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นโดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจึงนิยมเติมสารเพิ่มคุณภาพที่มีสารที่เป็นด่างเข้าไปเพื่อให้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งมีสภาพเป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลาง และเมื่อน้ำมันหล่อลื่นไปใช้งานอัตราการสิ้นเปลืองสารที่เป็นด่างที่ตรวจสอบได้ก็จะเป็นตัวชี้ถึงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น การวัดความเป็นด่างนี้จะวัดใน รูปของจำนวนเบสทั้งหมด

2.2.2 ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นในประเทศไทย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยเจริญเติบโตมากขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งน้ำมันหล่อลื่นมีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกทั้งมีการใช้รถยนต์ชนิดต่าง ๆ มากขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอต่อความต้องการโดยในปี 2547 ประเทศไทยมีการใช้รถยนต์นั่งทุกชนิดเพิ่มขึ้นจากปี 2546 มากกว่า 2 ล้านคัน ซึ่งต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นเฉพาะสำหรับรถยนต์นั่งรวมกันประมาณ 50 ล้านลิตรต่อปี และหากรวมถึงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมด้วย จะต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นมากกว่า 45,045 ล้านลิตรต่อปี จึงต้องมีการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นจากต่างประเทศเพื่อใช้ในกระบวนการต่าง ๆ โดยปริมาณการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ปริมาณการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นภายในประเทศไทย

ปี	ปริมาณการนำเข้า (ล้าน ลิตร)
2535	16,148
2536	18,794
2537	21,336
2538	26,558
2539	36,844
2540	42,348
2541	39,446
2542	40,535
2543	39,242
2544	41,368
2545	42,279
2546	45,045

Available from : <http://www.doeb.go.th/dbd/data-stat/stat.html>

2.2.3 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดถูกผลิตมาให้เหมาะกับการใช้งาน ด้วยการนำน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะ มาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษตามการใช้งาน เช่น สารชะล้าง และสารเพิ่มดัชนีความหนืด เป็นต้น เมื่อใช้งานไปแล้วคุณสมบัติ และคุณภาพต่างๆจะเสื่อมลง ลดลงไปเรื่อยๆ จนไม่เหมาะแก่การใช้งาน (วีระศักดิ์, 2533; อ่าง, 2536) โดยการเสื่อมสภาพเกิดจาก 3 สาเหตุ คือ

1) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อลื่นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วเกิดสารประเภทกรด และคราบยางเหนียวปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพ เกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูง จะทำให้เนื้อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียว เกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร ตามปกติในน้ำมันหล่อลื่นมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่แล้ว หากสารนี้ถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพ น้ำมันหล่อลื่นก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้

2) สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพ โดยสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ที่เติมลงในน้ำมันหล่อลื่น จะถูกใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพ หรืออาจเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพ น้ำมันอีกต่อไป ทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่มีคุณสมบัติดีพอที่จะทำงานได้ดีต่อไป

3) มีสิ่งสกปรก หรือสารอื่นจากภายนอกเข้าไปปะปน สิ่งสกปรก สารอื่นจากภายนอก เช่น น้ำ ฝุ่นละออง เขม่า และอื่นๆ เมื่อเข้าไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นแล้ว อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นได้

2.3 น้ำมันจากพืช

ประเทศไทยมีการใช้น้ำมันจากพืชหลายชนิดเพื่อบริโภคหลายเช่นน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว ฯลฯ แต่พบว่าได้มีการใช้ปาล์มในอุตสาหกรรมอาหารเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากความพิเศษของปาล์มที่เมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันประกอบอาหารจะไม่มีกลิ่นหรือรสที่ทำให้อาหารเสียรสชาติ จึงนิยมนำมาใช้ประกอบอาหารปรุงสำเร็จทันที เช่น ปาท่องโก๋ ทอดมัน ถั่วทอด ข้าวเกรียบทอด ซึ่งนอกจากนี้ ส่วนอื่นๆของปาล์มก็สามารถทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น กากของเมล็ดในปาล์มเป็นส่วนของที่มีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ ทะลายปาล์มเปล่าของปาล์มนั้นนำกลับไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์มหรือเป็นวัสดุการเพาะเห็ดฟางได้ ส่วนน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้วจะยังคงมีธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์ม และให้ความชื้นแก่ต้นปาล์มได้ นอกจากนี้กะลา และไซปาล์มก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานแก่โรงงานได้อีกด้วย โดยมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมและบริโภค ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

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

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

2.3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากพืช

สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นไขมัน และน้ำมันนั้น ๆ (นิธิยา, 2545) ได้แก่

1. จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลวทั้งหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นช่วงกว้างหรือแคบ ขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-3 เมื่อนำไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ ไขมันจะค่อยๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก จุดหลอมเหลวของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-3 จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ (นิธิยา, 2545)

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด(°C)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		
กรดบิวทีริก	-5.3	164
กรดคาโปรอิก	-3.2	206
กรดคาพโรลิก	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
กรดปีฮีนิก	79.9	-
กรดลิกโนเซริก	84.2	-

ตารางที่ 2-3(ต่อ) จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด(°C)
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิติโตเลอิก	0.5	
กรดโอเลอิก	16.3	
กรดอีรูซิก	33.7	
กรดลิโนเลอิก	-5.0	
กรดลิโนเลนิก	-11.0	
กรดอะราคิโดนิก	-49.5	

ตารางที่ 2-4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (นิธิยา, 2545)

ชนิดของไขมัน และน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	T _{iter} (°C)	ความถ่วงจำเพาะ (°C)	การหักเหของแสง (°C)
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	-16 ถึง -18	16 - 20	0.922 - 0.926	1.472 - 1.474
ทานตะวัน				

2. จุดแข็งตัว (Solidifying point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งเรียกว่า เกิด solidification และเรียกจุดนี้ว่า solidifying point อุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 - 3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายๆชนิดผสมกัน จุดแข็งตัวจะเป็นช่วงกว้าง เมื่อนำไขมันหรือน้ำมันมาทำการไฮโดรไลซิสด้วยด่างจนได้เป็นกรดไขมัน เมื่อปล่อยให้เย็นลง อุณหภูมิที่กรดไขมันเริ่มแข็งตัวเป็นผลึกเรียกว่า T_{iter} ไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดมี T_{iter} แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-4

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 2-4

5. การหักเหของแสง (Refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจชนิดคุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมัน และน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมัน และน้ำมันชนิดต่างๆจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบ

อยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ค่าไอโอดี้นของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้จำนวนของพันธะคู่ และจะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

6. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของไขมัน และน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมัน และน้ำมัน ความหนืดของไขมัน และน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ความหนืดของน้ำมันจากพืชบางชนิด (นิธิยา, 2545)

ชนิดของน้ำมัน	ความหนืด (เซนติพอยส์)		ที่อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	38	50	99	100
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 2-6

ตารางที่ 2-6 ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ของน้ำมันชนิดต่างๆ (นิธิยา, 2545)

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 2-7 รวมทั้งค่า Flash point และ Fire point ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์ของค่า Smoke point ต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมล็ดฝ้าย (นิธิยา, 2545)

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

ตารางที่ 2-8 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อค่า Smoke point, Flash point และ Fire point (นิตินยา, 2545)

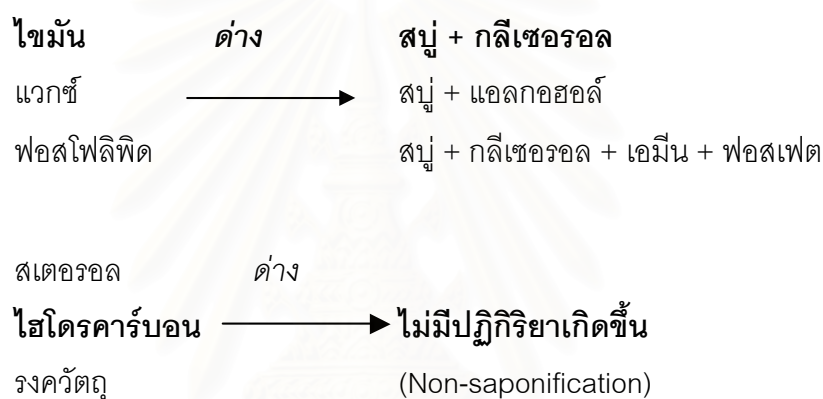
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	Smoke point (องศาฟาเรนไฮต์)	Flash point (องศาฟาเรนไฮต์)	Fire point (องศาฟาเรนไฮต์)
0.04	425	620	690
1.00	320	585	680

8. สี (Colour) สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม หากรงควัตถุตามธรรมชาติของน้ำมันเป็นสารแคโรทีน ไม่ควรกำจัดออกเพราะจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับน้ำมัน

9. การเกิดผลึกของไขมัน ไขมันต่างจากน้ำมัน คือ ไขมันเป็นของแข็ง และน้ำมันเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไขมันที่เป็นของแข็งจะมีลักษณะเป็นผลึก ขนาด และจำนวนผลึกที่เกิดขึ้นจะผันแปรตามชนิดของไขมัน 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) ดังนั้นระหว่างกระบวนการนวดแบ่งที่มีไขมันผสมอยู่ด้วย พันธะระหว่างผลึกของไขมันจะแยกออกจากกันได้ง่าย พันธะบางส่วนอาจจะกลับมาจับกันใหม่ได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของผลึกที่เป็นแบบตาข่ายในผลิตภัณฑ์จะถูกทำลายไปบางส่วนเรียกว่า Thixotropic โครงสร้างแบบตาข่ายของผลึกไขมันสังเกตได้โดยใช้กล้องไมโครสโคปชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscopy)

2.3.2 สมบัติทางเคมี

1. การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ไขมัน และน้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซิสได้ด้วยกรด ต่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซิสด้วยด่างเรียกว่า saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ลิพิดที่ถูกไฮโดรไลซิสได้ด้วยด่างเรียกว่า saponifiable matter เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด และซีผึ้ง ส่วนลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซิสด้วยด่าง เรียกว่า unsaponifiable matter หรือ non-saponifiable matter เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล ปฏิบัติการไฮโดรไลซิสลิพิดชนิดต่างๆ ด้วยด่างสรุปได้ดังนี้



ไขมัน และน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิดมักมีไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันจำนวนหนึ่ง จะมีค่าแน่นอน และเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดได้เรียกค่านี้อีกว่า Saponification Number (S.N.) หรือ Saponification Value (S.V.)

Saponification Number คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่หรือกลีเซอรอล ค่า S.N. ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกันถ้าค่า S.N. ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างในการไฮโดรไลซิสน้อย

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. สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมาก และจะเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย

3. ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมัน และน้ำมัน โดยใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่ง อาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่า hardening

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

4.1 Lipolysis เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ต่าง และความชื้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตาม การเกิดลิพอลิซิสจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นขณะทอดอาหารที่มีน้ำหรือมีความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิพอลิซิส 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 และ

ตะกั่ว 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 คาพริก ลอริก และไมริสติก ตามลำดับ

2.3.3 น้ำมันพืชใช้แล้ว

ในปัจจุบันยังไม่มี การสำรวจปริมาณที่แน่ชัดของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วจากอุตสาหกรรมทอดอาหารขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมทอดบะหมี่สำเร็จรูป โรงงานอุตสาหกรรมทอดอาหาร ขนมอบกรอบ ร้านอาหารภัตตาคารขนาดใหญ่ การบริโภคทั่วไปในครัวเรือน ประมาณในเบื้องต้นพบว่ามี การใช้ น้ำมันพืชเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมอาหารประมาณ 47 ล้านลิตรต่อปี (Witchakom, 2005) ซึ่งน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วเหล่านี้จัดว่าเป็นของเสียประเภทหนึ่ง และในปัจจุบันยังไม่มีวิธีรวบรวมของเสียเหล่านี้เพื่อกำจัด หรือทำลายอย่างเหมาะสม โรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตน้ำมันพืชป้อนให้กับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทอดกรอบบางแห่งได้มีการเก็บรวบรวมน้ำมันพืชใช้แล้วมาผ่านกระบวนการกรอง และฟอกสี เพื่อนำมาบรรจุขายใหม่ ในราคาที่ถูกผู้ค้ารายย่อยทั้งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และร้านอาหารจำพวกทอด เช่น ปาท่องโก๋ กุ้งชุบแป้งทอด ไข่ทอด แมลงทอด ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคและเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง และอาจถึงขั้นยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำให้เสียชีวิตได้หรือในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทอดกรอบบางแห่งได้ปล่อยน้ำมันพืชใช้แล้วลงสู่แหล่งที่ดินรกร้าง ซึ่งเป็นการกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีและเป็นผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

น้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ เมื่อได้รับความร้อนจากการใช้ งานหรือทอดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง กรดไขมันจะ แตกตัว ทำให้น้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น มีโมโน กลีเซอไรด์ และ ไดกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น รวมถึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดสารที่เกิด ออกซิเดชันหลายตัว ซึ่งรวมเรียกว่า 'สารโพลาร์' ดังนั้น น้ำมันพืชใช้แล้วจึงมีความเป็นโพลาร์มาก ขึ้น โดยมาตรฐานนานาชาติกำหนดให้ความเป็นโพลาร์ไม่ควรเกิน 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ เมื่อน้ำมันพืชใช้แล้วได้รับความร้อน กรดไขมันต่าง ๆ นอกจากจะแตกตัวแล้ว ก็อาจเกิดการรวมตัว กันเป็นโพลีเมอร์ หรือเกิดปฏิกิริยาสร้างสารบางชนิดที่ทำให้เกิดกลิ่นรสของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป น้ำมันอาจจะเหนียวขึ้น คุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป อย่างเช่นเป็นควันได้ง่ายขึ้น เนื่องจาก มันแตกตัวเปลี่ยนสภาพไปบางส่วน ซึ่งทั้งสารโพลาร์ สารโพลีเมอร์ สาร همینนีน เหล่านี้ อาจจะ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ยังไม่ชัดเจนที่แน่นอนสักเท่าไร สารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่าง แน่นอน มีข้อพิสูจน์แล้วชัดเจนได้แก่สารกลุ่มที่เรียกกันว่าสารไดออกซินและสารพีเอเอช ซึ่งอาจจะ เกิดขึ้นในน้ำมันพืชใช้แล้ว สารสองกลุ่มที่วุ่นวายนี้ล้วนเป็นสารก่อมะเร็งทั้งสิ้น สารไดออกซินอาจ เกิดขึ้นได้ โดยการใช้ความร้อนสูงๆ เป็นเวลานาน มีรายงานการศึกษาว่าสารไดออกซินอาจ เกิดขึ้นได้ (นิธิยา,2545) นอกจากนี้สารพีเอเอชนั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากน้ำมันหรือไขมันที่สัมผัสกับ ความร้อนสูงมากๆ นอกจากสารไดออกซิน สารพีเอเอชที่เพิ่มความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดมะเร็งขึ้น แล้ว ในน้ำมันพืชใช้แล้วยังมีโอกาสที่จะเกิดอนุมูลอิสระอันเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ออกซิเจน กับพันธะคู่ในน้ำมัน ยิ่งน้ำมันที่มีพันธะคู่มากๆ อย่างเช่น น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง ที่มีความไม่อิ่มตัวสูง จะมีโอกาสสร้างอนุมูล อิสระได้มาก น้ำมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการทอดอาหารด้วยความร้อนสูง เป็นเวลานาน และไม่เหมาะอย่างยิ่งต่อการนำกลับมาใช้ทอดซ้ำ ส่วนการใช้ไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งสูงอย่างเช่นน้ำมันมะกอก น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันงา จะ เหมาะสมกับการทอดอาหารโดยใช้ความร้อนสูงมากกว่า การบริโภคสารอนุมูลอิสระเข้าไปบ่อยๆ ย่อมเสี่ยงกับการเกิดมะเร็งเพราะอนุมูลอิสระนั้น จะเร่งการเกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิด โรคหัวใจและหลอดเลือด ต้อกระจก ความชรา ฯลฯ จะเห็นว่าการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วมาบริโภคซ้ำ ไม่เกิดผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

2.3.4 การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทน

น้ำมันพืชดิบนอกจากจะมีองค์ประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์แล้วยังประกอบด้วยกรด ไขมันอิสระ น้ำ สเตอรอยด์ ยาง กลิ่น ฟอสโฟลิปิด และสิ่งปลอมปนอื่น นอกจากนี้ น้ำมันพืชแต่ละ

ชนิดยังมีปริมาณกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวต่างกัน และจัดว่าน้ำมันพืชเป็นแหล่งพลังงานสำรองของโลกที่สามารถผลิตขึ้นได้เอง (Renewable Resource Energy) โดยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางอย่างใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (Ma, 1999; Demirbas, 2003) ปัจจุบันยังไม่มีการใช้ น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปโดยตรง เนื่องจากปัญหาหลาย ๆ อย่าง แต่ก็มีการพัฒนาใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ได้แก่

การใช้น้ำมันพืชโดยตรง (Ali, 1994; Srivastava, 2000; Demirbas, 2003) มีการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยตรงเมื่อประมาณ 20 ปีมาแล้วซึ่งข้อได้เปรียบของการใช้โดยตรงมีดังนี้

- เป็นของเหลวโดยธรรมชาติ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลว
- ผลิตได้จากเกษตรกรรม ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้หากมีปริมาณไม่เพียงพอ
- มีปริมาณกำมะถันและสารอะโรมาติกต่ำ ซึ่งจะมีการปลดปล่อยมลพิษต่ำกว่า และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช (Ma, 1999; Srivastava, 2000; Demirbas, 2003) การแตกตัวของน้ำมันพืชด้วยความร้อนในที่อับอากาศ หรือเรียกว่า ไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน กรดคาร์บอนิก และสารประกอบ แอโรแมติก ได้ถูกคิดค้นขึ้นมานานกว่า 100 ปีในพื้นที่ที่ขาดแคลนปิโตรเลียม โดยปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และแก๊สตัวกลาง

ตารางที่ 2-9 องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันพืชต่อน้ำหนักของสารป้อนทั้งการใช้แก๊สไนโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง (Ma, 1999)

Compound	High oleic acid sunflower oil		Soybean oil	
	N2 sparge	Air	N2 sparge	Air
Alkanes	37.5	40.9	31.1	29.9
Alkeanes	22.2	22.0	28.3	24.9
Alkakienes	8.1	13.0	9.4	10.9
Carboxylic acids	11.5	16.1	12.2	9.6

ตารางที่ 2-9 (ต่อ) องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันของสารป้อนทั้งการใช้แก๊สไนโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง (Ma, 1999)

Compound	High oleic acid sunflower oil		Soybean oil	
	N2 sparge	Air	N2 sparge	Air
Unresolved unsaturates	9.7	10.1	5.5	5.1
Aromatics	2.3	2.2	2.3	1.9
Unidentified	8.7	12.7	10.9	12.6

ตารางที่ 2-10 องค์ประกอบของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช (Ma, 1999; Demirbas, 2003)

Product	Selectivity (Molar% of Cracked Carbon)						
	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C
C1 - C4 cut	10.0	18.6	28.2	38.7	35.1	45.1	66.1
C5 - C9 cut	36.0	19.6	17.6	13.2	17.5	12.6	3.6
C10 - C14 cut	3.0	3.5	3.5	2.7	1.7	1.0	0.3
C15 - C18 cut	0.9	0.7	0.3	1.1	0.3	0.2	0.3
Aromatic	5.2	2	2.7	3.9	7.2	11.6	8.9
C5:1 - C8:1 esters	8.5	16.6	10.3	7.2	5.9	4.1	0.9
C9:1 - C16:1 esters	2.3	3.2	3.4	2.3	0.9	0.5	0.3
Saturate ester	2.0	1.2	1.6	2.4	3.7	3.1	2.6
CO	0.5	1.2	1.2	2.3	2.7	3.8	5.3
CO2	0.3	0.6	0.6	1.1	1.5	1.6	2.1
Coke	6.1	3.8	4.2	4.7	2.2	3.1	4.5
Other	25.2	29	25.3	20.4	21.3	13.3	5.1

ตารางที่ 2-9 จะเห็นว่าได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนประมาณร้อยละ 60 ต่อ น้ำหนักของสารป้อนทั้งการใช้แก๊สไนโตรเจนและอากาศเป็นแก๊สตัวกลาง และพบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเชื้อเพลิงมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงดังแสดงในตารางที่ 2-10 นอกจากนี้การแตกตัวเมล็ดเรป ด้วยความร้อน และการแตกตัวด้วยความร้อนโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย catalytic cracking) เช่น $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ที่อุณหภูมิ 450 °C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งสามารถกลั่นแยกได้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ (Sai, 1996; Prasad, 1996; Farouq, 1999)

การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและ ภาวะขาดแคลนน้ำมันในอนาคต ทำให้เกิดความพยายามหาพลังงานอื่นมาทดแทนน้ำมัน เช่น การใช้แอลกอฮอล์หรือแก๊สชีวภาพกับเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งนับว่าได้ผลก้าวหน้าพอสมควรแต่ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลยังหาพลังงานทดแทนที่มีราคาเหมาะสมไม่ได้ เพราะมีการพัฒนา เครื่องยนต์ดีเซลให้เหมาะสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากกว่า 50 ปีแล้ว การนำแก๊สหรือ เชื้อเพลิงอื่น ๆ มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเกิดปัญหาทางด้านเทคนิคค่อนข้างมาก ทางเลือกของ การผลิตน้ำมันดีเซลที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คือ น้ำมันพืช แต่เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อ ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง จะมีปัญหาทางด้านจุดวาบไฟ (flash point) และค่าความหนืด (viscosity) ซึ่งเป็นปัญหาหลัก ดังนั้นจึงควรพัฒนาเทคนิคที่จะปรับเปลี่ยนน้ำมันพืชเหล่านี้ให้มี สมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างเหมาะสม

การใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นได้เคยทดสอบมาก่อนแล้วในเครื่องยนต์ดีเซลในยุค แรก ซึ่งปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาเทคนิคการนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นน้ำมันที่สามารถใช้ได้ ดีกับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเรียกว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel) โดยสามารถดำเนินงานในเชิงพาณิชย์ จากการศึกษารองประเทศต่าง ๆ ที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมัน เมล็ดถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และรวมถึงน้ำมันเหลือทิ้งจาก คราวเรือนและไขมันสัตว์ มาทดแทนน้ำมันดีเซล พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมายในเรื่องของ เศรษฐศาสตร์และสมบัติของไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชไม่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำเป็น สาเหตุของการสะสมเขม่าภายในเครื่องยนต์ และปัญหาเกี่ยวกับการเผาไหม้ซึ่งรวมถึงเขม่าควันที่ เกิดขึ้น ดังนั้นทำให้การนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นน้ำมันดีเซลมีต้นทุนสูงกว่าการผลิตจากน้ำมัน ปิโตรเลียม

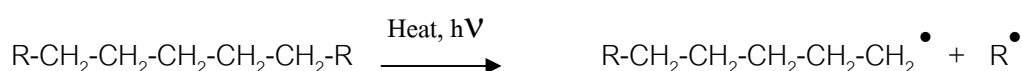
2.4 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking)

อิทธิพลของความร้อนทำให้โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนสลายตัวออกไป Siliman ได้เสนอแนะวิธีนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1871 (Gary, 1984; Satterfield, 1991) กระบวนการที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม กระบวนการแรก คือ Burton Process ได้ใช้แพร่หลายในช่วงปี ค.ศ. 1910-1920 หลังจากนั้นได้มีการกระบวนการอื่น ๆ เกิดขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น กระบวนการ Dubbs เป็นต้น จนเมื่อหมดความนิยมเพราะมีกระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาแทนที่ การใช้หน่วยเหล่านี้ก็เบนวัตถุประสงค์ไปคือ ใช้สำหรับการผลิตน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นจากน้ำมันหนัก หรือจากน้ำมัน ซึ่งเรียกว่า Thermal GasOil Unit และใช้ช่วยลดความหนืดของกากน้ำมันในการผลิตน้ำมันเตาชนิดใส โดยเรียกชื่อหน่วยนี้ว่า Visbreaker นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตไคปิโตรเลียมจากกากน้ำมัน โดยเรียกชื่อหน่วยนี้ว่า Thermal Coking Process ดังนั้นคำว่า Thermal Cracking จึงเป็นคำกลาง ๆ ที่หมายถึง กระบวนการเหล่านี้กระบวนการใดก็ได้

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลที่เล็กลงโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจะเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ C_1-C_4 ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาโดยเฉพาะส่วนที่มีแขนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

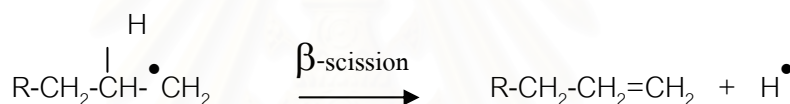
กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (Schobert, 1991; วิชากร, 2544)

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation step) เป็นขั้นตอนในการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดจากความร้อนไปทำให้สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขาดออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป



2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง การแตกตัวจะเริ่มจากอนุมูลอิสระเข้าไปยังพันธะคาร์บอนที่ตำแหน่ง β เกิดอนุมูลอิสระใหม่ขึ้น (β -fission) ซึ่งทำให้ภายในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเกิดความไม่เสถียรส่งผลให้เกิดขั้นตอนการถ่ายทอดไฮโดรเจน (chain transfer) เพื่อทำให้โมเลกุลเกิดความเสถียร จึงเกิดเป็นสารต่างๆที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจากพอลิเมอร์เดิม พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นต่อ เพื่อเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

β -fission



Chain transfer



3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่โมเลกุลเดียว หรือ เกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล



2.5 การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)

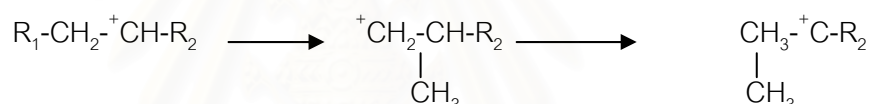
การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้ขนาดเล็กลง ให้ได้โครงสร้างที่เหมาะสม คุณภาพพอเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ (Satterfield, 1991;

Schobert, 1991; วิชากร, 2544) กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

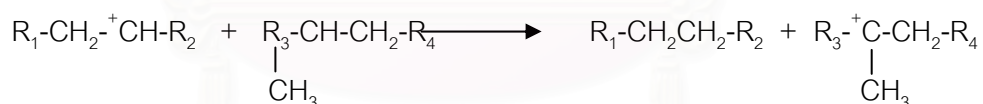
1. การเกิดดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนเนียมไอออน (Carbonium ion) ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรต์ไอออนที่มีประจุลบให้กัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์บอนเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยคาร์บอนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะมีเสถียรภาพแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน โดย tertiary ion จะมีเสถียรภาพมากกว่า secondary ion และ primary ion ตามลำดับ



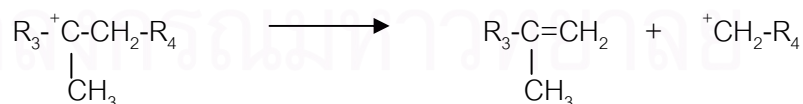
2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลของคาร์บอนเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์บอนเนียมไอออนมีเสถียรภาพแตกต่างกัน



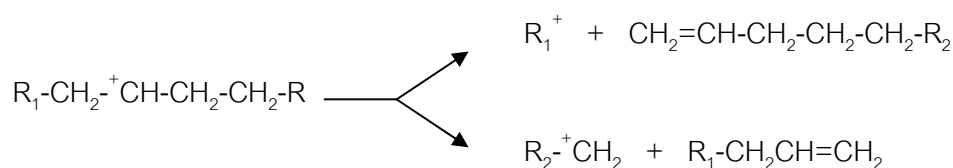
และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรต์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเนียมไอออนกับโมเลกุลของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน



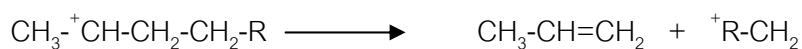
สำหรับคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา β -scission หรือการแตกตัวที่ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยมักจะเป็น primary carbonium ion ดังสมการ



ในบางกรณีคาร์บอนเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion



ถ้า $R_1 = H$ การเกิด β -scission จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ

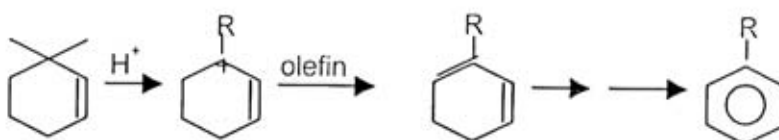
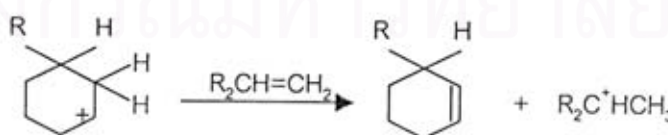
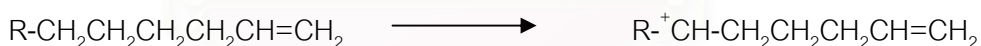


โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์บอเนียมไอออนซึ่งจะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน หรือ อาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน

ในการเกิดวงแหวนแอโรแมติกจากปฏิกิริยาดีไฮโดรไซคลิกเซชัน (dehydrocyclization) โดยโอเลฟินเกิดเป็นคาร์บอเนียมไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefin carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟิน เกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพและเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadiene ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอโรแมติก



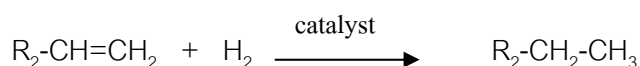
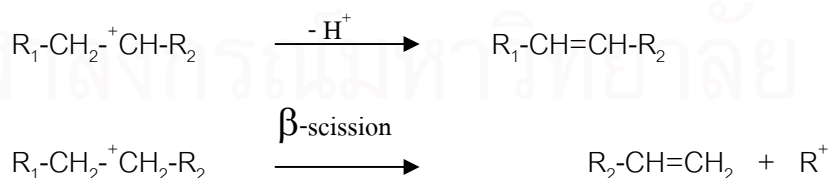
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยก๊าซที่มีโอเลฟินสูง องค์ประกอบของเบนซีนที่มีค่าออกเทนสูงเนื่องจากมีสารจำพวกแอโรแมติกและโอเลฟินมาก (Satterfield, 1991; ปราโมทย์, 2537) องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้ก (coke) ที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้พื้นที่ผิวรูพรุนและความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.6 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)

การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนและช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อมๆ กับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



คาร์บอนเนียมไอออนอาจมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยการกำจัดโปรตอนออกจากโอเลฟินหรือเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินและคาร์บอนเนียมไอออนตัวใหม่ จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนและการตั้งไฮโดรเจน โอเลฟินที่ผ่านการเติมไฮโดรเจนจะกลายเป็นสารประกอบประเภทพาราฟิน



หากปฏิกิริยาเกิดในภาวะที่อุณหภูมิ 400-480 องศาเซลเซียส ความดัน 35-170 บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบที่อิ่มตัวค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้ก๊าซโซลีนที่ได้จาก

กระบวนการนี้มีค่าออกเทนที่ต่ำกว่ากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบแอมโรแมติกน้อย เพราะเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนมากกว่า สารที่ได้จึงมักนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องบิน (jet fuel) รวมทั้งยังได้สารประกอบประเภท LPG ซึ่งใช้เป็นสารป้อนในกระบวนการปิโตรเคมี อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้นต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆควบคู่กันไป โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นต้องขึ้นกับเวลา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งชนิดของปฏิกิริยาและชนิดของพลาสติก

นอกจากนี้การเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปพร้อมๆกันด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้ เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้กและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถไปหรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

2.7 การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมัน (Crude oil evaluation)

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคุณค่าของน้ำมันดิบเพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติของส่วนต่างๆ ในน้ำมันดิบเริ่มต้นเพื่อหาปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สที่มีอยู่โดยวิธี Gas chromatography แล้วนำน้ำมันมากลั่นแยกเป็นส่วนตามคาบจุดเดือด (Boiling range) อย่างละเอียด โดยแบ่งเป็นส่วนแคบ ๆ ชนิดคาบจุดเดือดเพียง 5-10 องศาเซลเซียส (Schobert, 1991) แต่มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากและใช้เวลานานจึงไม่นิยมทำกัน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบจุดเดือดกว้าง ๆ ให้พอดีกับที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป (Schobert, 1991; ปราโมทย์, 2537) กล่าวอย่างหยาบสามารถแบ่งได้เป็น

1. พวกที่มีคาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial boiling point) จนถึง 200 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแก๊สโซลีน (Gasoline fraction) มักใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน
2. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนน้ำมันก๊าด (Kerosine fraction) มักใช้ในน้ำมันก๊าดที่ให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันไม่ต่ำจนเกินไปน้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพที่ดีและมีจุดเยือกแข็งต่ำจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยานไอพ่นได้ซึ่งต้องขึ้นกับสมบัติอื่น ๆ ด้วย

3. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 250 – 350 องศาเซลเซียส เราเรียกว่าส่วนของแก๊ส ออยล์ชนิดเบา (Light gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์
4. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 350 – 370 องศาเซลเซียส เราเรียกว่าส่วนของแก๊ส ออยล์ (Gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล
5. พวกที่มีคาบจุดเดือดเหนือกว่า 370 องศาเซลเซียส เรียกว่า กากน้ำมัน (Residue) อาจนำไปใช้ได้หลายอย่างแล้วแต่สมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา หรือนำไปผลิตเป็นยางมะตอย หรือผลิตเป็นน้ำมันเครื่องหรือ นำมาเป็นสวารบ่อน (Feed stock)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการศึกษาวิจัยถึงกระบวนการผลิตของเหลวจากน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติก อาทิ พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP), พอลิสไตรีน (Polystyrene : PS) พอลิเอทิลีนเทอแรพทาเลต (Polyethyleneteraphthalate : PET) รวมถึงการผสมองค์ประกอบดังกล่าวข้างต้นเข้าด้วยกัน โยมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ภายใต้ภาวะต่าง ๆ กัน

Y.S. Prasad (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลง Canola Oil ไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้ HZSM-5 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fixed bed ขนาดเล็ก โดยศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิ เวลา ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยอาศัยวิธีการทางสถิติช่วยในการออกแบบการทดลอง ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวถึง 60 – 95 % ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสวารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในช่วงจุดเดือดของแก๊สโซลีน light gas และน้ำ โดยเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของของเหลวที่ได้พบว่ามีปริมาณเป็นสวารประกอบไฮโดรคาร์บอน C3 และ C4 โดยภาวะที่ดีที่สุดที่ให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุดอยู่ที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Sai P.R. Katikaneni (1996) ได้ศึกษาอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของ Canola oil ไปเป็นสวารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดโมเลกุล C2 – C4 โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิระหว่าง 400 – 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1.8 – 3.6 ชั่วโมง และอิทธิพลของ potassium impregnated บน HZSM-5 เพื่อหาแบบจำลองของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสวารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดโมเลกุล C2 – C4 ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทานอลและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนลดลงเมื่อร้อยละความเข้มข้นของ potassium impregnated บน HZSM-5 สูงขึ้นแต่จะได้ร้อยละของ dimethyether สูงขึ้น

การศึกษาอิทธิพลของเวลาพบว่า เมื่อใช้เวลาในปฏิริยามากขึ้นจะให้ร้อยละของของเหลวน้อยลง และสอดคล้องกับอิทธิพลของอุณหภูมิ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาด C2-C4 พบว่า

- 1) อิทธิพลของความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิริยา เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ potassium จะให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นโอเลฟิน C2-C4 ลดลง และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันด้วย
- 2) อิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นโอเลฟิน C2-C4 มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นหลัก
- 3) อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการทดลองนานจะให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นโอเลฟิน C2-C4 มากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการทดลอง 3.6 ชั่วโมง ให้ร้อยละของ โอเลฟิน C2-C4 สูงถึง 25.8 % โดยน้ำหนัก

Farouq A. Twaiq (1999) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปน้ำมันปาล์มดิบให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ fixed bed โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิริยาชนิดต่าง ๆ ได้แก่ HZSM-5, zeolite β และ ultrastable Y (USY) zeolite ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ กันได้แก่ อุณหภูมิระหว่าง 350 – 450 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิริยา 1 – 4 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศ ผลการศึกษาพบว่าผลของการใช้ตัวเร่งปฏิริยาชนิดต่าง ๆ ให้ผลการเปลี่ยนเป็นของเหลวที่แตกต่างกัน โดย HZSM-5 ให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดระหว่าง 17 – 28 % โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าขนาด pore size และรูปร่างของตัวเร่งปฏิริยามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลว USY zeolite มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ในช่วงของ kerosene และ diesel และ HZSM-5 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงให้ร้อยละของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนถึงร้อยละ 20 – 38 % โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรคาร์บอนพบว่าเมื่อใช้เวลาทำปฏิริยามากขึ้นโมเลกุลของน้ำมันปาล์มดิบจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในรูปแก๊สที่มีองค์ประกอบเป็น เอทิลีน อีเทน โพรพิลีน โพรเพน และ บิวเทน และเมื่อพิจารณาของแข็งหรือโค้กที่เหลือจากปฏิริยาพบว่า HZSM-5 ให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นโค้กน้อยที่สุด

การศึกษาอิทธิพลของการผสม HZSM-5 กับ USY และ HZSM-5 กับ zeolite β พบว่าการผสม HZSM-5 กับ USY เมื่อเพิ่มร้อยละของ HZSM-5 มากขึ้น จะให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง

เป็นอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้สูงขึ้น พบว่า HZSM-5 มีอิทธิพลส่งเสริมต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ส่วนเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการผสม และ HZSM-5 กับ zeolite β พบว่า HZSM-5 ไม่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลว

Farouq A. Twaiq (2003) 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

จากการศึกษาพบว่า MCM-41 มีความไวต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์ม โดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (palm kernel oil) ไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวในสัดส่วนที่สูงกว่าการเปลี่ยนแปลงจากน้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (palm olein oil) และตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 เลือกทำปฏิกิริยาเกิดเฉพาะอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โดยขึ้นกับชนิดของน้ำมันปาล์มที่ใช้ โดยเฉพาะ C_{13} เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และ C_{17} เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และพบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลงเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าการเลือกเกิดแก๊สโซลีน คีโรซีน หรือดีเซล โดยขึ้นกับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้พบว่าเกิดโค้กเป็นจำนวนมากบนตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41

Farouq A. Twaiq (2004) ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์ระหว่างซีโอไลต์และ C_{16} TMACl โดยเปรียบเทียบสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์ในด้านความสามารถของการดูดซับ พื้นที่ผิวเบท ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนและ ความเป็นกรด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มดิบ

(1) เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ที่มีสัดส่วนระหว่าง Si/Al เพิ่มขึ้น จะให้ค่าการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่แตกต่างกันมาก พบว่าความเป็นกรดของซีโอไลต์จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลว โดยให้แก๊สโซลีนมากขึ้นเมื่อสัดส่วนระหว่าง Si/Al เพิ่มขึ้น

(2) เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 ซึ่งมีสมบัติเป็นกรดต่ำกว่าซีโอไลต์ จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าซีโอไลต์และเกิดโค้กบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า โดยเมื่อนำโค้กมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับโค้กที่เกิดบนซีโอไลต์ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์พบว่ามีความการกระจายตัวของดีเซลสูงถึงร้อยละ 30 ซึ่งมีอิทธิพลจากการที่

MCM-41 มีสมบัติเป็นทั้งกรด บรอนสเตดและกรดลูอิสอ่อน ซึ่งทำให้การแตกตัวของกรดไขมันเป็น พาราฟินและโอเลฟินไม่เกิดไอโซเมอไรเซชันไปเป็นแนฟทีน

(3) เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์ซีลีเซียสเมโซพอร์สบนซีโอไลต์ HZSM-5 ร้อยละ 10 ถึง 40 พบว่าที่ องค์ประกอบซีลีเซียสเมโซพอร์สบนซีโอไลต์ HZSM-5 ร้อยละ 10 ถึง 20 ให้ร้อยละ ของการเปลี่ยนแปลงสูงถึงร้อยละ 47 และลดลงเมื่อร้อยละขององค์ประกอบซีโอไลต์สูงขึ้น ค่าการ กระจายตัวของแก๊สโซลีนลดต่ำลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของซีลีเซียสบนซีโอไลต์ แต่ให้ค่าการกระจายตัว ของคีโรซีนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าการเลือกของการเกิดอะโรมาติกกับซีโอไลต์พบว่าตัวเร่ง ปฏิกิริยาสังเคราะห์ซีลีเซียสเมโซพอร์สบนซีโอไลต์ให้ค่าการเลือกของการเกิดอะโรมาติกได้ต่ำกว่า ซีโอไลต์

Jiangyin Lu, Zhen Zhao (2005) ศึกษาโมเลกุลของFeHZSM-5 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ มีประสิทธิภาพสูงในปฏิกิริยา catalytic cracking ของ isobutene ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น ethylene และ propylene FeHZSM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวแรกที่ใช้สำหรับปฏิกิริยา catalytic crackingของ isobutene ซึ่ง Fe เป็นตัวที่มีอิทธิพลมากสำหรับการเกิดปฏิกิริยา cracking ผลที่ได้เกิดจากการ cracking isobutene และได้ olefin ขนาดเล็ก จากการทดลองถ้าใช้ FeHZSM-5 แม้จะมีปริมาณ Fe เพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา ดีกว่าใช้ HZSM-5 เพียงอย่างเดียว และให้ผลผลิตคือ olefin และ propylene ในปริมาณมากขึ้นด้วย สำหรับตัวอย่างของ FeHZSM-5 เพียงแค่ 0.010mmol/g ของ Fe จะช่วยให้ได้ olefin เป็น ผลิตภัณฑ์ถึง 65.6 % และได้ propylene ถึง 32.4 % ที่ 625 องศาเซลเซียส

Ivan Milasc และคณะ (2005) ศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของรูพรุน บน zeolite ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา dehydrogenation และ cracking ของ isobutane โดยใช้ HZSM-5 และ HY ทำการศึกษาที่ระดับ DFT จะสามารถคำนวณความถูกต้องและ ประสิทธิภาพของรูพรุนบนตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้ zeolite กลุ่มที่ 20T และ 32T เป็นตัวแทนตามลำดับ ผลของปฏิกิริยาที่เกิดเป็นไปตามกลไกเดียวกับ ที่เกิดใน zeolite แต่พลังงานที่ได้จะลดลงไปประมาณ 10 kcal/mol ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าของกลุ่ม 20T สำหรับพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยา dehydrogenation จะคล้ายกับที่เกิด zeolite แต่สำหรับ ปฏิกิริยา cracking และ HY จะมีพลังงานประมาณ 5kcal/mol ซึ่งสูงกว่าใน HZSM-5

Walendziewski J. (2005) ศึกษากระบวนการแตกโมเลกุลของพลาสติกด้วยความร้อนในเครื่อง continuous flow reactor ที่ภายในมี screw mixer ทำการทดลองโดยใช้เม็ดพลาสติกลงไปใน feed reservoir จากนั้น feed ไปยัง screw extruder 0.5-2.5 kg/h เพิ่มอุณหภูมิจาก 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 ด้านบนได้ก๊าซซึ่งวัดปริมาตรได้จาก gas flow meter โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ใช้พอลิโอสีฟีนบริสุทธิ์ และการทดลองที่ 2 ใช้พอลิโอสีฟีนใช้แล้วซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 2 การทดลองคือ ผสมพลาสติกระหว่างพอลิพรอพิลีนและ พอลิสไตรีน (70:30 โดยน้ำหนัก) กับผสมพลาสติกระหว่างพอลิเอทิลีนและ พอลิสไตรีน (90:10 โดยน้ำหนัก)

Witchakorn Charusiri (2005) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการแปรรูปน้ำมันพืชใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเซอร์โคเนียในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาดเล็ก ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 400 – 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 0 – 5 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 10 – 180 นาที ผลการวิจัยพบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการแปรรูปน้ำมันพืชใช้แล้วด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเซอร์โคเนียให้ร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรเจนสูงถึง 24.38 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 10 บาร์ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และแบบจำลองจลนพลศาสตร์เป็นปฏิกิริยาลำดับสอง ที่มีค่าพลังงานกระตุ้นเป็น 83.439 กิโลจูลต่อโมล และค่า pre-exponential เท่ากับ 9.149 ต่อวินาที

ธราพงษ์ วิทิตสานต์ (2544) ศึกษาการแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน พบว่าพอลิสไตรีนแตกตัวเป็นของเหลวร้อยละ 89.93 ภายใต้ความดันไฮโดรเจน 30 กก.ต่อตร.ซม. อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.45 กรัมต่อ 15 กรัมของพอลิสไตรีนองค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี ให้ แนฟทาร์ร้อยละ 23.83 เคโรซีนร้อยละ 1.80 แก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 25.18 และโมเลกุลสายโซ่ยาวร้อยละ 39.12 ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโทลูอีน, เอทิลเบนซีน, ไดฟีนิลโพรเพน และ คูมีน

วิชาการ จารุศิริ (2548) ศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์บนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซัลเฟตเซอร์โคเนีย และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสม HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนีย ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่าร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยของเหลวแก๊ส และของแข็งเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ของเหลวนำไปวิเคราะห์หาการแจกแจงผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นให้ผลการทดลองของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสมที่สัดส่วนของ HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนีย 0.3 ต่อ 0.7 ให้ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนสูงที่สุดที่ร้อยละ 26.57 โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 90 นาที และมีองค์ประกอบเป็นคีโรซีน 10.65%, แก๊สออยล์ 29.07 % และกากน้ำมัน 12.88 % โดยมีแก๊สไฮโดรคาร์บอน 20.20 % และของแข็ง 0.63 % โดยน้ำหนัก เป็นผลของการเติม HZSM-5 ปริมาณเล็กน้อยลงในซัลเฟตเซอร์โคเนียมีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นแก๊สโซลีนได้มากขึ้น และแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการแตกตัวน้ำมันพืชใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสมของ HZSM-5 และ ซัลเฟตเซอร์โคเนีย เป็นปฏิกิริยาลำดับสอง ที่มีค่าพลังงานกระตุ้นเป็น 116.072 กิโลจูลต่อโมล และค่า pre-exponential เท่ากับ 2.67×10^5 ต่อวินาที

วิชาการ จารุศิริ (2549) ศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืชใช้ และพอลิพรอพิลีนแล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องแบบท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.458 เซนติเมตร ความยาว 12 เมตร โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วย สัดส่วนระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้ว กับพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิบรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารตั้งต้น เพื่อหาค่าร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนที่ดีที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยของเหลว แก๊ส และของแข็งเล็กน้อย เมื่อนำไปวิเคราะห์หาการแจกแจงผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นให้ผลการทดลองของการแตกตัวด้วยความร้อน ให้ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนสูงที่สุดที่ร้อยละ 40.31 โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 3.6 กรัมต่อนาที โดยพบว่าบรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนไปเป็นแก๊สโซลีนอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของพอลิพรอพิลีนช่วยให้ร้อยละของแก๊สโซลีนได้มากขึ้น แต่จะทำให้เกิดโค้กที่ผิวเครื่องปฏิกรณ์จำนวนมาก และเกิดการอุดตันของเครื่องปฏิกรณ์

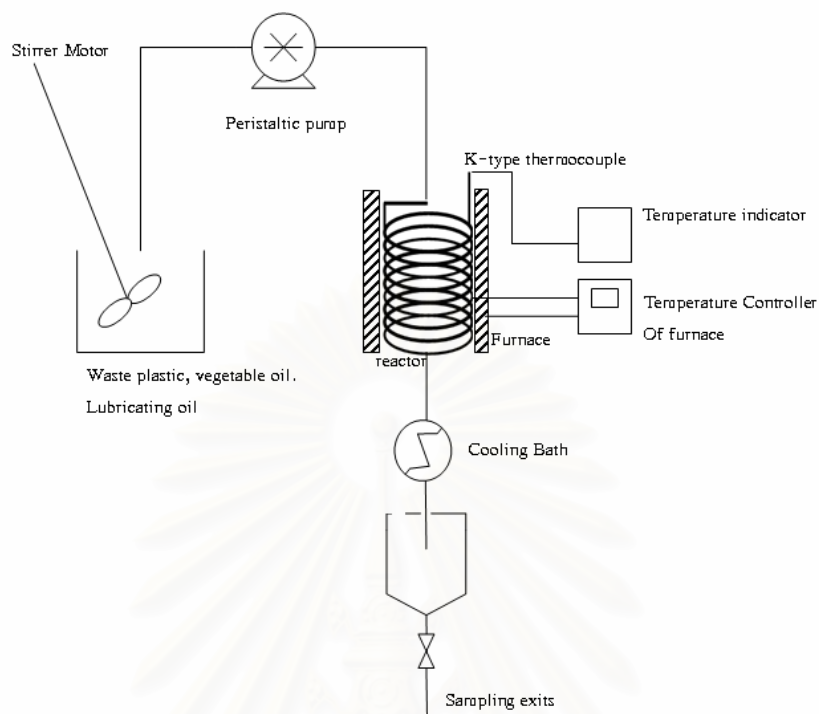
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

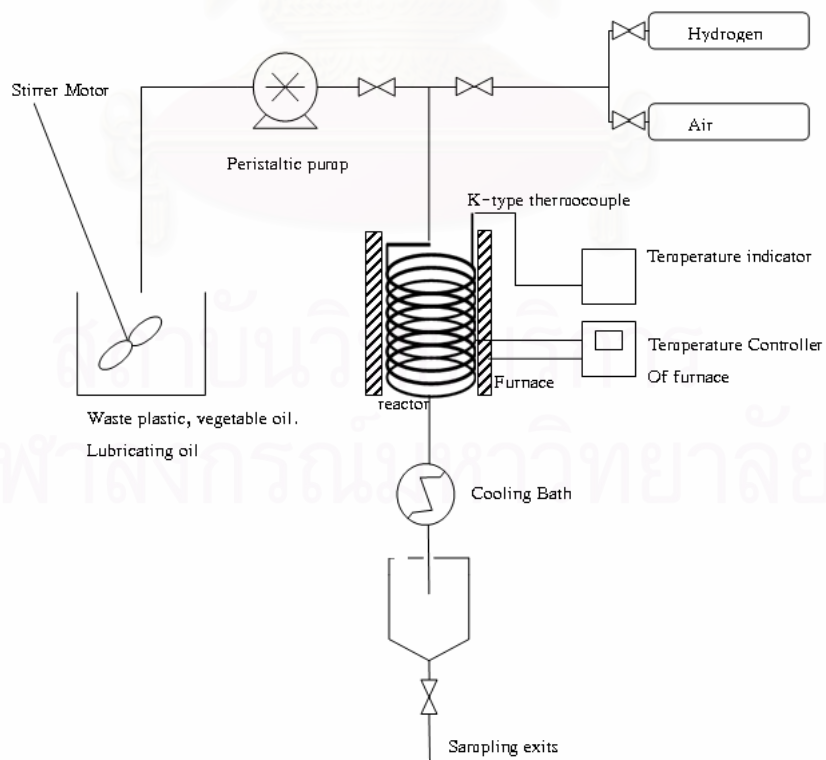
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวโดยเป็นกระบวนการร่วมระหว่าง น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพลาสติกใช้แล้ว ซึ่งการใช้ น้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว มีวัตถุประสงค์ใช้เพื่อช่วยเป็นตัวกลางของเหลวเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนต่อกระบวนการทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในงานวิจัยส่วนแรกจะมุ่งเน้นเพื่อหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนปฏิกิริยาของสารป้อนให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น วิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือด เพื่อหาภาวะของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. **เครื่องปฏิกรณ์** ออกแบบและสร้างชุดเครื่องปฏิกรณ์ตามรูปที่ 3 – 1 และ 3-2 โดยสารป้อนเข้าซึ่งประกอบด้วยน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพลาสติกใช้แล้วในสัดส่วนต่าง ๆ ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ผ่านทางสายยาง masterflex ซึ่งอาศัยการรีดสายยางโดย peristaltic pump ที่สามารถปรับอัตราการป้อนที่ระดับต่าง ๆ ได้ ก่อนที่จะผ่านวาล์วเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทำจากเหล็กกล้าเหนียวอย่างดีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3/8 นิ้ว (0.953 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.763 เซนติเมตร ความยาว 12 เมตร ขดเป็นวงความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร มีเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ที่มีชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ความร้อนที่สามารถปรับตั้งอุณหภูมิของเตาได้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบเค เป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิที่ผิวภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ไปยังชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์มีชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยน้ำ (cooling water) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ในระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนจะต่อท่อนำแก๊สไฮโดรเจนที่ปรับอัตราการไหลผ่านเครื่องควบคุมการไหลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วย



รูปที่ 3-1 Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจน

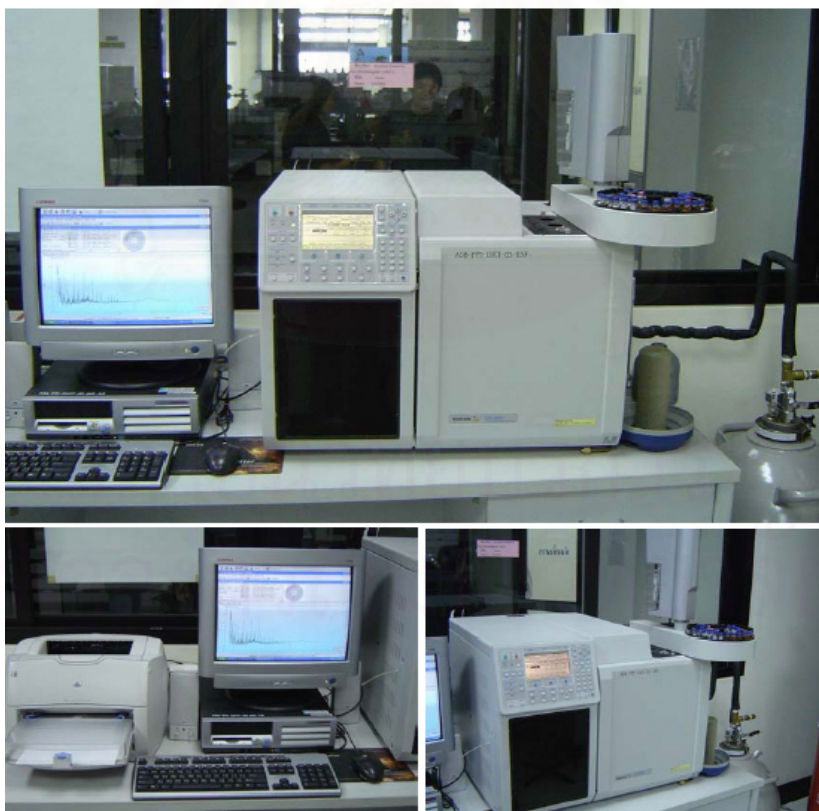


รูปที่ 3-2 Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน



รูปที่ 3-3 การติดตั้งการทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องในระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน

2. เตาเผา (Tubular Furnace)
3. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature Control) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟไปยังขดลวดความร้อน และตัดการจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้
4. เทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ 2 ชุด
5. ชุดกรอง สำหรับแยกของเหลวออกจากของแข็ง
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
7. นาฬิกาจับเวลา
8. เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์ ขวดใส่สารตัวอย่าง
9. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) Varian CP-3800 ประกอบด้วยดีเทคเตอร์แบบ FID และคอลัมน์ CP-SIL5 CP สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887



รูปที่ 3-4 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. น้ำมันพืชใช้แล้ว จากร้านอาหารฟาสต์ฟู้ด บริษัทเอ็มส์ เรสเตอรองค์ (ประเทศไทย) จำกัด เก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม 2549 และเดือนมีนาคม 2550
2. น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จาก สายงานซ่อมบำรุง และ สายงานยานพาหนะ สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม 2549 และเดือนมีนาคม 2550
3. พอลิพรอพิลีน
4. แก๊สไฮโดรเจน 99.99% บรรจุในถังเก็บแรงดันสูงขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จากบริษัท TIG จำกัด
5. โทลูอีน จาก บริษัท Merck
6. คาร์บอนไดออกไซด์ (CS₂) 99% (Analyze Grade) จากบริษัท Merck
7. แก๊สมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส จากบริษัท Supelco

3.3 วิธีทำการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมเพื่อหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนน้ำมันและพลาสติกใช้แล้วให้เป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโยมีน้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นตัวกลางของเหลว (liquid media) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนของกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์ได้ของเหลวที่มีคุณภาพดีขึ้น (วิซซากกร, 2549) การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial design) เป็นการออกแบบให้แต่ละตัวแปรทั้งสองระดับ และทำการทดลองครบทุกการทดลอง ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษามี 3 ตัวแปร ประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารตั้งต้น

จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลซึ่งมีตัวแปรที่สนใจศึกษา 3 ตัวแปร โดยแต่ละตัวแปรทั้งสองระดับนั้น ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งหมดคือ 2^3 หรือ 8 การทดลอง และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด (replicate) อีก 2^3 หรือ 8 การทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติโดยการสร้าง Normal probability plot และการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (residue plot)

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรในแต่ละระดับที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ระดับต่ำ	ระดับสูง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) A	450	650
อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน (มิลลิลิตรต่อนาที) B	5	10
อัตราการไหลสารตั้งต้น (กรัมต่อนาที) C	1.23	9.14

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง ในสัดส่วนต่าง ๆ กวนผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวน ต่อสายยาง Masterflex เข้ากับ Peristaltic pump ปลายท่อต่อกับปั๊มเกอร์ขนาด 2 ลิตรที่บรรจุสารป้อน ปลายท่ออีกข้างต่อเข้ากับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 0.763 เซนติเมตร ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ และเครื่องควบคุม จากนั้นให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เปิดวาล์วเพื่อให้น้ำมันไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์ และทำการจับเวลาที่น้ำมันไหลผ่านชุดท่อยาว 12 เมตร (ตั้งแต่เปิดวาล์วให้น้ำมันไหลเข้าเครื่องจนกระทั่งน้ำมันไหลผ่านชุดท่อยาว 12 เมตรออกมาเป็นหยดแรก)

2. เมื่อเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิที่จะทำการทดลองรอให้อุณหภูมิคงที่ประมาณ 10 – 15 นาทีเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นอุณหภูมิของสารป้อนตลอดความยาวของท่อ แล้วจึงจับเวลาพร้อมกับเก็บตัวอย่าง จดบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ออกมา และเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป

3. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองแล้วเปิดวาล์วอากาศผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเผาไค้ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยผ่านอากาศ (Air) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์จนกระทั่งเครื่องปฏิกรณ์เย็นลง

4. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เก็บได้ มาแกว่งด้วยเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออก เตรียมผลิตภัณฑ์น้ำมันต่อสารละลาย CS_2 ด้วยอัตราส่วน 1:100 โดยปริมาตร

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

6. คำนวณร้อยละการเปลี่ยนของสารตั้งต้น จากสูตร

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

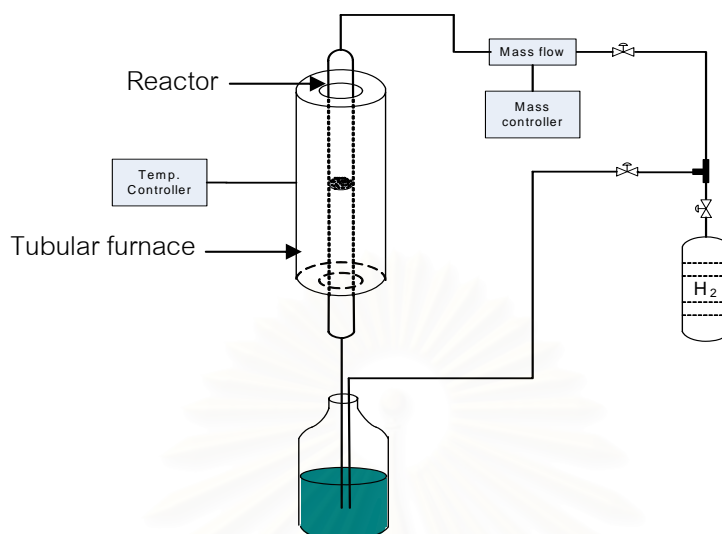
$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของแข็ง และแก๊ส (\% Solid \& Gas yield)} \\ = 100 - \text{ร้อยละผลได้น้ำมัน} \end{aligned}$$

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

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ (วิซซากร, 2544)

ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์เตรียมวิธีการเคลือบฝัง (impregnated) ได้ดังนี้

1. ชั่งถ่านกัมมันต์มา 50 กรัม และสารเหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 15.63 กรัม
2. ละลายสาร เหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ ในน้ำกลั่น ปริมาตรพอประมาณจนละลายหมดให้มีปริมาตรใกล้เคียงกับปริมาตรถ่านที่เตรียมไว้
3. ค่อย ๆ เติมสารละลายเหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่เตรียมไว้ลงบนถ่านกัมมันต์ กวนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนกว่าถ่านจะแห้ง
4. นำของผสมถ่านกัมมันต์และเหล็ก (III) ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่แห้งแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
5. นำถ่านที่อบแล้วไปแบ่งใส่ถ้วยเผา (crusible) เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. ก่อนนำไปใช้งาน นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการเคลือบฝัง (impregnate) แล้ว ไปรีดิวซ์ด้วยแก๊สไฮโดรเจน ด้วยอัตรา 120 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยต่อแผนผังการรีดิวซ์ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แผนผังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้วัดอัตราตัวเร่งปฏิกิริยา

7. วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรูพรุนโดยใช้เครื่อง BET surface area
8. วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเทคนิค XRF

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography ใช้วิธีการตาม ASTM D2887 ซึ่งวิเคราะห์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสามารถแบ่งออกเป็นช่วงของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดได้ดังนี้

IBP - 200°C = gasoline

200°C - 250°C = kerosene

250°C - 370°C = gas oil

370°C – FBP = long residue

วิธีการวิเคราะห์เริ่มด้วยการนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วน โดยปริมาตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 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 ภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิหัวฉีด (Injector Temperature) เท่ากับ 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) ซึ่งจะใช้เป็นแบบโปรแกรม อุณหภูมิ (Temperature Program) 1 ขั้นตอน และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิด้วย คือ เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.01 นาทีจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 320 องศาเซลเซียส แล้วคงที่เป็นเวลา 8.50 นาที

อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

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

3.5 การกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด

การกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ทำได้โดยการกลั่นผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิ IBP – 200 องศาเซลเซียส โดยนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนบรรจุในเครื่องกลั่นซึ่งใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ของเหลวเกิดเป็นไอที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ในหอกลั่นที่มีน้ำหล่อเย็น มีเทอร์โมคัพเพิลแบบเคและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลแสดงอุณหภูมิที่หอกลั่นระดับต่าง ๆ และวาล์วควบคุมการไหลของของเหลวที่ควบแน่นที่หอกลั่นระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูปที่ 3-6 และ 3-7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-6 เครื่องกลั่นขนาดกำลังการกลั่น 1 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3-7 การปรับตั้งอุณหภูมิของเครื่องกลั่นและการควบคุมการกลั่นที่หอกลั่นระดับต่าง ๆ

3.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer โดยนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วนที่ให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สโซลีนที่ดีที่สุด เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันเบนซินออกเทน 95 การแปลความหมายของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer จะพิจารณาแถบการดูดกลืน Infrared spectrum เป็น 3 ช่วง คือ

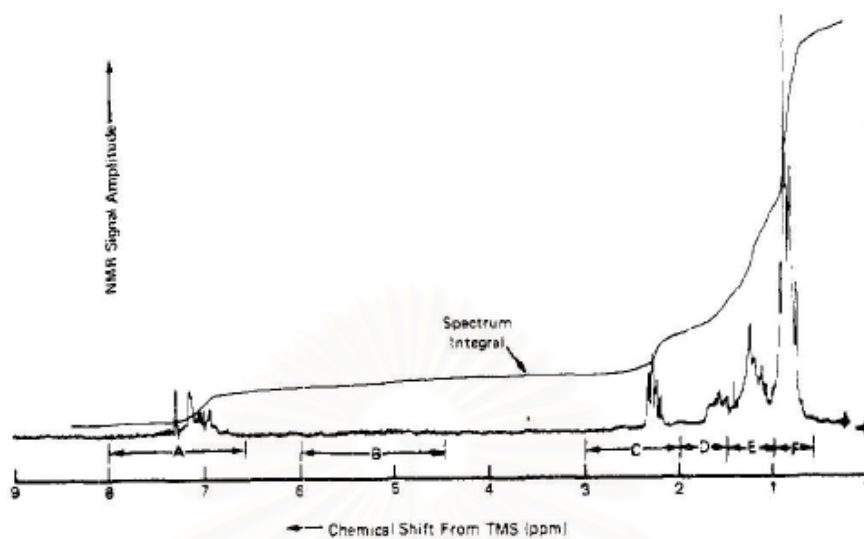
1. ย่านความถี่ $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Functional group regional เป็นย่านที่บอกถึงชนิดของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันใดในย่านนี้ จะเป็นการยืนยันว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ในโมเลกุลสารที่สนใจ แต่ทั้งนี้การแปลความหมายต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากโครงสร้างบางตัวอาจให้แถบดูดกลืนที่กว้างจนสังเกตได้ยาก

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

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

3.7 การวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์โดยวิธีการคำนวณจาก ^1H NMR

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคนิค ^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry (Myer, 1995) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนประกอบในน้ำมันแก๊สโซลีน โดยละลายตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ใน Deuterated Chloroform CDCl_2 มีความเข้มข้น 30% Volume% และเติม Tetramethylsilane (TMS) เพื่อให้เกิดบริเวณอ้างอิง Chemical Shift สำหรับอ้างอิงในการแปลผลบนเครื่อง Magnetic Resonance Spectrometry



รูปที่ 3-8 ^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry ของน้ำมันแก๊สโซลีนตามการทดลองของ Myers (Myers, 1975)

ตารางที่ 3-2 ช่วง Chemical Shift ของโปรตอนแต่ละชนิด

Proton type	Chemical shift region
Ring aromatics	6.6 – 8.0 ppm (A)
Olefin	4.5 – 6.0 ppm (B)
α -Methyl	2.0 – 3.0 ppm (C)
Methine (paraffins)	1.5 – 2.0 ppm (D)
Methelene (paraffins)	1.0 – 1.5 ppm (E)
Methyl (paraffins)	0.6 – 1.0 ppm (F)

นำพื้นที่ใต้กราฟในช่วงของ chemical shift ต่าง ๆ มาใส่ค่าตามสมการที่ 3.1 – 3.3 เพื่อหาปริมาณของอะโรมาติก พาราฟินส์ และโอเลฟินส์

$$\text{Aromatics, vol\%} = [(A+C/3)0.97 \times 10^2] / [(A+C/3)0.97 + (D-2B+E/2+F/3)1.02 + 3.33B] \dots\dots\dots 3.1$$

$$\text{Paraffins, vol\%} = [(D-2B+E/2+F/3)1.02 \times 10^2] / [(A+C/3)0.97 + (D-2B+E/2+F/3)1.02 + 3.33B] \dots\dots 3.2$$

$$\text{Olefins, vol\%} = [3.33B \times 10^2] / [(A+C/3)0.97 + (D-2B+E/2+F/3)1.02 + 3.33B] \dots\dots\dots 3.3$$

ปริมาณอะโรมาติก พาราฟินส์ และโอเลฟินส์จากสมการ 3.1 – 3.3 สามารถนำไปคำนวณหาเลขออกเทนในน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ดังสมการ 3.4 – 3.6

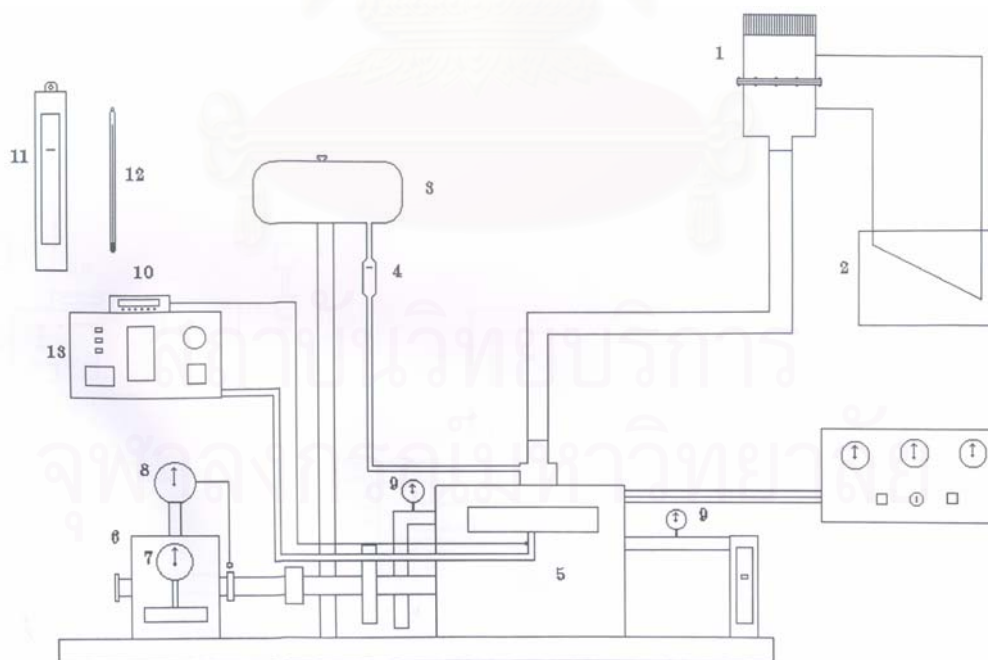
$$\text{Isoparaffins index (CH}_3 : \text{CH}_2) = 2F : 3E \dots\dots\dots 3.4$$

$$\text{RON} = A+B(\text{isoparaffins index})+C(\text{aromatics})+D(\text{lead})+E(\text{sulfer})\dots\dots\dots 3.5$$

$$\text{MON} = F+G(\text{isoparaffins index})+H(\text{aromatics})+I(\text{lead})+J(\text{sulfer})\dots\dots\dots 3.6$$

3.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์

นำน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์มาทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเพื่อทดสอบหาสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิงสำหรับชุดทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งมีอุปกรณ์ดังรูป 3-9 ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3-9 ชุดทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Air box | 8. Tachometer |
| 2. Manometer | 9. Thermocouple for measure cooling water temperature |
| 3. Fuel tank | 10. Thermocouple for measure exhaust gas temperature |
| 4. Fuel oil measuring flask | 11. Barometer |
| 5. Engine | 12. Thermocouple for measure ambient temperature |
| 6. Hydraulic dynamometer | 13. Exhaust gas analyzer |
| 7. Engine brake load reading | |

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 จะทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังขาออกสูงสุด (maximum power) โดยทดสอบเครื่องยนต์เบนซินที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างที่สุด (full throttle) ซึ่งทำการเดินเครื่องที่ความเร็วรอบสูงสุด โดยเปิดปีกผีเสื้อให้กว้างที่สุด อุณหภูมิประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์เบนซินบนแท่นทดสอบ โดยปรับโหลดที่ไดนาโมมิเตอร์จนได้ความเร็วรอบคงที่ประมาณ 4500 รอบต่อนาที รอจนกระทั่งความเร็วเครื่องยนต์ทำงานในภาวะคงที่แล้วบันทึกค่าภาระของเครื่องยนต์ (Load) ความเร็วรอบของเครื่อง (Speed) ความดันตกคร่อม ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแก๊สไอเสีย อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เวลาที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันและปริมาณอากาศที่ใช้ เมื่อบันทึกค่าต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว จึงทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบอื่น ๆ โดยเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ทดสอบ เพื่อให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงครั้งละ 500 รอบต่อนาที และทำการบันทึกค่าเช่นเดิม ทำซ้ำจนกระทั่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที

3.8 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์จากการขับขี่จริง

ทำการวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 จากการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำมันสำหรับใช้ทดสอบอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ECE test cycle) ซึ่งเป็นการวิ่งที่อัตราเร่ง 0 – 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในระยะทาง 100 เมตรแรกด้วยเกียร์ 1 – 2 และความเร็วคงที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในระยะทาง 200 เมตรต่อมาด้วยเกียร์ 3 และความเร็วคงที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในระยะทาง 100 เมตรสุดท้าย รวมระยะทางในการทดสอบ 400 เมตร จับเวลาและปริมาณ

น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ใช้ไป เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง บันทึกค่าและทำการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันเบนซินออกเทน 91



รูปที่ 3-10 การติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เพื่อวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองโดยการขับขี่จริง

ทำการทดสอบเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงขณะวิ่งที่ความเร็วคงที่เมื่อใช้เกียร์และความเร็วต่าง ๆ ดังตารางที่ 3-3 โดยจับเวลาในการทดสอบการขับซึ่งวิ่งบนทางตรงระยะทาง 400 เมตรเพื่อวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่วิ่งด้วยความเร็วคงที่เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91

ตารางที่ 3-3 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงขณะวิ่งด้วยความเร็วคงที่

เกียร์	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
2	20
3	20
3	30
4	30

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวโดยเป็นกระบวนการร่วมระหว่าง น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพลาสติกใช้แล้ว ซึ่งการใช้ น้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเป็นตัวกลางของเหลวเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนต่อกระบวนการทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น งานวิจัยได้ออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมเป็นแบบแฟกทอเรียล (2k experimental design) เพื่อหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวด้วยความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวแปรที่ได้ทำการศึกษามี 2 ระดับ คือ ระดับสูง และระดับต่ำ ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ของเหลวนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบตามจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ร้อยละขององค์ประกอบที่เป็นแก๊สโซลีนได้ดีที่สุด

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 สมบัติเบื้องต้นน้ำมันพืชใช้แล้ว

ตารางที่ 4-1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว

สมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น (15.6 C) (g/ml) : ASTM D1298	0.89
ความหนืด (40 C) (mm ² /s) : ASTM D2270	45.08
จุดวาบไฟ (C) : ASTM D92	317
จุดไหลเท (C) : ASTM D97	6
กากคาร์บอน (%) : ASTM D189	0.2414
เถ้า (%) : ASTM D482	0.0028

ตาราง 4-1 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีความหนืดและจุดวาบไฟสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลโดยตรง แต่น้ำมันพืชใช้แล้วมีปริมาณของกากคาร์บอนและเถ้าต่ำมาก เหมาะสมที่จะนำมาปรับเปลี่ยนด้วยเทคนิคต่าง ๆ ทางเคมีเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้กับเครื่องจักรทั่ว ๆ ไป

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว

องค์ประกอบของกรดไขมัน		น้ำมันพืชใหม่	น้ำมันพืชใช้แล้ว
C12:0	Lauric acid	1.58	0.32
C14:0	Myristic acid	1.35	0.93
C16:0	Palmitic acid	43.39	38.38
C18:0	Stearic acid	1.34	4.00
C20:0	Arachidic acid		0.34
Total saturated fatty acid		48.26	43.97
C16:1	Palmitoleic acid		0.25
C18:1	Oleic acid	41.00	45.59
C18:2	Linoleic acid	10.10	10.03
C18:3	Linolenic acid	0.41	0.16
Total unsaturated fatty acid		51.24	56.03

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันจากตารางที่ 3-2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันพืชใช้แล้วประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 43.97 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 56.03 ซึ่งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโดยมากอยู่ในรูป Palmitic acid ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโดยมากอยู่ในรูปของ Oleic acid และ Linoleic acid กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีความว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยอัตราการดูดซึมออกซิเจนของ Linolenic acid (C18:3) Linoleic acid (C18:2) และ Oleic acid (C18:1) คือ 800:100:1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้วนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Oleic acid ซึ่งการที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวปริมาณมาก ส่งผลให้น้ำมันพืชใช้แล้วมีสมบัติไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องแสดงว่าน้ำมันพืชใช้แล้วนี้ยังมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบของกระบวนการต่าง ๆ ทางเคมีได้

4.1.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตารางที่ 4-3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพีซีใช้แล้ว

สมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น (15.6 C) (g/ml) : ASTM D1298	0.89
ความหนืด (40 C) (mm ² /s) : ASTM D2270	45.08
จุดวาบไฟ (C) : ASTM D92	317
จุดไหลเท (C) : ASTM D97	6
กากคาร์บอน (%) : ASTM D189	0.2414
เถ้า (%) : ASTM D482	0.0028

ตารางที่ 4-3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่า น้ำมันหล่อลื่นแล้วมีความหนืดและจุดวาบไฟสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลโดยตรง แต่น้ำมันพีซีใช้แล้วมีปริมาณของกากคาร์บอนและเถ้าต่ำมาก เหมาะสมที่จะนำมาปรับเปลี่ยนด้วยเทคนิคต่าง ๆ ทางเคมีเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้กับเครื่องจักรทั่ว ๆ ไป

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

องค์ประกอบ	% SELECTIVITY
gasoline	0.00
kerosene	0.50
light gas oil	3.72
gas oil	8.48
long residue	87.25

ตารางที่ 4-4 แสดงองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไม่มีสมบัติที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยมีองค์ประกอบที่เป็นกากน้ำมันสูงถึงร้อยละ 87.25

4.1.3 สมบัติทางกายภาพของพอลิพรอพิลีน

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีน

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ	%
C	85.57
H	14.43
N	0.00
O	0.00
S	0.00

4.1.4 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

- พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยา ตรวจสอบวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET surface area แสดงในตารางที่ 4-6

- ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีเคลือบฝัง (impregnate) ตรวจสอบด้วยเทคนิค XRF แสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก ร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) ตารางเมตร/กรัม
ถ่านกัมมันต์	840
เหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์	654

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์แสดงในตารางที่ 4-6 พบว่าเมื่อเติมเหล็กร้อยละ 5 ลงไปบนถ่านกัมมันต์จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนลดลง เนื่องจากปริมาณของโลหะที่เติมลงไปจะแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำให้ไปปิดบังพื้นผิวโดยยึดเกาะบนผิวของถ่านกัมมันต์ทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงแต่ในทางการกระตุ้นทางเคมี การที่มีปริมาณของเหล็กเพิ่มขึ้นจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ส่วน active site ให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาได้มากขึ้น

ตารางที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์

ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Al	0.015
Si	0.062
S	0.059
K	0.946
Ca	0.099
Zn	0.092
Fe	4.627
C	94.1

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีธาตุองค์ประกอบหลายชนิด ปริมาณของเหล็กที่พบมีอยู่ร้อยละ 4.627 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดยการคำนวณวิธีเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาไว้เล็กน้อย

4.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สโซลีนในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

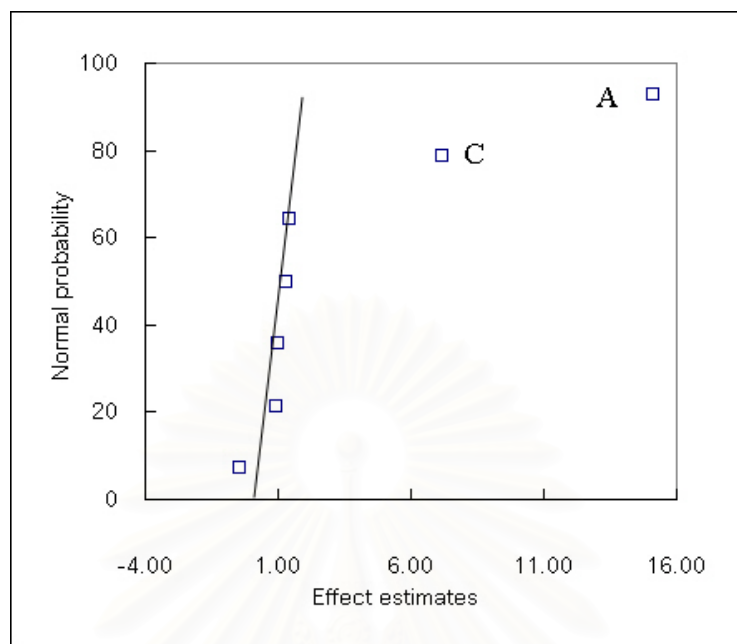
งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเปลี่ยนน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพอลิพรอพิลีนให้เป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ความร้อน (Thermal cracking) โดยมีน้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นแล้วทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเหลว ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนต่อกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น เมื่อนำไปกลั่นจะได้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดเป็นแก๊สโซลีนและเคโรซีน สามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะได้ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และ อัตราการไหลของสารป้อนเข้า โดยกำหนดให้สัดส่วนของสารป้อนซึ่งประกอบด้วย น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีน เป็น 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20

ตารางที่ 4-8 ร้อยละผลได้ของแก๊สไซลีนที่ภาวะต่าง ๆ ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k

การทดลอง ที่	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			ร้อยละของแก๊สไซลีน		
	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล แก๊สไฮโดรเจน (ml/min)	อัตรา การไหลของ สารตั้งต้น (g/min)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	450	5	9.14	24.64	25.42	25.03
2	600	5	9.14	32.57	32.57	32.57
3	450	10	9.14	24.25	25.01	24.63
4	600	10	9.14	33.03	32.28	32.66
5	450	5	1.23	28.94	28.42	28.68
6	600	5	1.23	34.45	35.12	34.79
7	450	10	1.23	28.21	29.05	28.63
8	600	10	1.23	36.87	37.44	37.16

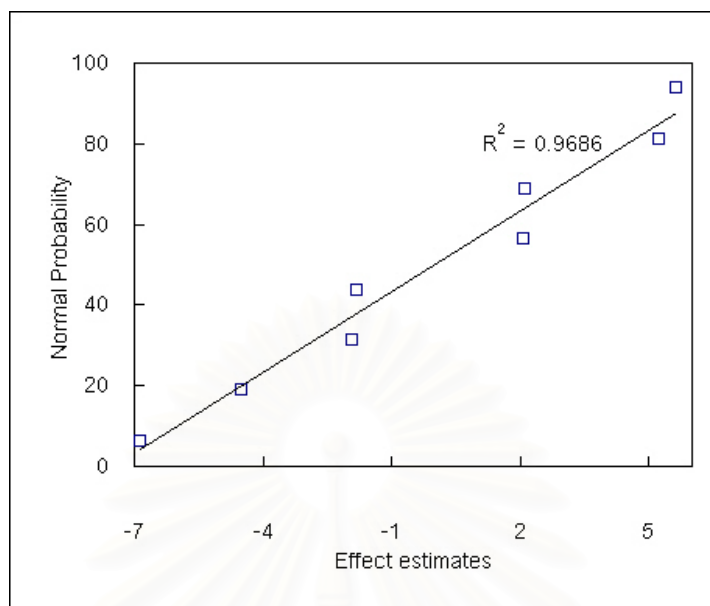
ตารางที่ 4-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองแบบ 2^k

Source of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F_0
A	455.869	1	455.869	531.388
C	103.177	1	103.177	120.269
Error	12.010	13	0.858	
Total	571.056	16		

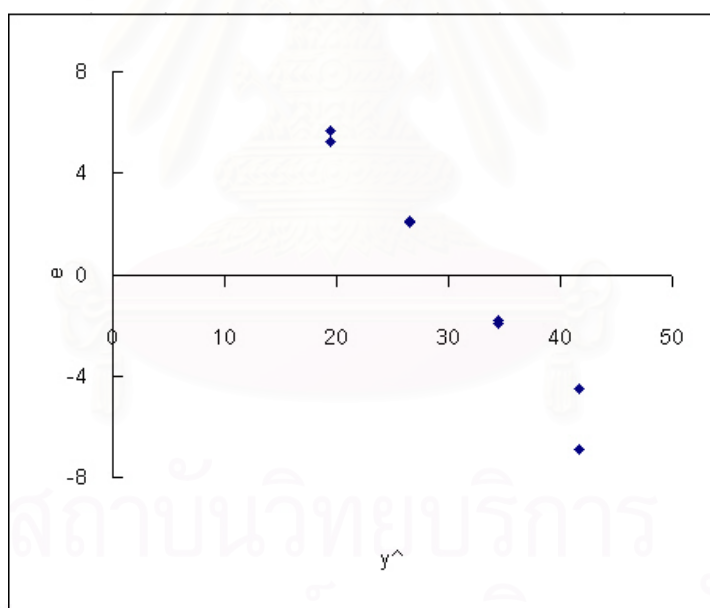


รูปที่ 4-1 Normal Probability Plot ของการออกแบบการทดลองแบบ 2^k

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่า มีร้อยละของแก๊สไซลีนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 25 – 32 โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไซลีนประกอบด้วย อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารป้อนเข้า แสดงดังรูป 4-1 โดยเมื่อนำอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ มาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงมากคือ อุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้นโดยอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้นเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงของ Normal probability plot เล็กน้อย ซึ่งตัวแปรเหล่านี้แสดงว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแก๊สไซลีน และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่าจากการคำนวณ 531.388 และ 120.269 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า $F_{0.025,1,14}$ ที่ได้จากตารางคือ 6.30 จึงเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นแก๊สไซลีน



รูปที่ 4-2 Normal Probability Plot สำหรับการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง



รูปที่ 4-3 ส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการประมาณจากแบบจำลอง

จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^k ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นแก๊สไฮลีน ประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย โดยมีสมมติฐานคือค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวเท่ากับศูนย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการวิเคราะห์สำหรับร้อยละการเปลี่ยนแสดงในตารางที่ 4-4 จะเห็นว่าไม่สามารถปฏิเสธ

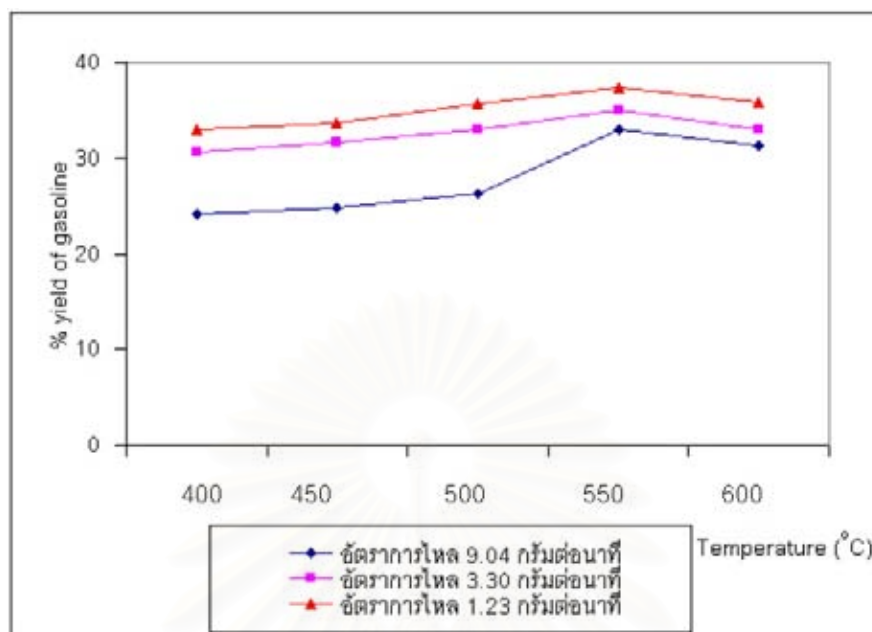
สมมติฐานหลักได้ โดยแบบจำลองของการถดถอยที่เหมาะสมคือ $y = 30.52 + 7.55x_1 + 3.59x_3$ ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอยทำได้โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างที่เหลือจากข้อมูลที่สมการทำนายได้ โดยส่วนตกค้างหาได้จากการนำค่าจริงจากการทดลองลบด้วยค่าจากสมการถดถอย ซึ่งจะเห็นว่าส่วนตกค้างนี้เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) โดยมีข้อตกลงคือ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ไม่มีแนวโน้มหรือโครงสร้าง (Structureless) มีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variation) และไม่ขึ้นกับลำดับการเก็บข้อมูล ซึ่งข้อตกลงทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตส่วนตกค้างกับ Normal % Probability ค่าที่ได้จากสมการถดถอย (Fitted Value) และลำดับการทดลอง (Run Order) รูปที่ 4-2 แสดงการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง และรูปที่ 4-3 แสดงส่วนตกค้างกับปริมาณแก๊สโซลีนที่ถูกทำนายโดยแบบจำลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่พบว่ามีสิ่งผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซี น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนแล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ ดังนี้

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| 1. อุณหภูมิ | 400, 450, 500, 550, 600 | องศาเซลเซียส |
| 2. อัตราการไหลของสารป้อน | 1.23, 3.30, 9.04 | กรัมต่อนาที |
| 3. อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน | 0, 5 และ 10 | มิลลิลิตรต่อนาที |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



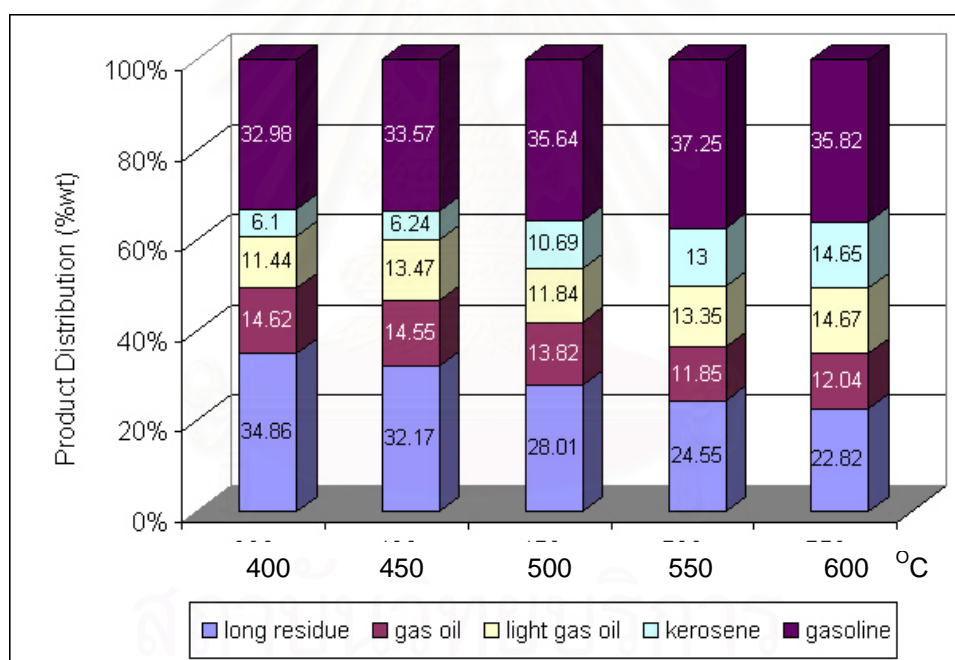
รูปที่ 4-4 อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารตั้งต้นที่ป้อนเข้าสู่ระบบซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในสัดส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 โดยน้ำหนัก เกิดการแตกตัวให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันไม่แตกต่างกันมากในแต่ละอุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวในปริมาณมาก และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งและแก๊สปริมาณลดลง โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ลดลง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิทำให้สารตั้งต้นจะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลต่ำๆ ทำให้สารตั้งต้นใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้นานขึ้น จึงได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่ผ่านจากผนังท่อเครื่องปฏิกรณ์ได้มาก ส่งผลให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กแตกตัวต่อไปจนมีเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน จึงพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวลดลง แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมากที่สุด ในขณะที่อัตราการไหลสูง 9.04 กรัมต่อนาที สารตั้งต้นมีเวลาที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อย จึงได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิได้น้อย ทำให้การแตกตัวด้วยความร้อนที่อัตราการไหลสูงไม่ค่อยดีนัก เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่า เมื่อให้อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อป้อนอัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน จะให้ผลใกล้เคียงกัน ซึ่งพบว่าในปฏิกิริยาการแตกตัวที่ใช้ความร้อน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวมากนัก

4.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้

4.4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของสารตั้งต้น ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันพีซี น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ในสัดส่วน 0.70 : 0.10 : 0.20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-5

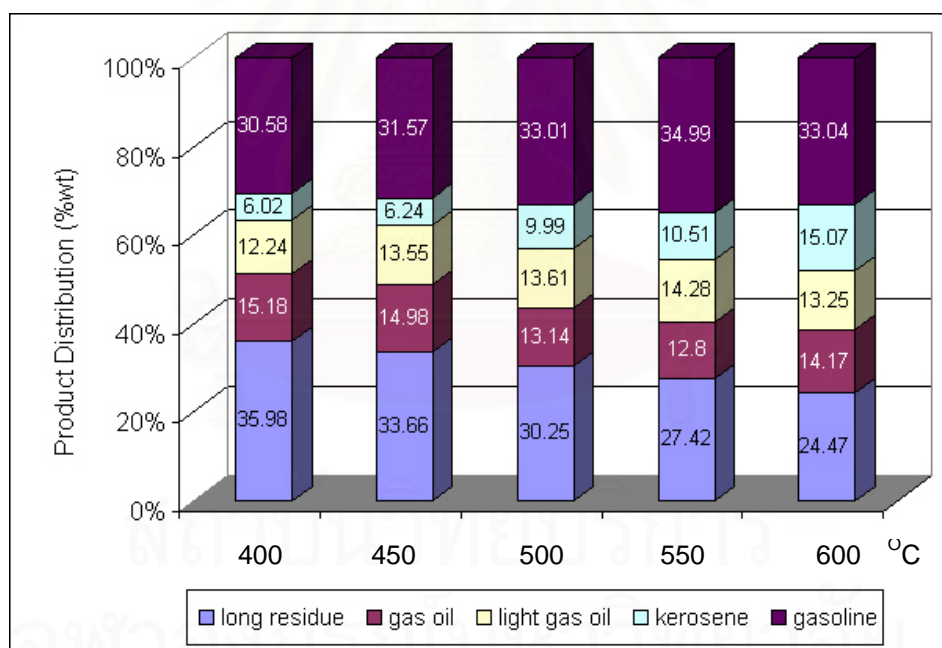


รูปที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สโซลีน เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงมี

ปริมาณแก๊สโซลีนมากขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแก๊สโซลีนที่มากที่สุด คือร้อยละ 37.25 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสมีปริมาณของแก๊สโซลีนลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมาก อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว และได้รับอิทธิพลจากความร้อนต่อเนื่องทำให้โมเลกุลที่ไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวเป็นขนาดเล็กแล้วเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวก $C_1 - C_4$ จึงพบว่ามียอดประกอบที่เป็นแก๊สโซลีนลดลง ในขณะที่เกิดแก๊สขึ้นในระบบมากขึ้น

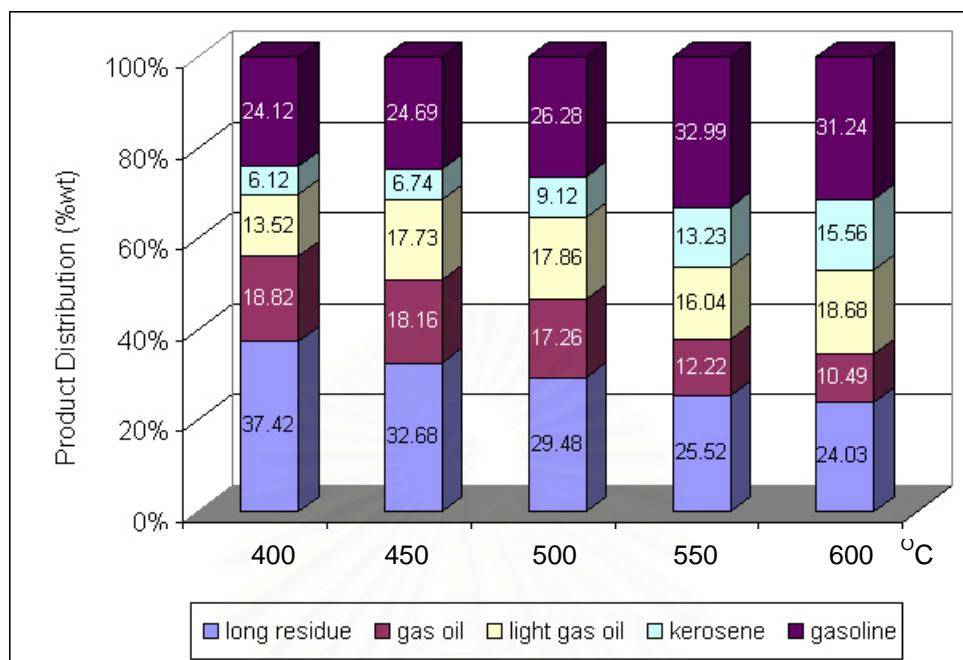
เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพอลิ-พอร์พิลีนแล้วที่อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สโซลีน เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น มีปริมาณแก๊สออยล์หนักและกากน้ำมันลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อิทธิพลของอุณหภูมิจะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงพบว่ามีปริมาณแก๊สโซลีนมากขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแก๊สโซลีนที่มากที่สุดร้อยละ 34.99 ในขณะที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแก๊สโซลีนลดลง เนื่องจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวในขั้นเริ่มต้นจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเหล่านั้นแตกตัวต่อไปเป็นโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวก $C_1 - C_4$ มากขึ้น

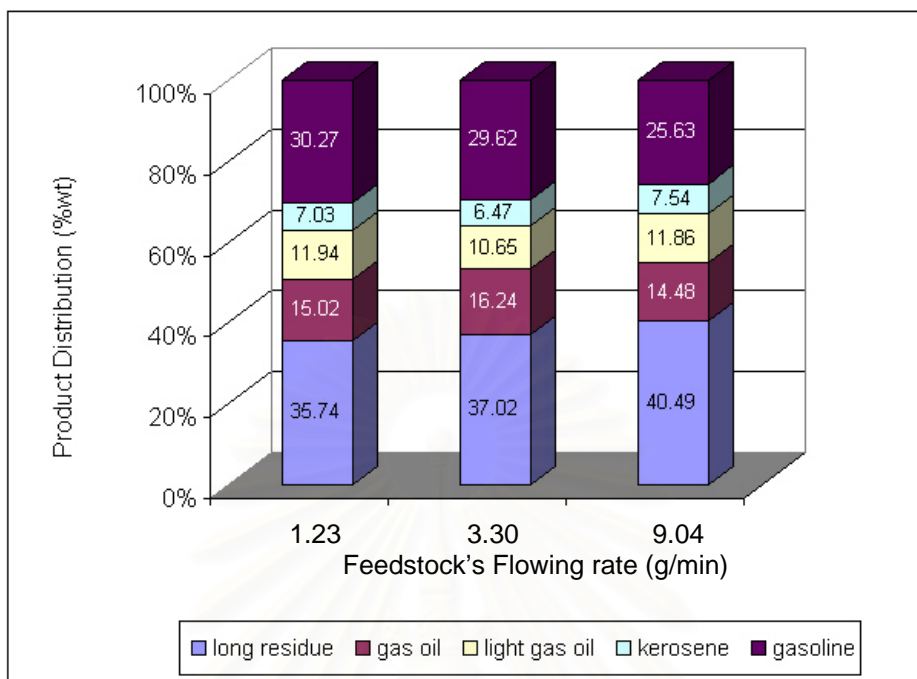
เมื่อศึกษาผลของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียสว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สโซลีน เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบาจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณของแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมี่ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการไหลของสารตั้งต้น ดังนั้นที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเวลาสั้น แต่จากอิทธิพลของอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จึงมีปริมาณแก๊สโซลีนที่มากที่สุด คือร้อยละ 32.99 ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียสมีปริมาณแก๊สโซลีนที่ลดลงเนื่องจากการได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่อิทธิพลของอุณหภูมิและสารตั้งต้นที่ยังอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีโอกาสได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องทำให้มีการแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้มากขึ้น



รูปที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที

4.4.2 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน
ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-8

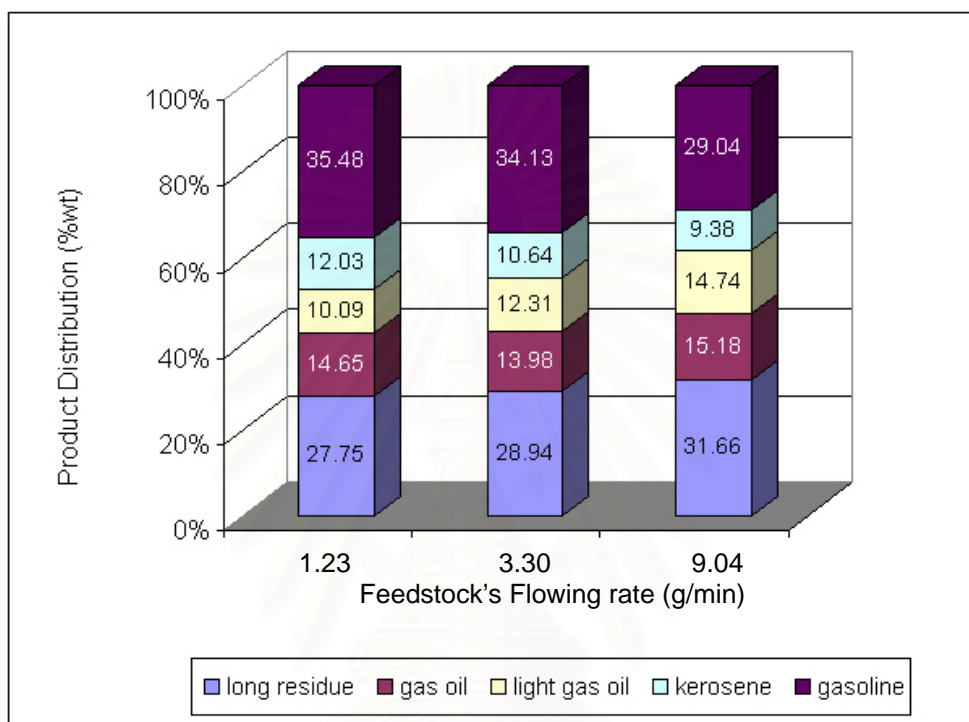
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-8 ผลอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน เคโรซีนในปริมาณน้อย และให้แก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักในปริมาณมาก เนื่องจากที่ภาวะอุณหภูมิตัวน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วซึ่งมีโครงสร้างคล้ายน้ำมันหนัก และน้ำมันพืชใช้แล้ว ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิได้น้อยทำให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนได้ไม่ดี จึงพบว่าเมื่อไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกแก๊สออยล์ และกากน้ำมัน เป็นจำนวนมาก ขณะที่ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้แก่ แก๊สโซลีน เคโรซีนในปริมาณน้อย โดยที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนร้อยละ 30.27 และอัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณแก๊สโซลีนที่น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลสูงทำให้เวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้สั้น การได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิที่ถ่ายโอนความร้อนมายังสารตั้งต้นไม่เพียงพอที่จะแตกพันธะของโครงสร้างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ได้

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-9

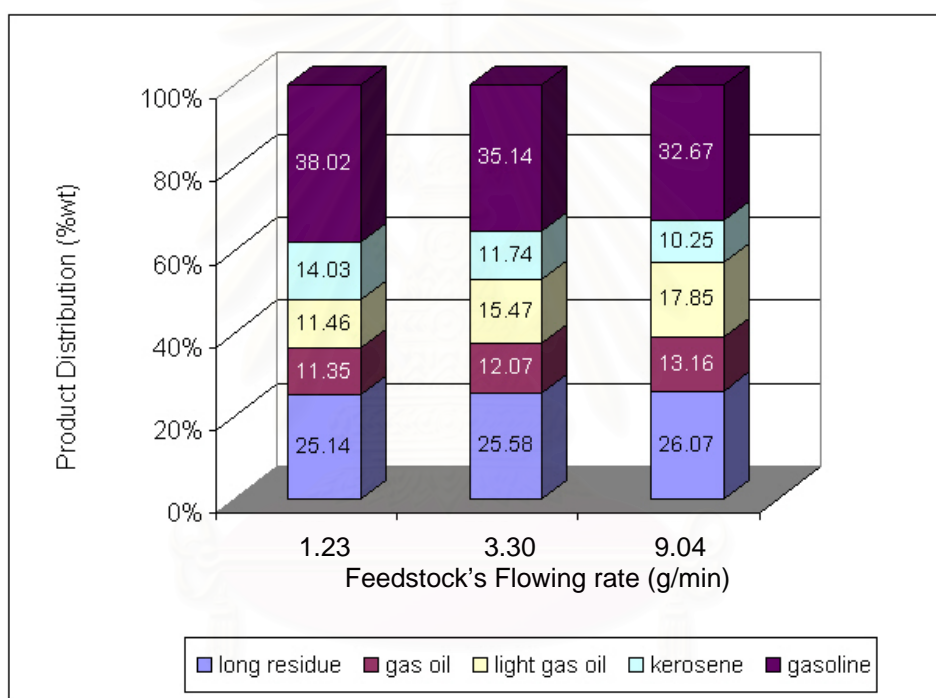


รูปที่ 4-9 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบให้สูงขึ้น พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที จะให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สโซลีนและเคโรซีนในปริมาณที่มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนโดยทำให้ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่มากที่สุดร้อยละ 35.48 และที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นสูง ทำให้สารตั้งต้นมีเวลาที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อย

การได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิที่ถ่ายโอนจากผนังเครื่องปฏิกรณ์มายังน้ำมันได้น้อย ทำให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดขึ้นไม่ดีจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่จำนวนมาก

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-10

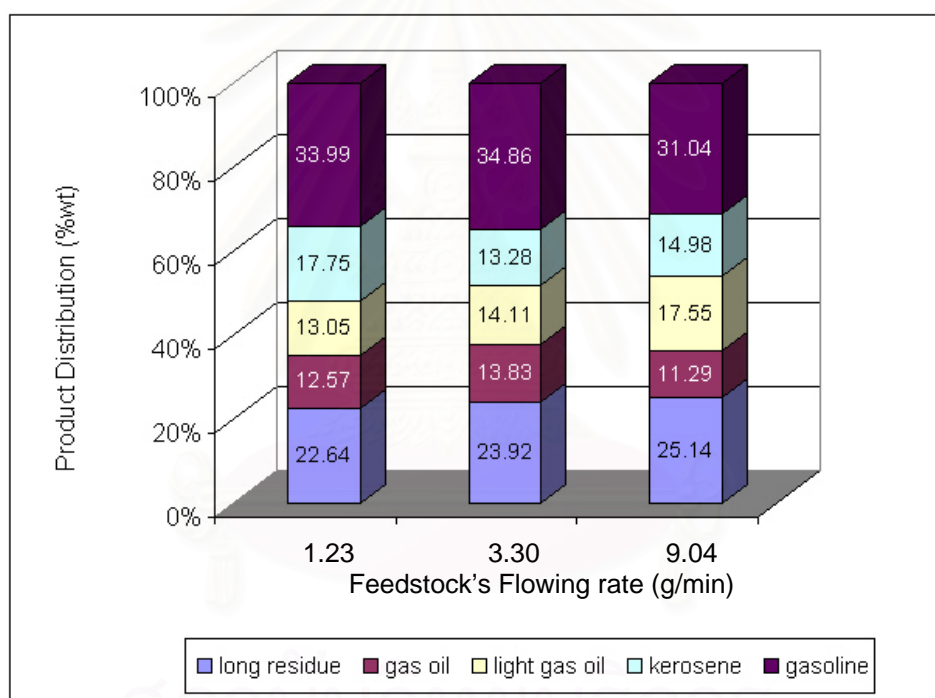


รูปที่ 4-10 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากขึ้น และให้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนหนัก และกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากบทบาทอุณหภูมิที่มีผลต่อการส่งเสริมการแตกตัวด้วยความร้อน ทำให้ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวได้ดีไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวก แก๊สไฮโดรคาร์บอน และแก๊สไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหล 3.30 กรัม

ต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่มากที่สุดคือร้อยละ 38.02 และอัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณแก๊สโซลีนน้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่สารป้อนเข้ามีโอกาสแลกเปลี่ยนความร้อนจากผิวเครื่องปฏิกรณ์มีเวลาด้านทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยจึงทำให้แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กในปริมาณที่ไม่มากพอ

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-11



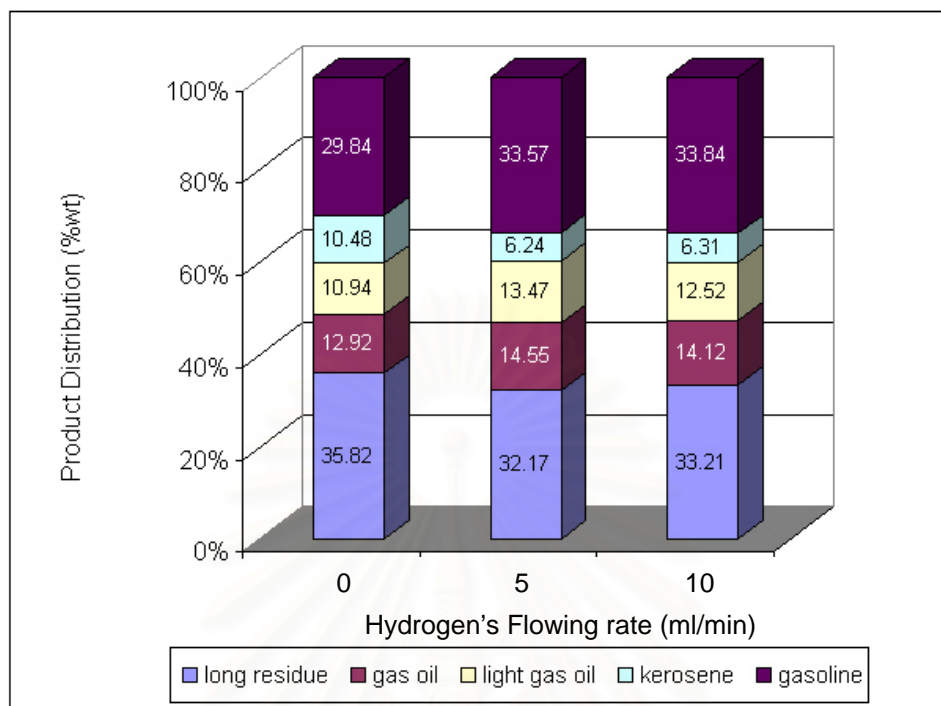
รูปที่ 4-11 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน เคโรซีน แก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักในปริมาณที่เริ่มลดลง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้เมื่อโมเลกุลที่

แตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กแล้วยังได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิทำให้แตกตัวต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จึงเห็นได้ว่าปริมาณของแก๊สโซลีน เคโรซีน มีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าที่อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่มากที่สุดคือร้อยละ 34.86 และอัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่น้อยที่สุด เนื่องจากที่อัตราการไหลต่ำทำให้เวลาที่น้ำมันสัมผัสผิวเครื่องปฏิกรณ์นานและการได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวด้วยความร้อนแล้วได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิต่อไปและเกิดแตกตัวต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ซึ่งพบว่าเกิดก๊าซในระบบเพิ่มขึ้นมาก

4.4.3 ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

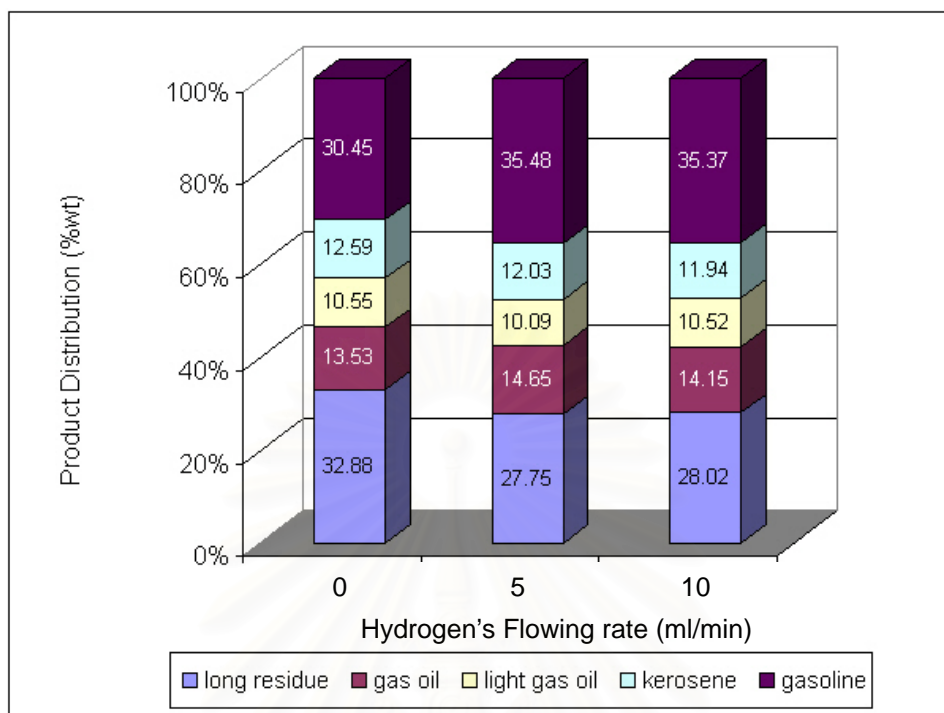
จากผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น เห็นได้ว่า อุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น มีความสัมพันธ์ต่อการแตกตัวของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพลาสติกใช้แล้ว ให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดพบว่า ที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ อัตราการไหลของสารตั้งต้นสูง และที่ภาวะอุณหภูมิสูง อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่ำ ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการศึกษอิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน จึงเลือกที่จะศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ อัตราการไหลของสารตั้งต้นสูง และ อุณหภูมิสูง อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่ำ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่ตัวแทนของตัวแปรอุณหภูมิ และ อัตราการไหลของสารตั้งต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาอิทธิพลของแก๊สไฮโดรเจนที่มีผลต่อการช่วยส่งเสริมการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน (Hydrocracking) โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน ต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที เมื่อไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนในระบบ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย แก๊สโซลีน เคโรซีนในปริมาณที่น้อยโดยที่มีปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันมาก และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนไปจนถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากที่ภาวะอุณหภูมิต่ำทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิไม่เพียงพอที่จะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้นอกจากนั้นที่อุณหภูมิต่ำมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน (depolymerization) จึงพบว่ามีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวก แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมัน ในปริมาณมาก ในขณะที่มีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจำพวกแก๊สโซลีนและเคโรซีนในปริมาณน้อย ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีปริมาณของแก๊สโซลีนที่ 33.57 %

อิทธิพลอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อัตราการไหล – ของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-13

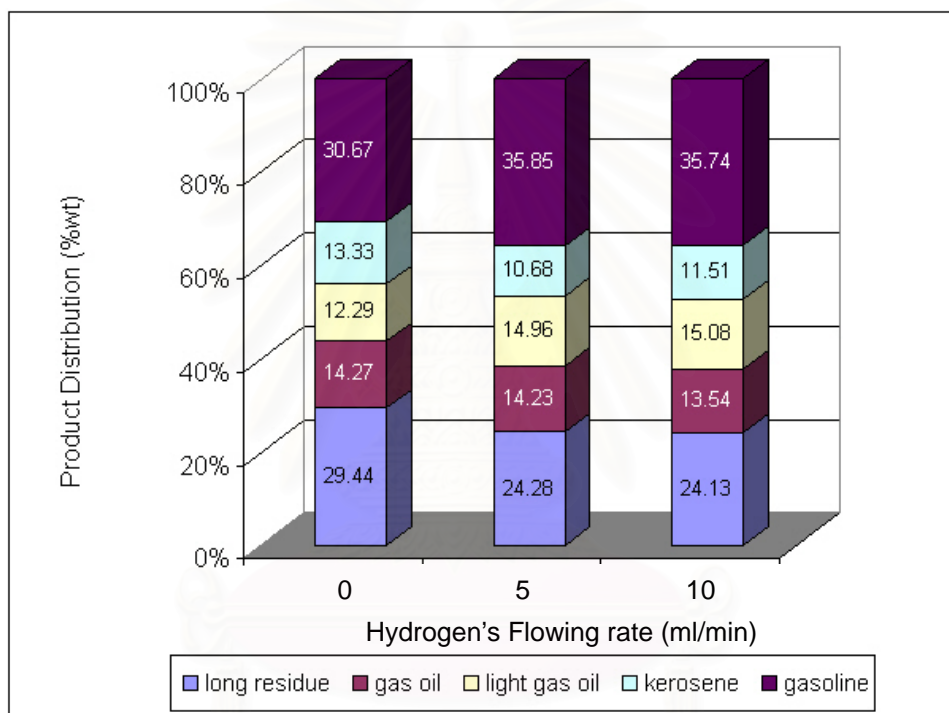


รูปที่ 4-13 ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที เมื่อให้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย แก๊สโซลีน เคโรซีน โดยมีแก๊สออยล์ และกากน้ำมันเล็กน้อย และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนไปจนถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาทีก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มมีบทบาทต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของสารตั้งต้นไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดกลาง โดยที่อิทธิพลของอุณหภูมิยังมีผลต่อการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางแล้วไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเมื่อเวลาเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ยังดำเนินการต่อไป โดยที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 35.48 และให้ผลการทดลองไม่แตกต่างจากการใช้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที

มากนัก เมื่อพิจารณาแล้วจึงเห็นว่าการใช้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเพียง 5 มิลลิลิตรต่ออนาที จึงเพียงพอต่อการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นแก๊สโซลีนแล้ว

อิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาตั้งแต่ 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-14

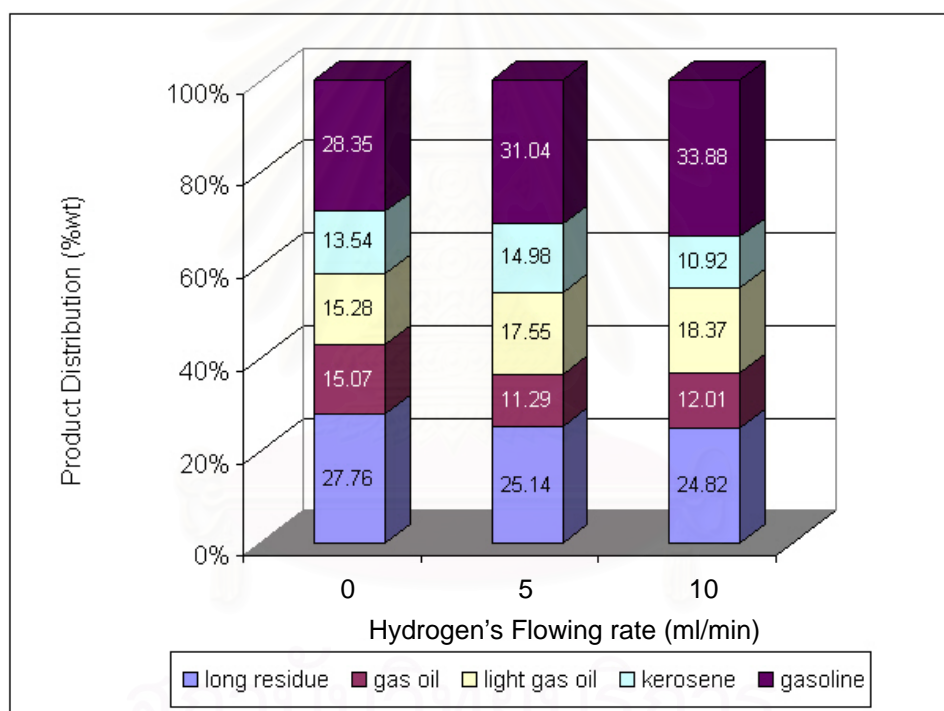


รูปที่ 4-14 ผลของอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่ออนาที

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่ออนาที เมื่อใช้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่ออนาที จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย แก๊สโซลีน เคโรซีน ในปริมาณที่มากขึ้น ขณะที่แก๊สออยล์ และกากน้ำมันเกิดขึ้นเล็กน้อย และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาตั้งแต่ 5 ถึง 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งพอจะอธิบายได้จากอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดกลาง และเมื่อได้รับอิทธิพล

จากความร้อนต่อไปอย่างต่อเนื่องทำให้แตกตัวได้ต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จำพวก แก๊สโซลีน และเคโรซีน ในขณะที่องค์ประกอบที่เป็น แก๊สออยล์ และกากน้ำมันมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล แก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 35.85 และไม่แตกต่างจากการใช้แก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาทีอย่างมีนัยสำคัญ

อิทธิพลของของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหลต่างๆ ที่อัตราการไหลของสารป้อน 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที เมื่อใช้แก๊สไฮโดรเจนอัตราการไหล 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย แก๊สโซลีน เคโรซีน แก๊สออยล์ และกากน้ำมันปริมาณลดลง และเกิดแก๊สขึ้นในระบบจำนวนมาก ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปใน

ปฏิกิริยาเป็น 10 มิลลิลิตรต่อนาที่ เนื่องจากที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อิทธิพลของอุณหภูมิมีบทบาทอย่างมากต่อการแตกตัวของน้ำมันและพอลิพรอพิลีนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดกลาง และการที่ยังได้รับอิทธิพลจากความร้อนแตกตัวต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวก แก๊สโซลีน และเคโรซีน ในขณะที่องค์ประกอบที่เป็น แก๊สออยล์ และกาน้ำมันก็มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที่ จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 33.88

4.5 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

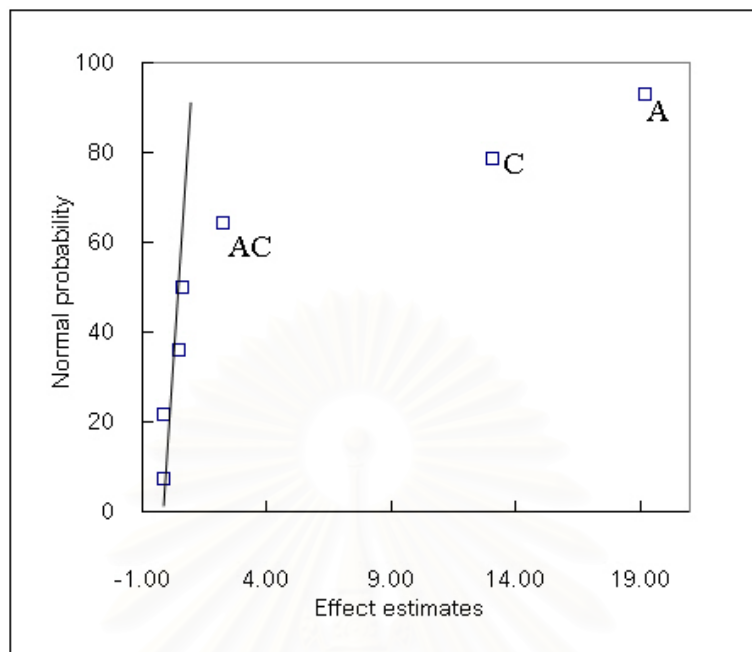
งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเปลี่ยนน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ โยสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จะช่วยส่งเสริมการแตกตัวด้วยความร้อน โยลดพลังงานกระตุ้นที่ใช้ในปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็ว และมีสมบัติของพื้นที่ผิวรูพรุนจำนวนมาก ในขณะที่ปริมาณเหล็กบนถ่านกัมมันต์ก็ช่วยเพิ่มปริมาณ active site ของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดการแตกตัวได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซลีนภายใต้ภาวะของการทดลองไม่สูงมาก ข้อดีของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์คือ มีราคาถูกลง และสามารถเตรียมได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ ในการศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษานี้ใช้น้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเหลว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนต่อกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น เมื่อนำไปกลั่นจะได้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดเป็นแก๊สโซลีนและเคโรซีน ซึ่งสามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยที่ให้อัตราส่วนของสารตั้งต้นซึ่งประกอบด้วย น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน เป็น 0.7 : 0.1 : 0.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-10 ร้อยละผลได้ของแก๊สไซลีนที่ภาวะต่าง ๆ ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k

การทดลอง ที่	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง			ร้อยละของแก๊สไซลีน		
	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการ ไหลของแก๊ส ไฮโดรเจน (ml/min)	อัตรา การไหลของ สารตั้งต้น (g/min)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	380	1	9.04	33.05	33.46	33.26
2	550	1	9.04	41.53	41.84	41.69
3	380	5	9.04	33.34	33.23	33.29
4	550	5	9.04	41.53	41.98	41.76
5	380	1	1.23	37.77	38.89	38.33
6	550	1	1.23	48.82	49.59	49.21
7	380	5	1.23	38.74	39.32	39.03
8	550	5	1.23	49.72	49.58	49.65

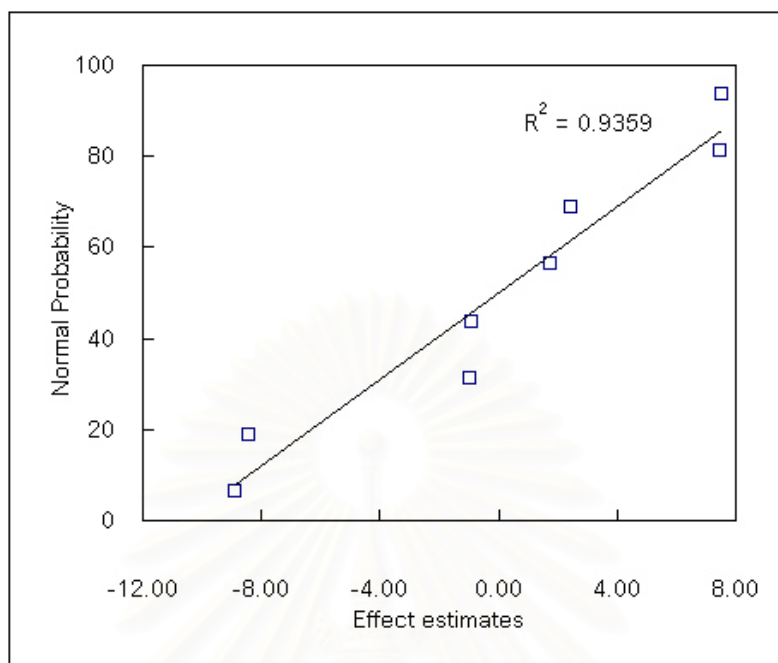
ตารางที่ 4-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองแบบ 2^k

Source of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F_0
A	737.088	1	737.088	6905.303
C	344.138	1	344.138	3224.004
AC	10.557	1	10.557	98.902
Error	1.388	13	0.107	
Total	1093.170	16		

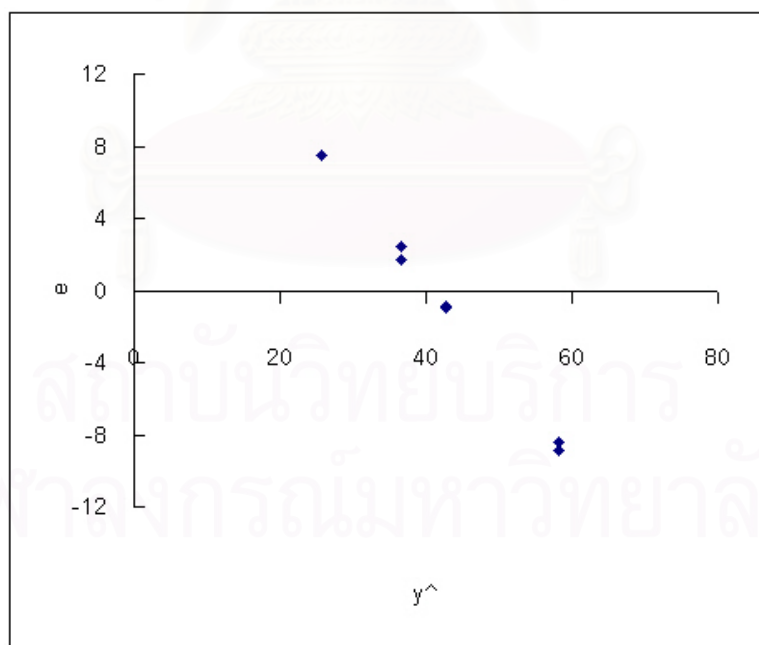


รูปที่ 4-16 Normal Probability Plot ของการออกแบบการทดลองแบบ 2^k

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่ามีร้อยละของแก๊สโซลีนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 36 – 54 โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนไปเป็นแก๊สโซลีนประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น แสดงดังรูป 4-16 โดยเมื่อนำอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ มาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่าตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงมากคือ อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารตั้งต้น โดยที่อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้นเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงของ Normal probability plot เล็กน้อยซึ่งตัวแปรเหล่านี้แสดงว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่าอุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น จากการคำนวณ มีค่า 36905.303, 3224.004 และ 98.902 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า $F_{0.025,1,16}$ ที่ได้จากตารางคือ 6.12 จึงเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นแก๊สโซลีน



รูปที่ 4-17 Normal Probability Plot สำหรับการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง



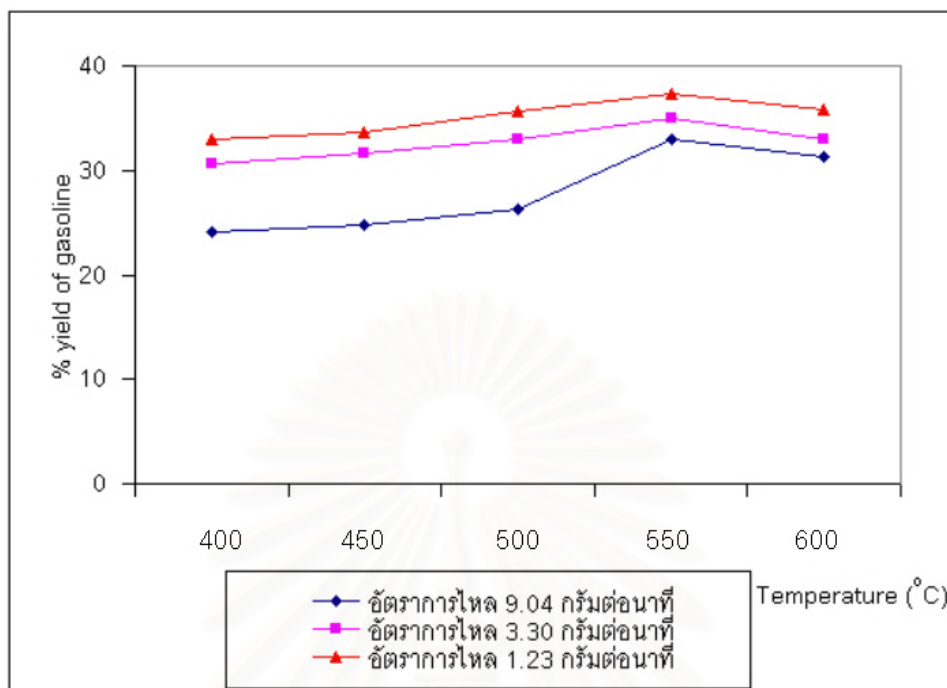
รูปที่ 4-18 ส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการประมาณจากแบบจำลอง

จากการออกแบบการทดลองแบบ 2k ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นแก๊สโซลีน ประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น และอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย โดยมีสมมติฐานหลักคือค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวเท่ากับศูนย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการวิเคราะห์สำหรับร้อยละการเปลี่ยนแสดงในตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยแบบจำลองของการถดถอยที่เหมาะสมคือ $y = 40.77 + 9.60x_1 + 6.56x_3 + 1.15x_1x_3$ ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอยทำได้โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างที่เหลือจากข้อมูลที่สมการทำนายได้ โดยส่วนตกค้างหาได้จากการนำค่าจริงจากการทดลองลบด้วยค่าจากสมการถดถอย ซึ่งจะเห็นว่าส่วนตกค้างนี้เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) โดยมีข้อตกลงคือ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จะต้องมีแนวโน้มหรือโครงสร้าง (Structureless) มีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variation) และไม่ขึ้นกับลำดับการเก็บข้อมูล ซึ่งข้อตกลงทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตส่วนตกค้างกับ Normal % Probability ค่าที่ได้จากสมการถดถอย (Fitted Value) และลำดับการทดลอง (Run Order) รูปที่ 4-17 แสดงการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง และรูปที่ 4-18 แสดงส่วนตกค้างกับปริมาณแก๊สโซลีนที่ถูกทำนายโดยแบบจำลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่พบว่ามีสิ่งผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

4.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์

ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง โดยทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ ดังนี้

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| 1. อุณหภูมิ | 400, 450, 500, 550, 600 | องศาเซลเซียส |
| 2. อัตราการไหลของสารตั้งต้น | 1.23, 3.30, 9.04 | กรัมต่อนาที |
| 3. อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน | 0, 5, 10 | มิลลิลิตรต่อนาที |



รูปที่ 4-19 อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ที่อัตราการใช้ของแก๊สไฮโดรเจนคงที่ 5 มิลลิลิตรต่อหน่วย

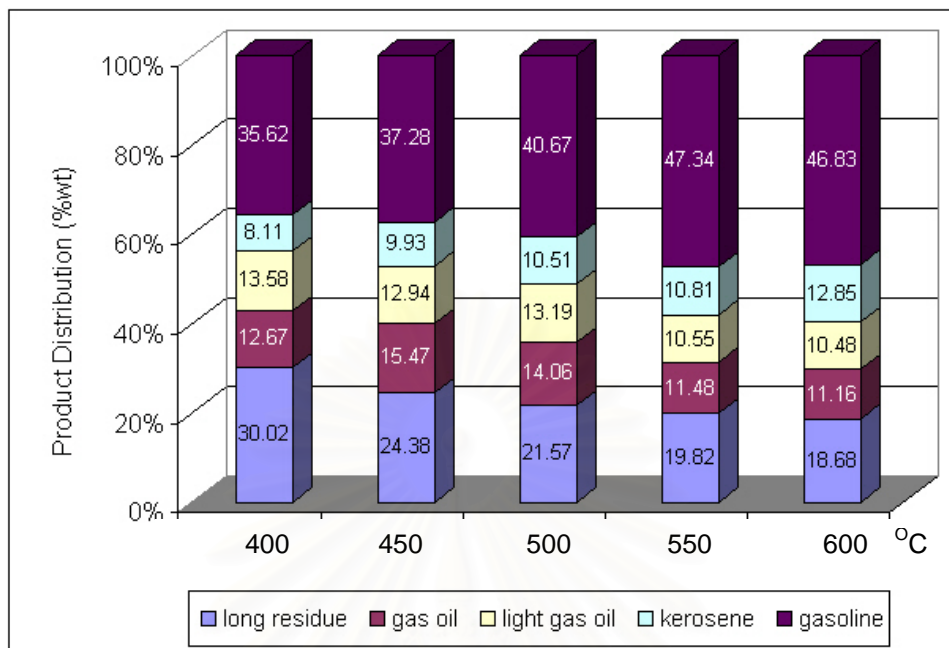
เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารตั้งต้นซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในสัดส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 โดยน้ำหนัก เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวไม่แตกต่างกันมากในแต่ละอุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวในปริมาณมาก และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งและแก๊สปริมาณน้อย โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ลดลง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิทำให้สารป้อนเข้าจะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าไปมีบทบาทในการช่วยแตกตัวและผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติของพื้นที่ผิวสูงจำนวนมาก และปริมาณของเหล็กร้อยละ 5 ทำให้มีบริเวณที่เป็น active site สามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี ทำให้ได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวก แก๊สโซลีน และเคโรซีน แต่ภาวะที่อัตราการใช้ของสารตั้งต้นต่ำ ๆ ทำให้สารตั้งต้นอยู่ในระบบเป็นเวลานานและได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิที่มีการถ่ายโอนความร้อนจากผิวของเครื่องปฏิกรณ์ได้นานขึ้นโดยที่ซึ่งพบว่าอุณหภูมิเป็นอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างรุนแรง ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน

ขนาดเล็กจำพวกแก๊สโซลีนเกิดปฏิกิริยาแตกตัวต่อไปจนเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ๆ จำพวก $C_1 - C_4$ จึงพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวลดลง แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดการถ่ายโอนความร้อนจากผิวเครื่องปฏิกรณ์มายังสารตั้งต้นได้มาก มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนแล้วบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จึงเข้าไปมีบทบาทในการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเปลี่ยนโครงสร้างให้เกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ขณะที่เมื่อพิจารณาอัตราการไหลที่ 3.30 กรัมต่อนาที ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมากที่สุด และที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที พบว่าสารตั้งต้นมีเวลาที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อย จึงได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิได้น้อย ทำให้การแตกตัวด้วยความร้อนที่อัตราการไหลสูงไม่ค่อยดีนัก โดยมีการแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกแก๊สออลด์จำนวนมากโดยอิทธิพลของความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนให้ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สโซลีน หรือ เคโรซีนต่อไปได้ เมื่อพิจารณาอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ณ อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที ภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงผลในการทดลองที่ผ่านมาแล้วว่าในปฏิกิริยาการแตกตัวที่ใช้ความร้อน อิทธิพลของแก๊สไฮโดรเจนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวมากนัก

4.7 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันเครื่องใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้

4.7.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

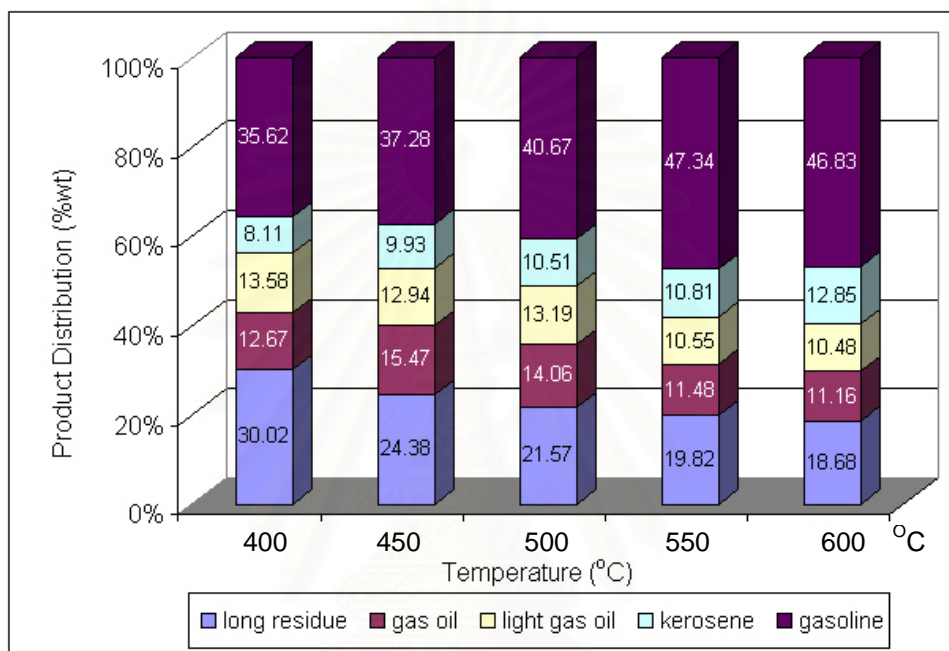
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีซี น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-20



รูปที่ 4-20 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400 - 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สโซลีน เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น ในขณะที่มีปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงมีบทบาทอย่างมากต่อการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น และบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เฉพาะโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจัดโครงสร้างเป็นโมเลกุลจำพวกแก๊สโซลีน และเคโรซีนได้ดียิ่งขึ้น แต่ที่ภาวะอุณหภูมิสูงมากจะทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเหล่านั้นแตกตัวต่อไปจากอิทธิพลของอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ทำให้เกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวก C_1-C_4 โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้องค์ประกอบแก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดร้อยละ 47.34 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสได้ปริมาณของแก๊สโซลีนลดลง เนื่องจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวในขั้นเริ่มต้นจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแตกตัวต่อไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวก $C_1 - C_4$ ซึ่งเป็นแก๊สได้มากขึ้น

เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพลาสติก ใช้แล้วที่อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-21

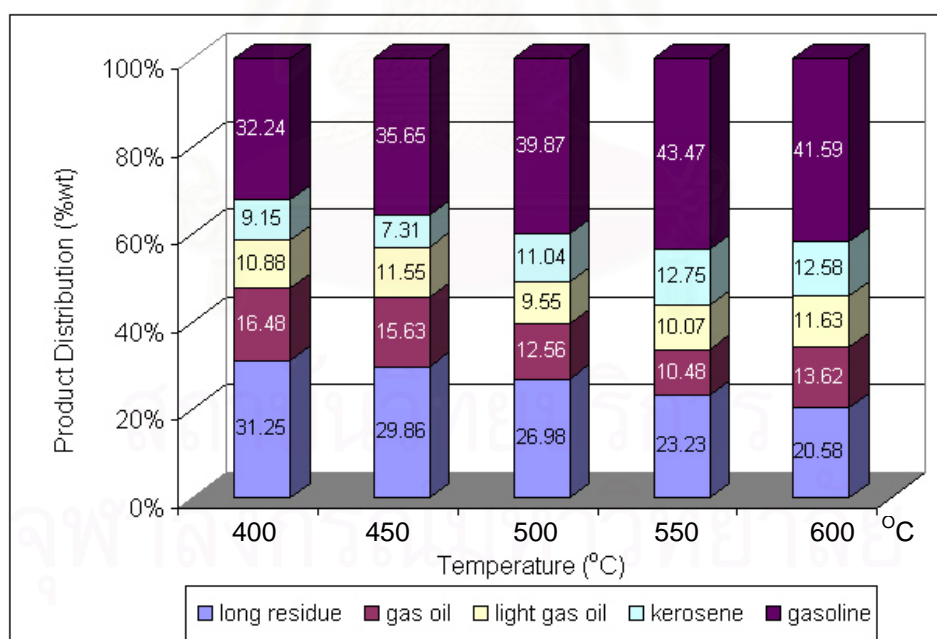


รูปที่ 4-21 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น ขณะที่ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนหนัก และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากที่ภาวะอุณหภูมิสูงมีบทบาทอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างรุนแรงจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดี และบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กสามารถจัดโครงสร้างเป็นโมเลกุลจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนได้ดียิ่งขึ้น แต่ที่ภาวะอุณหภูมิสูงมากนอกจากจะทำให้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วแล้ว จะทำให้โมเลกุลที่ผ่านการจัดโครงสร้างและมีขนาดเล็กเหล่านั้นแตกตัวต่อไปจากอิทธิพลของอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ทำให้เกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก C_1 - C_4 โดยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณแก๊สโซลีนที่มากที่สุด คือร้อยละ 47.34 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสได้ปริมาณของแก๊สโซลีนลดลงเนื่องจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่แตกตัวในขั้นเริ่มต้นจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแตกตัวต่อไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวก $C_1 - C_4$ ซึ่งพบว่าเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก

เมื่อทำการศึกษาผลการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ดังแสดงในรูปที่ 4-22



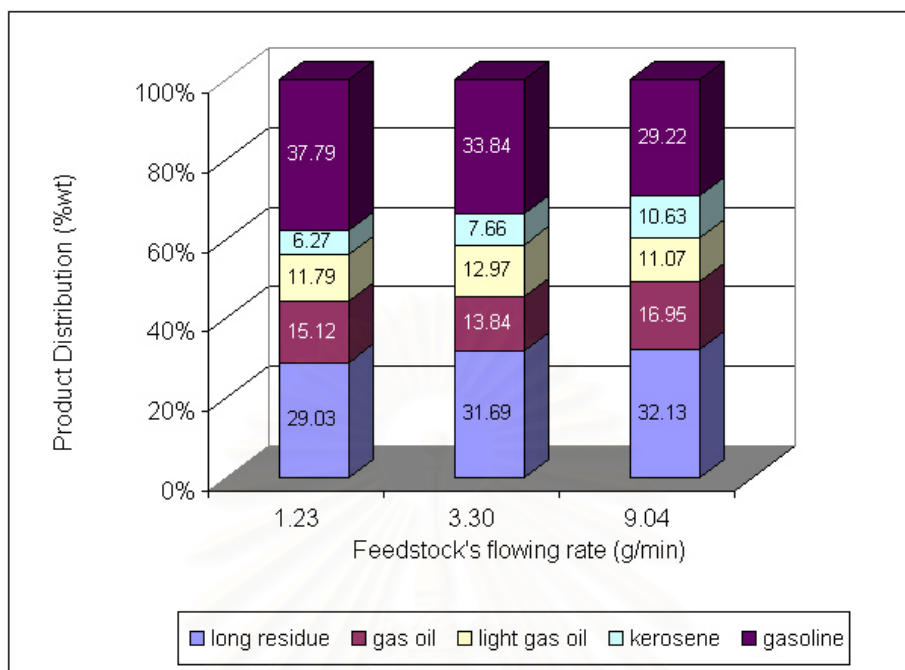
รูปที่ 4-22 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที บนตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์

พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีส่วนของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแก๊สไฮโดรเจน เคโรซีน และแก๊สออยล์ชนิดเบามากขึ้น ขณะที่ปริมาณแก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันลดลง เนื่องจากอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการไหลของสารตั้งต้น ดังนั้นที่อัตราการไหล 9.04 กรัมต่ออนาที ทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิจากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเวลาสั้น อย่างไรก็ตามที่ภาวะอุณหภูมิสูง สารตั้งต้นมีโอกาสได้รับอิทธิพลจากความร้อนทำให้เกิดการแตกตัวได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และเกิดการแตกตัวจากบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดการถ่านไฮโดรเจน แล้วจัดโครงสร้างสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่เหมาะสมทำให้ได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรเจนและเคโรซีน การทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่มากที่สุดร้อยละ 43.47 ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียสมีปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ลดลงเนื่องจากบทบาทของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแตกตัวโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนอย่างรุนแรงขณะที่เวลาทำปฏิกิริยายังดำเนินต่อไปภายใต้อุณหภูมิสูง ทำให้อิทธิพลของอุณหภูมิจึงมีบทบาทต่อการแตกตัวต่อไปมากกว่าปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งพบว่าผลของอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการแตกตัวไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำนวนมาก

4.7.2 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของสารตั้งต้นที่ประกอบด้วยของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30, และ 9.04 กรัมต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

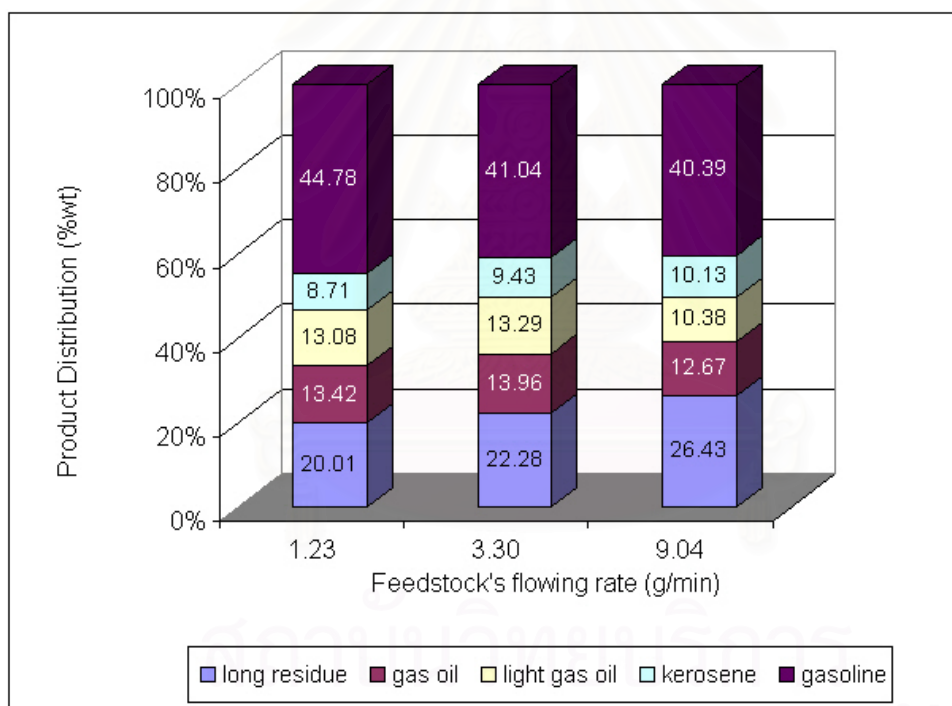


รูปที่ 4-23 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพารฟินใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน เควรีน ในปริมาณน้อย และให้ปริมาณแก๊สออกไซด์หนัก และกากน้ำมันหนักที่มาก เนื่องจากที่ภาวะอุณหภูมิตัวน้ำมันเครื่องใช้แล้วซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ที่มีกิ่งก้านสาขามาก ได้รับอิทธิพลจากความร้อนได้น้อย ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนได้ไม่ดี บางส่วนเกิดปฏิกิริยารวมตัวของโพลิเมอร์ (depolymerization) ทำให้การแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กได้ไม่ดี ซึ่งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทต่อการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้แตกตัวไม่ดีเนื่องจากมีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ การถ่ายโอนไฮโดรเจนจึงไม่ทำให้เกิดการแตกตัวไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมได้ จึงพบว่ามีไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกแก๊สออกไซด์ กากน้ำมัน เป็นจำนวนมาก และมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก คือ แก๊สโซลีน เควรีน ในปริมาณน้อย โดยที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนร้อยละ 37.79 และที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที จะให้

ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลสูงทำให้สารตั้งต้นมีเวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์น้อย ในขณะที่อุณหภูมิต่ำด้วย จึงมีโอกาสนี้จะได้รับการถ่ายโอนความร้อนจากผิวของเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อย สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่จึงเกิดการแตกตัวได้ยังไม่ดี ทำให้พบว่าสายโซ่ขนาดใหญ่จำพวกกาน้ำมันเหลือเป็นจำนวนมาก

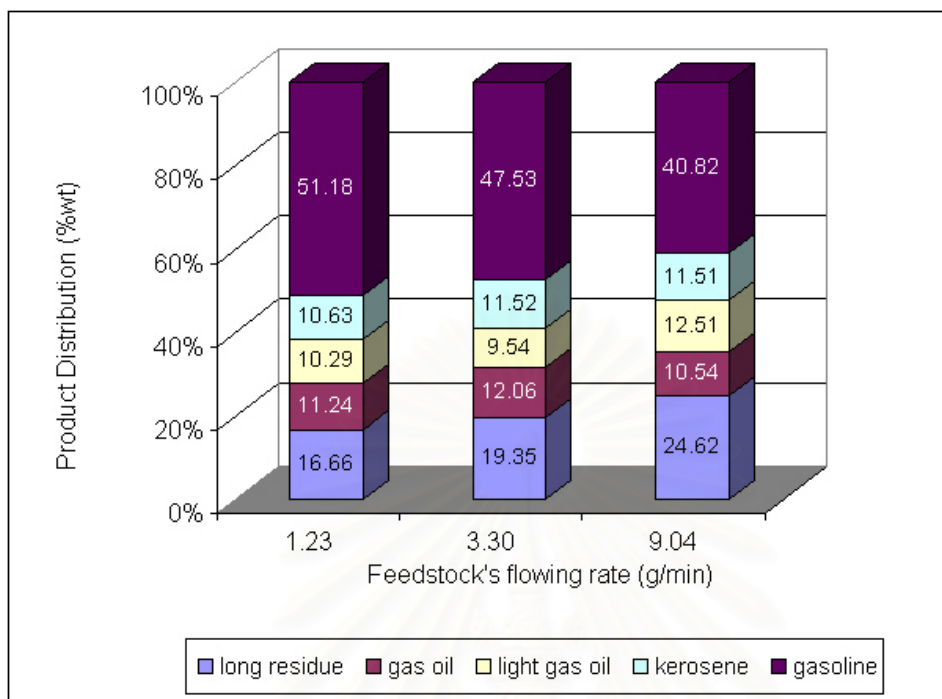
การศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้วที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน แสดงในรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-24 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน เคโรซีน ในปริมาณที่มากขึ้น และพบว่าปริมาณแก๊สออกไซด์หนัก และกากน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลงมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิที่มีบทบาทต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของการเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและขนาดเล็ก และได้รับอิทธิพลจากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนไฮโดรเจนและเกิดการจัดโครงสร้างให้มีขนาดเหมาะสม ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางเกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนและจัดโครงสร้างที่เหมาะสมไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สโซลีน และเคโรซีนได้ นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนนอกจากจะเกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (hydrocracking) และการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) แล้ว ยังมีส่วนช่วยในการทำความสะอาดผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาลดเวลาการเสื่อมสภาพลง โดยที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 44.78 และที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนน้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลของสารตั้งต้นสูง ทำให้สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ในเวลาอันสั้น มีโอกาสได้รับการถ่ายโอนความร้อนได้น้อย จึงได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิน้อยทำให้การแตกตัวได้โมเลกุลขนาดใหญ่ และไม่เหมาะสมที่จะเกิดการแตกตัวต่อไปเป็นแก๊สโซลีนได้

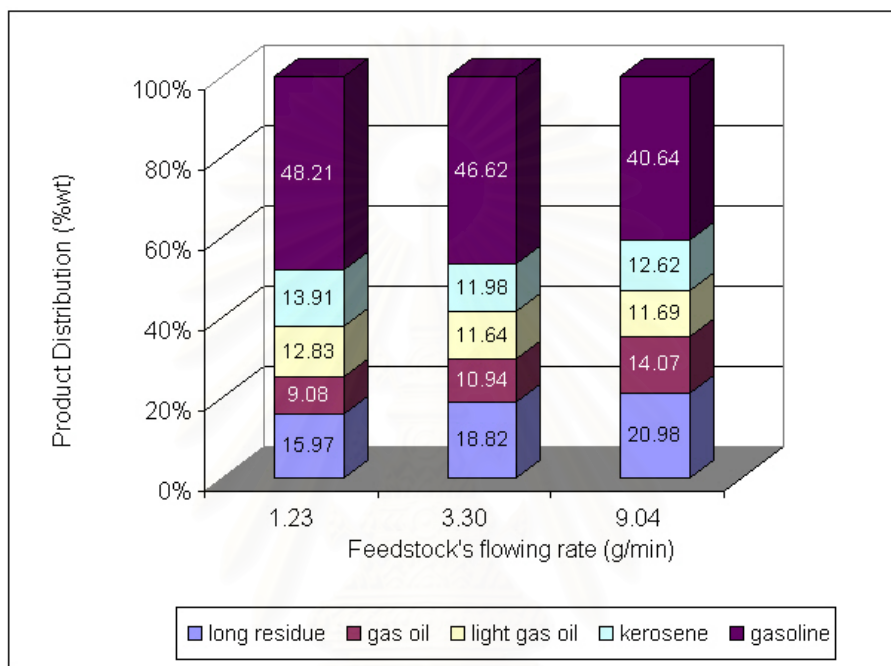
ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่นและพลาสติกใช้แล้วที่อัตราการไหล 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

การทดลองที่ภาวะอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สโซลีน เคโรซีน ที่มีแนวโน้มลดลง และรวมถึงให้ปริมาณแก๊สออกยล์หนัก และกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากบทบาทของอุณหภูมิที่มีต่อการส่งเสริมการแตกตัวด้วยความร้อน ทำให้ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวโมเลกุลขนาดเล็กคือ แก๊สโซลีน เคโรซีน โดยที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่มากที่สุดคือร้อยละ 51.18 และอัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่น้อยที่สุด เนื่องจากเวลาที่สารตั้งต้นเกิดการถ่ายโอนความร้อนที่ผิวเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อย ทำให้ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิในการการแตกตัวด้วยความร้อนน้อย โครงสร้างสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนจึงยังมีขนาดใหญ่ การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนจึงไม่เพียงพอที่จะช่วยให้โครงสร้างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลง

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพีช น้ำมันเครื่อง และพอลิพรอพิลีนใช้แล้วที่อัตราการไหล 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-26 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23, 3.30 และ 9.04 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน เคโรซีน แก๊สออยล์หนัก และกากน้ำมันหนักที่ลดลง เนื่องจากเป็นภาวะอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่แล้วเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนได้ดีจึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่คือ แก๊สออยล์หนัก กากน้ำมันที่น้อยลงในการทดลองทุกอัตราไหล ซึ่งพออธิบายได้จากผลของอุณหภูมิสูง ทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดได้รวดเร็วและมีบทบาทมากกว่าการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะเกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กโดยอิทธิพลของความร้อนที่ยังดำเนินอย่างต่อเนื่องทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กแตกตัวต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นที่อัตรา

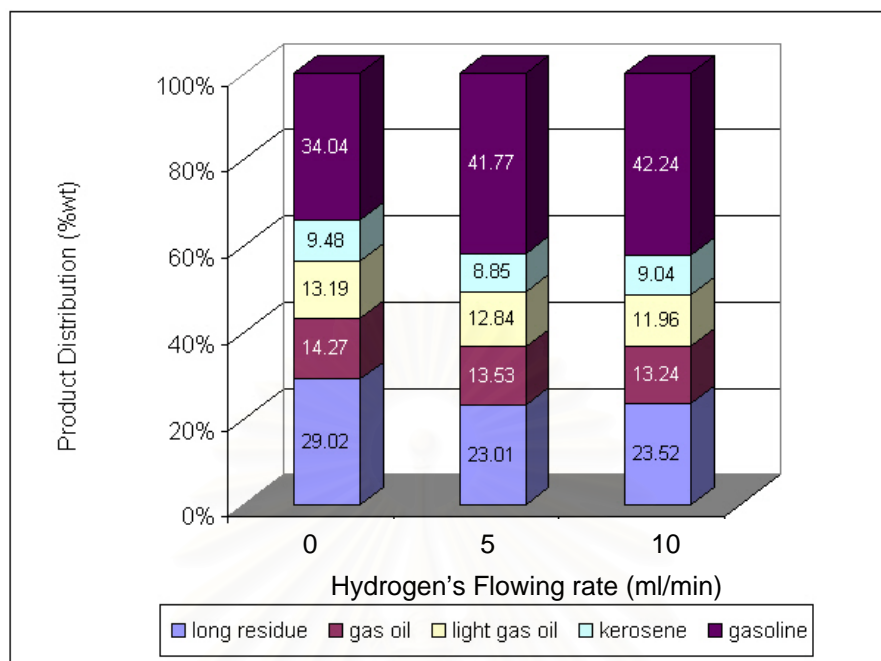
การไหลต่ำๆ ทำให้เวลาการสัมผัสแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากความร้อนทำให้เกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก แต่หากอัตราการไหลสูงขึ้นจึงมีโอกาสดังกล่าวที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนน้อยลงเกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง จากนั้นบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จึงเข้ามาช่วยในการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนที่ผิวและบริเวณ active site เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวและจัดโครงสร้างที่เหมาะสมของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเหล่านั้นได้เป็นแก๊สโซลีน และเคโรซีนต่อไป ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สโซลีน และเคโรซีนมีแนวโน้มลดลง โดยที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนที่มากที่สุดคือร้อยละ 48.21

4.7.3 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

จากผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้น เห็นได้ว่า อุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตั้งต้นมีความสัมพันธ์ต่อการแตกตัวของน้ำมันและพอลิพรอพิลีนใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวและเมื่อนำไปวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดพบว่า ที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ อัตราการไหลสูง และอุณหภูมิสูง อัตราการไหลต่ำ ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันด้วย ในการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน จึงเลือกที่จะศึกษาอิทธิพลของแก๊สไฮโดรเจนที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ อัตราการไหลสูง และ อุณหภูมิสูง อัตราการไหลต่ำ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ตัวแทนของตัวแปรอุณหภูมิ และ อัตราการไหลของสารตั้งต้น ด้วย

อิทธิพลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

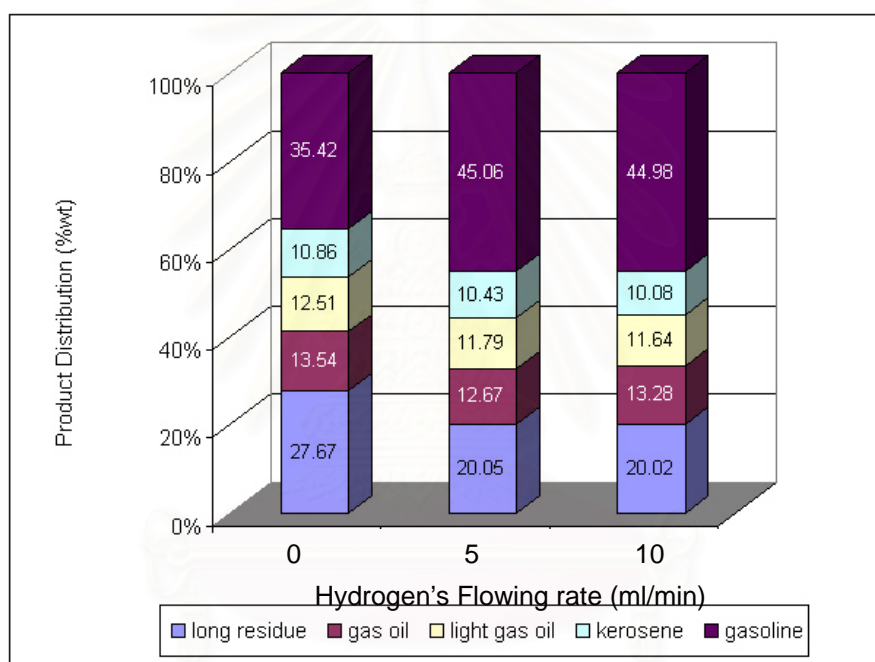


รูปที่ 4-27 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัม ต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัม ต่อนาที เมื่อให้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย แก๊สไฮโดรเจน เคโรซีน ในปริมาณน้อย ขณะที่ปริมาณแก๊สออกซิเจนหนัก และกากน้ำมันหนักในปริมาณมาก และพบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาจนถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที โดยพออธิบายได้จากการที่เกิดปฏิกิริยาในภาวะอุณหภูมิต่ำ น้ำมันพืชและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนได้ไม่ดี จึงมีไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากคือ แก๊สออกซิเจนหนัก กากน้ำมัน เป็นจำนวนมาก การเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ทำให้เกิดการถ่านไฮโดรเจนได้แต่ไม่ช่วยให้เกิดการจัดโครงสร้างให้มีขนาดที่เหมาะสมเกิดการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้น้อย ทำให้ได้ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในปริมาณเล็กน้อยคือ แก๊สไฮโดรเจน และเคโรซีน พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ร้อยละของแก๊สไฮโดรเจนที่ 42.24 % แต่เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่ามีปริมาณร้อยละของแก๊สไฮโดรเจนต่ำกว่า

มาก ซึ่งมีสาเหตุจากการไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนร่วม ทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวและเติมด้วยไฮโดรเจนเกิดได้ไม่ดี นอกจากนี้มีสาเหตุจากการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากที่อัตราการไหลต่ำ ทำให้สารป้อนเข้าและตัวเร่งปฏิกิริยาได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่ถ่ายโอนจากผิวเครื่องปฏิกรณ์ จึงเกิดโค้กที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและเสื่อมสภาพเร็ว

อิทธิพลของของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-28

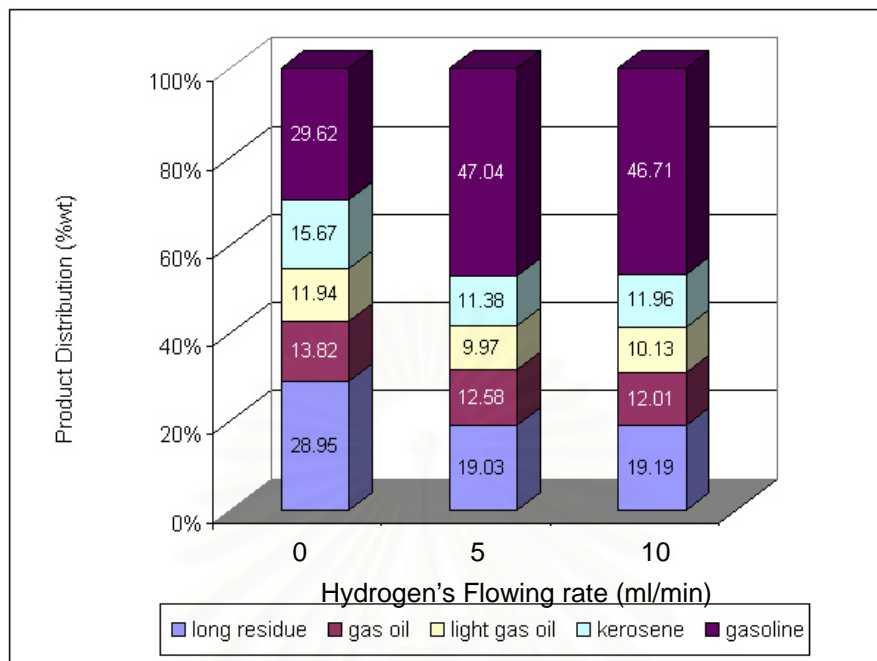


รูปที่ 4-28 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที เมื่อให้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยแก๊สไซลีน เครอซีน ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยมีแก๊สออกไซด์ และกากน้ำมันเล็กน้อย เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิซึ่งมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนในช่วงแรกและผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ทำให้เกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและจัดโครงสร้างให้มีขนาดเหมาะสมไปเป็นแก๊สไซลีน และเครอซีนได้ดีขึ้น พบว่าที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้อัตราของแก๊สไซลีนและเครอซีนไม่แตกต่างกันมาก แต่มีปริมาณของแก๊สไซลีนสูงกว่าการไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเลย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและเติมไฮโดรเจนทำให้เกิดความอิ่มตัวแล้วเกิดการจัดโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก โดยการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้ขึ้นกับการที่มีแก๊สไฮโดรเจนในระบบ เพียงแต่การมีแก๊สไฮโดรเจนมีส่วนช่วยทำความสะอาดผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและลดการเสื่อมสภาพทำให้แลกเปลี่ยนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น โดยที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สไซลีนที่มากที่สุดคือร้อยละ 45.06 แต่ให้ผลไม่แตกต่างจากการให้อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาทีมากนัก

อิทธิพลของของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

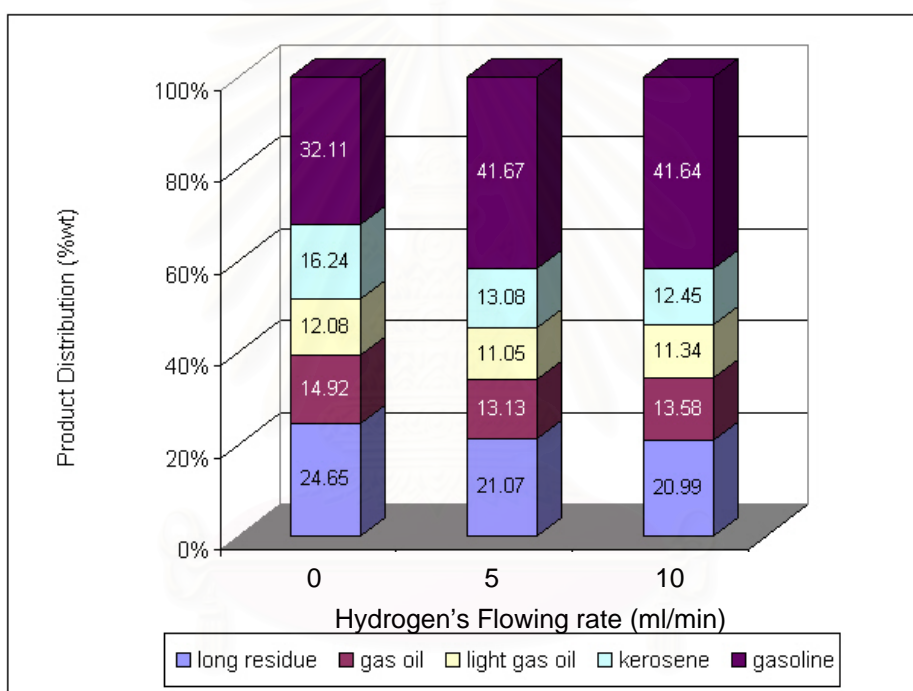


รูปที่ 4-29 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัม ต่อนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัม ต่อนาที เมื่อให้อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยแก๊สโซลีน เคโรซีน ในปริมาณที่สูงขึ้น โดยมีแก๊สออยล์ และกากน้ำมันเล็กน้อย และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อิทธิพลของอุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันและพอลิพรอพิลีนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดกลาง และได้รับอิทธิพลจากความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาแตกตัวต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สโซลีน และเคโรซีน ในขณะที่องค์ประกอบที่เป็น แก๊สออยล์ และกากน้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปริมาณมากที่สุดร้อยละ 47.04 และไม่แตกต่างแม้ว่าจะให้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าร้อยละของแก๊สโซลีนสูงกว่าการไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดโค้กที่ผิวของตัวเร่ง

ปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพลงไม่สามารถถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวได้ดี มีพื้นที่รูพรุนลดลง จึงเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้ไม่ดี ดังนั้นในระบบที่มีแก๊สไฮโดรเจนร่วม จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนส่วนหนึ่ง และช่วยทำความสะอาดผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกส่วนหนึ่งด้วย

อิทธิพลของของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0 – 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4-30



รูปที่ 4-30 ผลของอัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจนต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่ออนาที

พบว่าในการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่ออนาที เมื่อให้อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 0-10 มิลลิลิตรต่ออนาที จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย แก๊สโซลีน เคโรซีน แก๊สออยล์ และกากน้ำมัน ในปริมาณที่มีแนวโน้มลดลง และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันแม้ว่าเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาจนถึง 10

มิลลิลิตรต่ออนาที เนื่องจากที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวของน้ำมันและพอลิพรอพิลีนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดเล็กแล้ว ในขณะที่ยังได้รับอิทธิพลจากความร้อนแตกตัวต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กแต่อิทธิพลของอุณหภูมิทำให้การแตกตัวด้วยความร้อนอย่างรุนแรงได้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ๆ แม้ว่าที่อัตราการไหลสูงจะทำให้สารตั้งต้นสัมผัสกับผิวเครื่องปฏิกรณ์ต่อหน่วยพื้นที่ไม่มาก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนเร็วกว่าการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดเล็กและเมื่อยังเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ต่อไปทำให้โมเลกุลขนาดเล็กเหล่านั้นแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน และภาวะที่อุณหภูมิสูงมากทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดโค้กทำให้พื้นที่ผิวลดลง ไม่สามารถช่วยในการถ่ายโอนไฮโดรเจน ซึ่งผลของเกิดเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วทำให้การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงไม่ค่อยมีบทบาท จึงพบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่ออนาที ที่อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่ออนาที ให้อัตราของแก๊สโซลีนและเคโรซีนที่ไม่แตกต่างกันมากและมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากบทบาทของอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากอิทธิพลของแก๊สไฮโดรเจน พบว่า อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนไม่มีผลมากนักต่อการเปลี่ยนน้ำมันและพอลิพรอพิลีนใช้แล้วให้เป็นแก๊สโซลีนมากนัก แต่พบว่าในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แก๊สไฮโดรเจนจะมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (hydrocracking) ซึ่งพบว่าให้องค์ประกอบของแก๊สโซลีนสูงกว่าปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

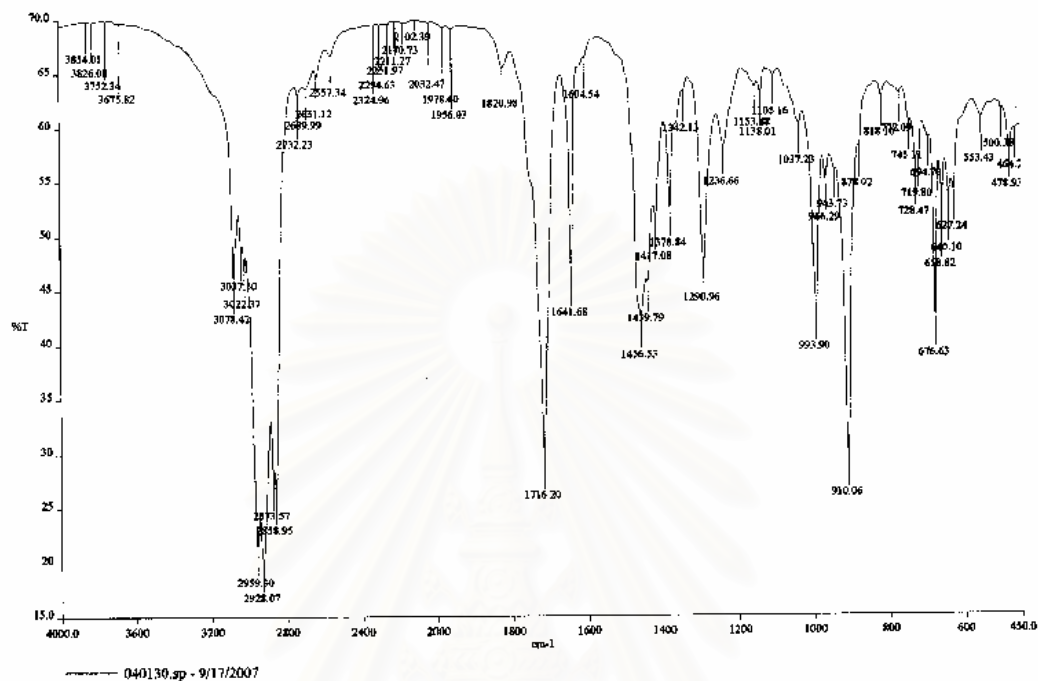
4.8 วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

วิเคราะห์หาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องหาค่าความหนืด และคำนวณค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพีซีใช้แล้วมีความหนืดเท่ากับ 52.86 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีความหนืด 136.57 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 : 0.10 : 0.20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่ออนาที มีค่าความหนืดเท่ากับ 2.14 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่าการที่ความหนืดลดลงเนื่องมาจากการที่เติมพอลิพรอพิลีนมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูง เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ไปเป็นโมเลกุล

ขนาดเล็ก โดยเฉพาะโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่แบบหลวม ๆ มีโอกาสแตกตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิไม่สูงมาก แต่ในการทำปฏิกิริยาทำที่อุณหภูมิต่ำเกินไปก็ไม่สามารถทำให้น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่สามารถแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ ดังนั้นการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพอลิพรอพิลีนเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อนและโครงสร้างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมีการเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ สามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่ายกว่าน้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจึงทำให้มีความหนืดที่ลดลง

4.9 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง

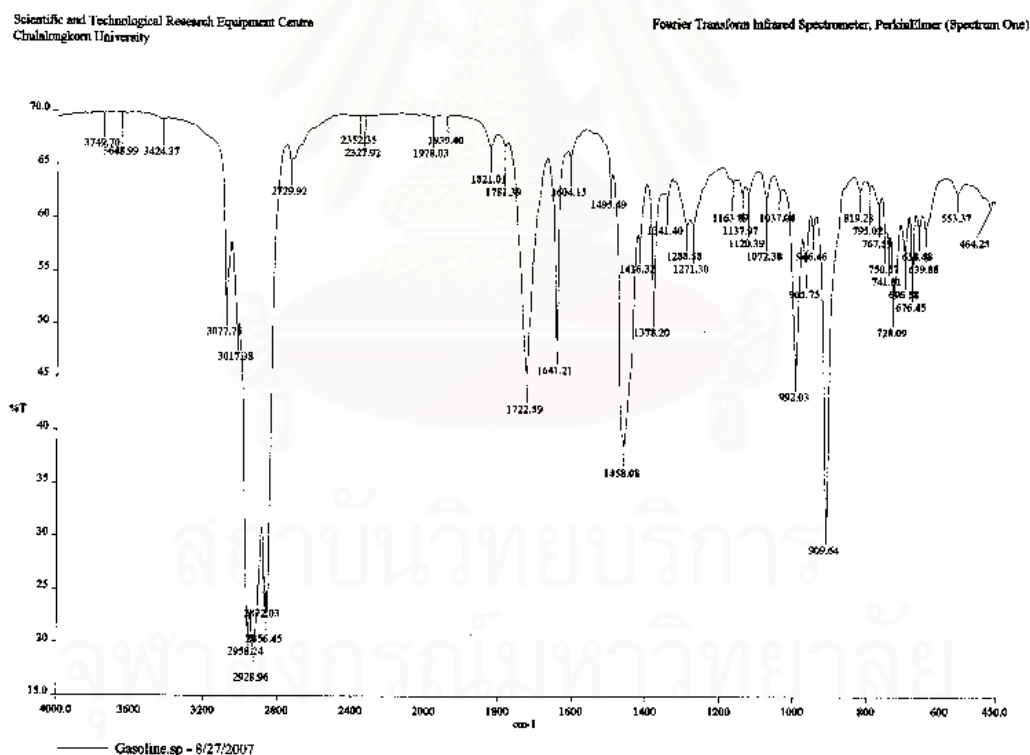
การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.2 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมาก และผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงความเป็นอะโรมาติก (Aromatic compound) ดังแสดงในรูปที่ 4-31 จะเห็นพีกที่เห็นได้ชัดเจนที่ 1600 และ 1500 cm^{-1} ของพันธะคู่ของ C=C ในอะโรมาติก พีกที่ 1700 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (carbonyl group) พีกที่ 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 ในอะโรมาติกด้วย แสดงว่าน้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วใช้แล้วเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก ๆ ซึ่งการเพิ่มพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนไม่ใหญ่มาก และไม่ซับซ้อน แตกตัวได้ง่าย มีส่วนช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีขนาดเล็กลงดังจะพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเป็นเมทิล (methyl group) เกิดขึ้น ส่วนความเป็นอะโรมาติกเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนทำให้ได้สารประกอบอะโรมาติก



รูปที่ 4-31 FT-IR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

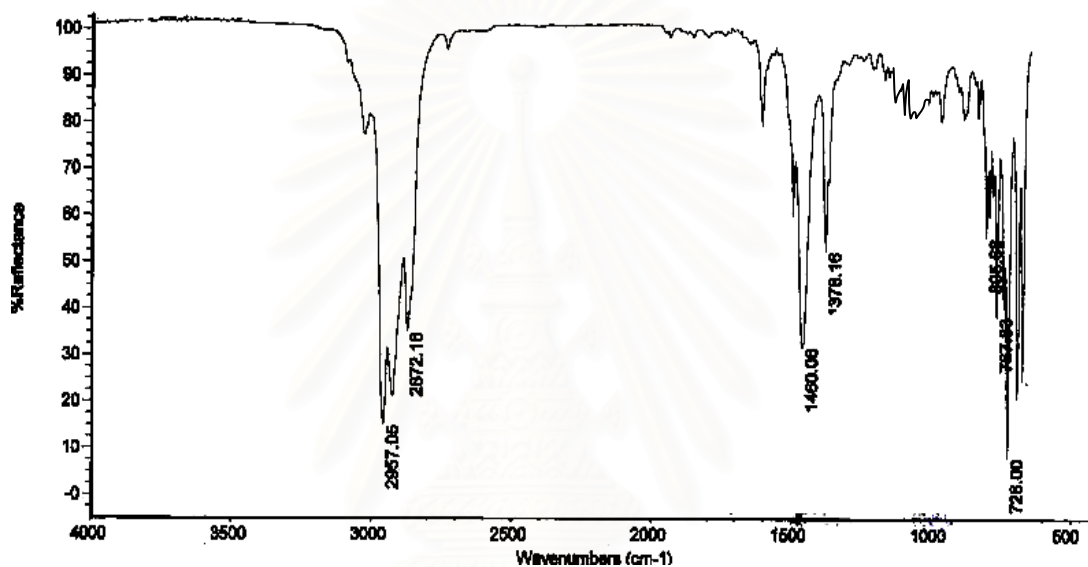
ในขณะที่ผลิตภัณฑ์น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของน้ำมันพีซีใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็นวงแอโรแมติก (aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมาก และผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงความเป็นแอโรแมติก (Aromatic compound) ดังแสดงในรูปที่ 4-32 จะเห็นพีกที่เห็นได้ชัดเจนที่ 1600 และ 1500 cm^{-1} ของพันธะคู่ของ C=C ในแอโรแมติก พีกที่ 1700 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนิล (carbonyl group) พีกที่ 1495 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของเมทิลีน (methylene group) และ 1400 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันของเมทิล (methyl

group) ส่วนพีกที่เห็นชัดเจนที่ $900\text{ cm}^{-1} - 690\text{ cm}^{-1}$ ของวงแหวนเบนซีน พีกที่ 2900 cm^{-1} ของ C - H (stretching) ส่วนที่ 3000 cm^{-1} และ 3100 cm^{-1} ของ = CH ในแอโรแมติกด้วย แสดงว่า น้ำมันพืช และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วใช้แล้วเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก ๆ รวมถึงการเพิ่มพอลิพรอพิลีนซึ่งมีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนไม่ใหญ่มาก และไม่ซับซ้อน แตกตัวได้ง่าย มีส่วนช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีขนาดเล็กลงดังจะพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเป็นเมทิล (methyl group) เกิดขึ้น ส่วนความเป็นแอโรแมติกเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนทำให้ได้สารประกอบแอโรแมติก โดยผลของตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีขนาดเล็กลงและปรับเปลี่ยนโครงสร้างหรือจัดรูปใหม่ให้เหมาะสมมีลักษณะและความเป็นแอโรมาติกเกิดขึ้นจากผลของการถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4-32 FT-IR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วน 0.70 ต่อ 0.10 ต่อ 0.20 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อนำน้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 มาทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็นวงแโรแมติก (aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมากจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 ไมเลกุล และแสดงมีความเป็นแโรแมติก (Aromatic compound) ดังแสดงในรูปที่ 4-32 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายกัน



รูปที่ 4-33 FT-IR Spectrum ของน้ำมันเบนซินออกเทน 95

4.10 การวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์

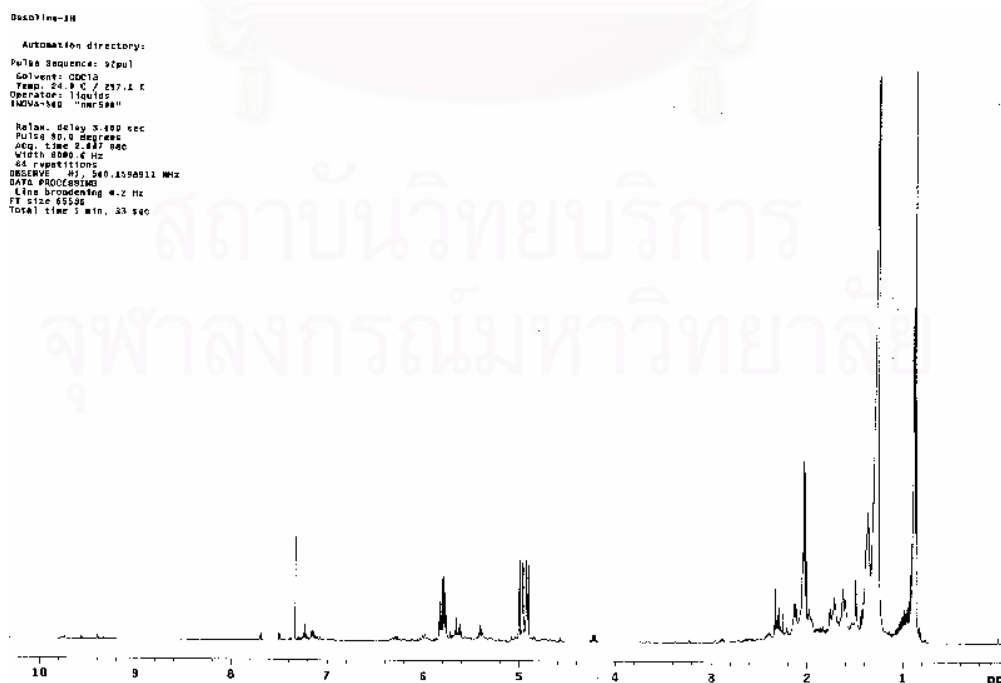
การวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์โดยใช้เทคนิค ^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry ซึ่งเป็น การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนประกอบในแก๊สโซลีนแล้วนำพื้นที่ใต้กราฟของ ^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectrum ในช่วงของ chemical shift ต่าง ๆ มาคำนวณหาปริมาณของแโรมาติก พาราฟินส์ และโอเลฟินส์ และค่าออกเทน แสดงดังตารางที่ 4-12 และ 4-13

ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์

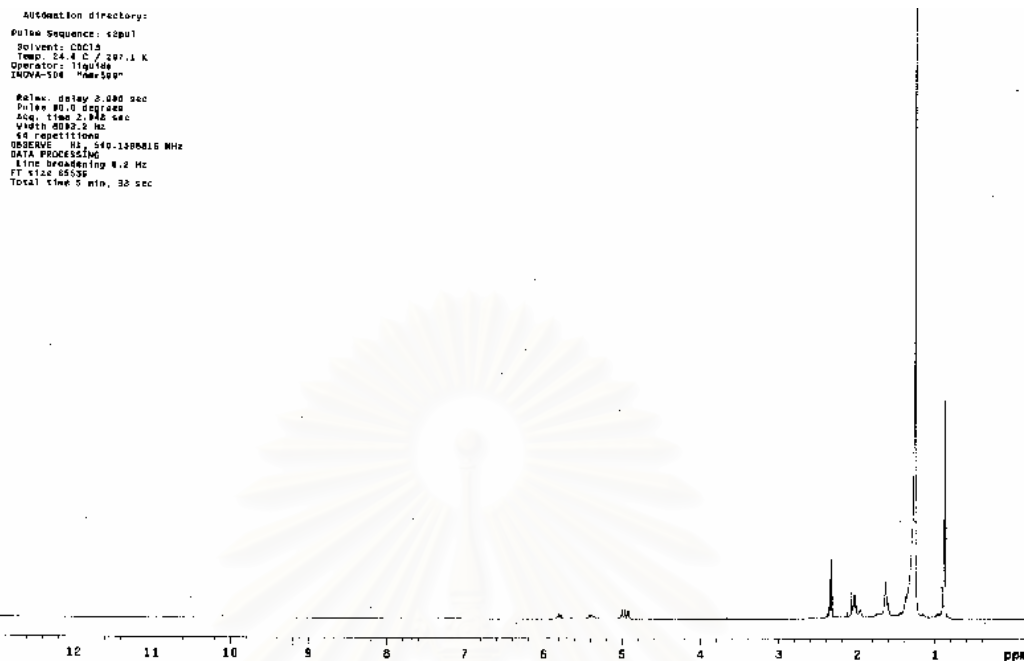
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน (ml/min)	อัตราการไหลสารตั้งต้น (g/min)	ตัวเร่งปฏิกิริยา
TC-G1	550	5	1.23	-
TC-G2	500	5	3.30	5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์
ULG91		น้ำมันเบนซินออกเทน 91		
ULG95		น้ำมันเบนซินออกเทน 95		

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์และน้ำมันเบนซิน

ตัวอย่าง	%aromatic	%paraffins	%olefins	อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน	ดัชนีไอโซพาราฟินส์	RON	MON
TC-G1	7.27	62.74	27.15	0.34	1.76	84.04	74.97
CC-G1	7.50	29.92	59.74	0.81	1.56	88.26	79.71
ULG91	8.85	59.93	13.63	1.15	1.82	91.37	83.18
ULG95	11.61	46.18	20.90	1.33	1.81	93.25	85.24

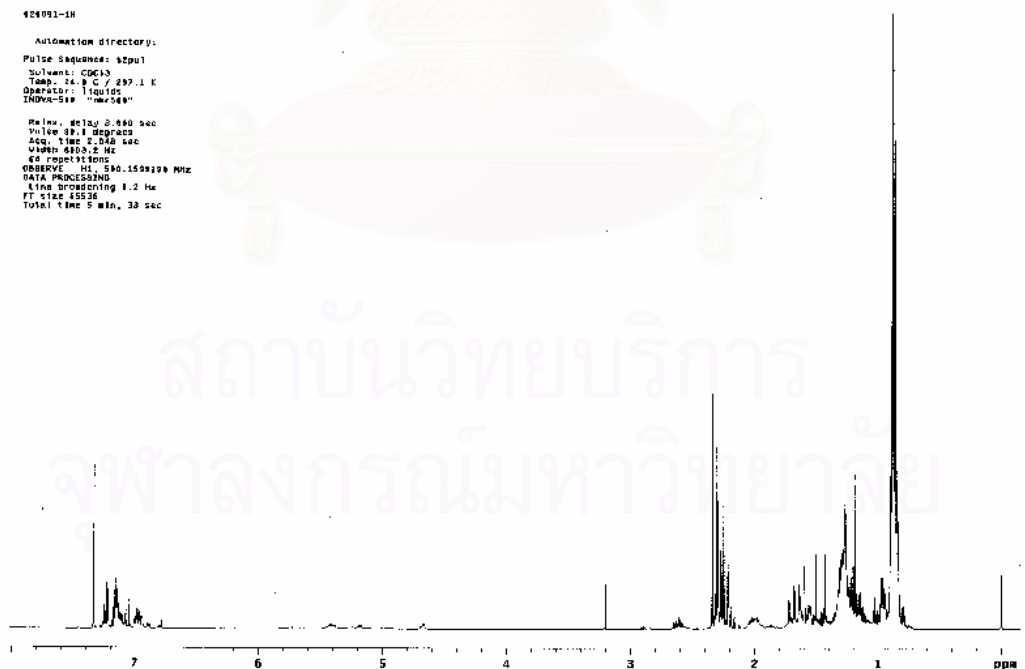


รูปที่ 4-34 ^1H NMR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ TC-G1



00

รูปที่ 4-35 ^1H NMR Spectrum ของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ CC-G2



รูปที่ 4-36 ^1H NMR Spectrum ของน้ำมันเบนซินออกเทน 91

ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์กับค่ามาตรฐานของน้ำมันเบนซินตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

ค่าที่ตรวจวัด	น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์	น้ำมันเบนซิน 91
RON	88.26	91.0
MON	79.71	80.0
ความดันไอที่ 37.8 °C (kPa)	68	62
ปริมาณ aromatics (%vol)	7.50	3.5
ปริมาณ benzene (%vol)	-	35

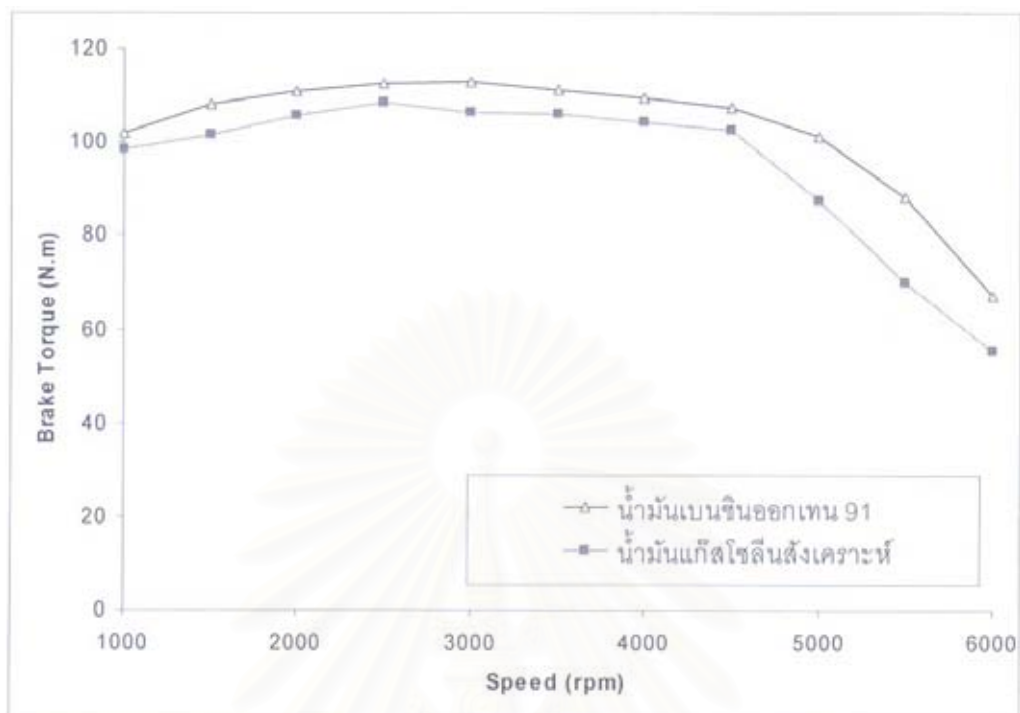
ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ในตัวอย่างที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์พบว่าให้ค่าออกเทนใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณ aromatics ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำมันเบนซิน 91 พอลจะอธิบายได้จากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนและ Active site เกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนร่วมกับปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) ทำให้โครงสร้างของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนมีการจัดเรียงตัวและจัดโครงสร้างให้มีความเป็นแฉะโรแมติกมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนจำเพาะ (Heating value) ด้วยวิธีการตาม ASTM-D5865-01 พบว่าน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ให้ค่าความร้อนจำเพาะ 2680 MJ/kg ในขณะที่น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ให้ค่าความร้อนจำเพาะ 2900 MJ/kg จากการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่มีความใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินได้

4.11 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91

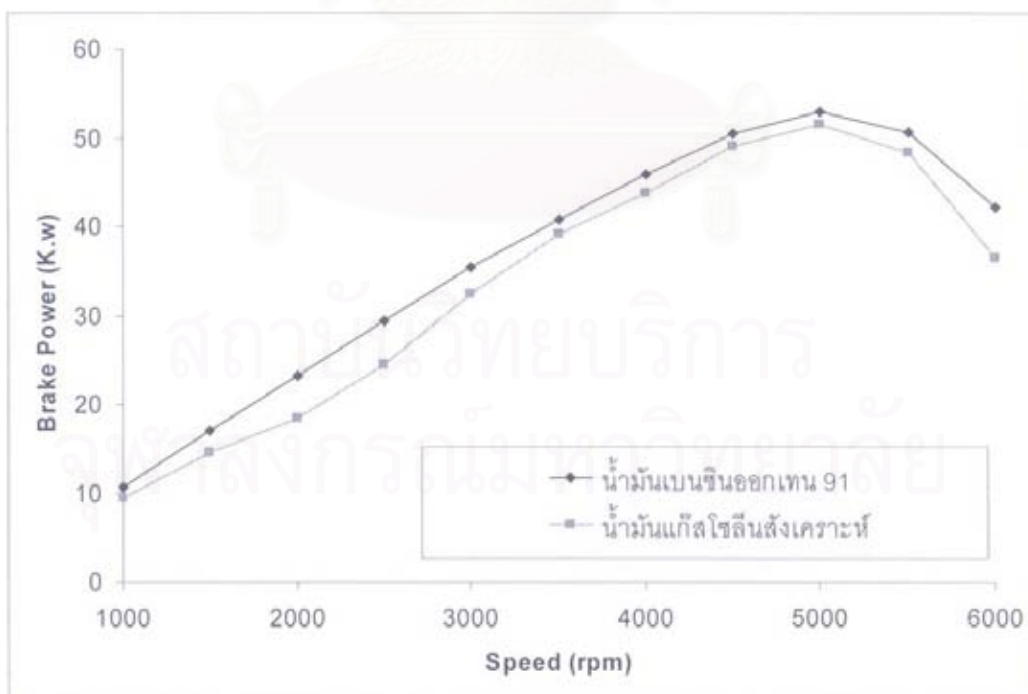
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะที่เครื่องยนต์ทำงานเต็มกำลัง หรือ มีกำลังขาออกมากที่สุดโดยที่ยังไม่เกิดการ flashback หรือ knocking จากเครื่องยนต์ โดยทำการ

ทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินที่ทดสอบแบบลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างสุด (full throttle) ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันเบนซินออกเทน 91 และน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ให้ผลการทดลองประกอบด้วย

4.11.1 แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาจากรูป 4-37 และรูป 4-38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สโซลีนสังเคราะห์ จากรูป 4-37 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์จะให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิงบนเครื่องยนต์ทดสอบ โดยเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิงจะให้ค่าแรงบิดสูงสุดเท่ากับ 113 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบ 2750 รอบต่อนาที ในขณะที่เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์จะให้ค่าแรงบิดสูงสุด 132 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาจากรูป 4-38 จะเห็นว่าเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ให้กำลังสูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ในทุกความเร็วรอบ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 มีค่าเท่ากับ 52.4 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ในขณะที่เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ให้ค่ากำลังสูงสุดเพียง 29.6 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที สาเหตุที่การใช้ น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ให้แรงบิดและค่ากำลังสูงสุดมากกว่าการใช้แก๊สโซลีนสังเคราะห์บนเครื่องยนต์ทดสอบอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลจากการจุดติดไฟ หรือ ความไวไฟของเชื้อเพลิงจาก น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ทำให้จุดติดระเบิดได้ต่ำกว่า

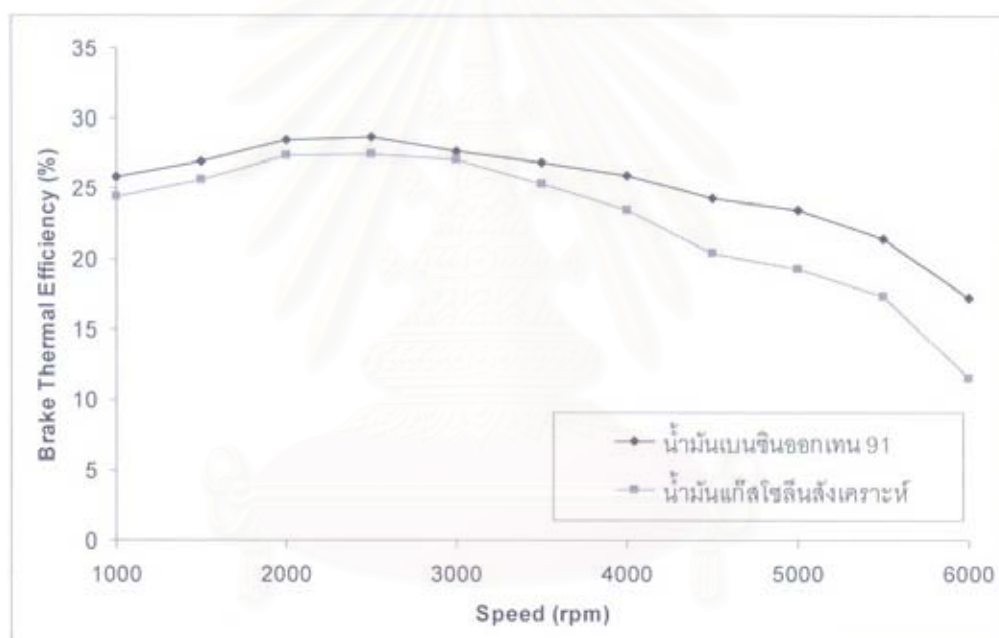


รูปที่ 4-37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ



รูปที่ 4-38 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ

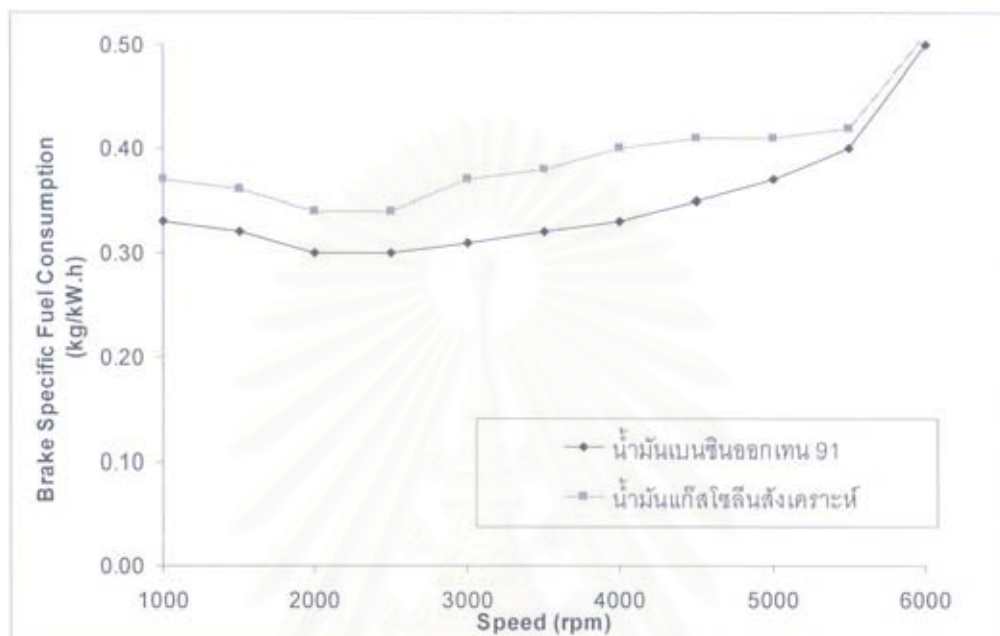
4.11.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณารูปที่ 4-39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 และน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ให้ค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบปานกลางใกล้เคียงกัน โดยเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ 27.49 % ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ซึ่งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แตกต่างกันเมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างกัน พอจะอธิบายได้จากการที่เชื้อเพลิงน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์มีค่าความร้อนสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันเบนซินออกเทน 91 และส่วนหนึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จึงมีค่าต่ำกว่า



รูปที่ 4-39 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็ว

4.11.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณารูปที่ 4-40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบ โดยเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิงบนเครื่องยนต์ทดสอบจะมีค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 0.3 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ในขณะที่เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์มีค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 0.34 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์มีค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหนึ่งหน่วยน้อยกว่าน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ดังนั้นเพื่อให้ได้ความ

รื้อบนเครื่องยนต์ทดสอบที่เท่ากันปริมาณของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์จึงสิ้นเปลืองมากกว่าการใช้ น้ำมันเบนซินออกเทน 91



รูปที่ 4-40 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบ

4.12 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนจากการขับขี่จริง

ทำการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 จากการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ โยติติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำมันสำหรับใช้ทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ECE Test cycle) ซึ่งเป็นการวิ่งที่อัตราเร่ง 0 – 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะทาง 100 เมตรแรกด้วยเกียร์ 1 – 2 และความเร็วคงที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะทาง 200 เมตรต่อมาด้วยเกียร์ 3 และ ความเร็วคงที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะทาง 100 เมตรสุดท้าย รวมระยะทางในการทดสอบ 400 เมตร จับเวลาและวัดปริมาณน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ที่ใช้ไป เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงขณะวิ่งตามโหมด (ECE Test cycle) เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 อยู่ที่ 6.76 กิโลเมตรต่อลิตร ในขณะที่เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์มีอัตราการสิ้นเปลืองที่ 6.65 กิโลเมตรต่อลิตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-15 และ 4-16

ตารางที่ 4-15 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ขณะวิ่งตามโหมด (ECE-Test cycle)

ครั้งที่	เริ่มต้น (cc.)	น้ำมันเหลือ (cc.)	ใช้สุทธิ (cc.)	เวลา (sec)	อัตราสิ้นเปลือง (cc./sec)
1	150.0	118.5	31.5	27.78	1.13
2	150.0	123.0	27.0	28.90	0.93
3	150.0	129.0	21.0	23.50	0.89
4	150.0	120.0	30.0	24.20	1.24
5	150.0	117.0	33.0	26.60	1.24
6	150.0	118.5	31.5	25.10	1.25
7	150.0	115.5	34.5	25.70	1.34
8	150.0	124.5	25.5	25.00	1.02
9	150.0	112.5	37.5	24.68	1.52
10	150.0	117.0	33.0	25.90	1.27
11	150.0	112.5	37.5	26.34	1.42
12	150.0	114.0	36.0	24.73	1.46
13	150.0	117.0	33.0	25.13	1.31
14	150.0	121.5	28.5	25.67	1.11
15	150.0	117.0	33.0	24.84	1.33

ตารางที่ 4-16 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ ขณะวิ่งตามโหมด (ECE-Test cycle)

ครั้งที่	เริ่มต้น (cc.)	น้ำมันเหลือ (cc.)	ใช้สุทธิ (cc.)	เวลา (sec)	อัตราสิ้นเปลือง (cc./sec)
1	150.0	117.5	32.5	28.40	1.14
2	150.0	118.0	32.0	24.60	1.30
3	150.0	117.5	32.5	28.25	1.15
4	150.0	116.5	33.5	29.40	1.14
5	150.0	117.0	33.0	27.00	1.22
6	150.0	111.0	39.0	29.50	1.32
7	150.0	116.0	34.0	27.90	1.22
8	150.0	118.0	32.0	25.50	1.25
9	150.0	114.0	36.0	27.80	1.29
10	150.0	121.0	29.0	24.00	1.21
11	150.0	119.0	31.0	25.10	1.24
12	150.0	117.0	33.0	26.80	1.23
13	150.0	118.5	31.5	26.00	1.21
14	150.0	119.0	31.0	24.60	1.26
15	150.0	118.0	32.0	26.50	1.21

ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 และน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ขณะวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (เกียร์ 2) อยู่ที่ 6.48 กิโลเมตรต่อลิตร และ 6.29 กิโลเมตรต่อลิตรตามลำดับ ที่ความเร็วคงที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (เกียร์ 3) อยู่ที่ 9.12 กิโลเมตรต่อลิตร และ 8.55 กิโลเมตรต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความเร็วคงที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (เกียร์ 3) อยู่ที่ 8.64 กิโลเมตรต่อลิตร และ 8.49 กิโลเมตรต่อลิตร ตามลำดับ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราเร็วคงที่ ณ เกียร์ต่าง ๆ

ครั้งที่	น้ำมันเบนซินออกเทน 91			น้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์		
	น้ำมันที่ใช้ไป (cc.)	เวลา (sec)	อัตรา สิ้นเปลือง (cc./sec)	น้ำมันที่ใช้ไป (cc.)	เวลา (sec)	อัตรา สิ้นเปลือง (cc./sec)
ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่เกียร์ 2						
1	25.5	28.0	0.91	24.0	27.4	0.88
2	19.5	27.0	0.72	22.5	26.5	0.85
3	21.0	27.0	0.78	27.0	27.3	0.99
4	25.5	26.8	0.95	24.0	26.0	0.92
5	25.5	27.5	0.93	21.0	27.0	0.78
เฉลี่ย	23.4	27.3	0.86	23.7	26.8	0.88
ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่เกียร์ 3						
1	16.5	23.7	0.70	21.0	24.0	0.88
2	21.0	24.3	0.86	22.5	24.7	0.91
3	21.0	26.4	0.80	21.0	24.6	0.85
4	19.5	24.0	0.81	24.0	24.7	0.97
5	33.0	23.6	1.40	30.0	23.8	1.26
เฉลี่ย	22.2	24.4	0.91	23.7	24.4	0.97
ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่เกียร์ 3						
1	27.0	20.8	1.30	25.5	20.7	1.23
2	25.5	20.5	1.24	24.2	20.4	1.19
3	27.0	18.7	1.44	26.0	19.6	1.33
4	25.9	19.2	1.35	25.5	19.8	1.29
5	22.3	20.3	1.09	28.5	18.9	1.51
เฉลี่ย	25.5	19.9	1.29	25.9	19.9	1.31

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบน ถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกโลหะ-กรด มีประสิทธิภาพในการแตกตัวของโมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนและมีราคาถูก สามารถเตรียมได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ และไม่ต้องกังวลเรื่องการนำ กลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา (regenerate) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์ แบบต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การแตกโมเลกุลของน้ำมันพีชและพลาสติกจะใช้ อุณหภูมิไม่สูงมาก แต่การแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว นั้นจำเป็นต้องทำ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวของสารป้อนเข้าซึ่งประกอบด้วยน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้วเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยเมื่อนำไปกลั่นแล้วจะได้สารประกอบ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซิน โดยตัวแปรที่ศึกษานั้นประกอบไปด้วย อุณหภูมิ อัตราการ ไหลของสารป้อนเข้า อัตราการไหลแก๊สไฮโดรเจน และผลของการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลง สามารถนำไป วิเคราะห์ในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว และทำการวิเคราะห์ของเหลวในเชิง คุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมา โทกราฟี (Simulated Distillation Gas Chromatography) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปกลั่น ลำดับส่วนตามคาบจุดเดือดในช่วง IBP – 200 องศาเซลเซียส จะให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงการ ประมาณอย่างหยาบของการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งในผลเป็นแก๊สโซลีนที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมัน เบนซินออกเทน 91 นำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อน ค่าออกเทน และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 นอกจากนี้ก็นำน้ำมันแก๊สโซลีนดังกล่าวไปทดสอบกับ เครื่องยนต์ทดสอบและนำไปใช้ทดสอบสำหรับเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะใน การขับที่จริง

ผลการทดลองสามารถสรุปถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนและเคโรซีนของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน คือ อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารตั้งต้น

2. สภาวะที่เหมาะสมในการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนที่ให้แนวโน้มของการกระจายตัวผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิ	550	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	1.23	กรัมต่อนาที

ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน	ร้อยละ	37.25
ร้อยละผลได้ของเคโรซีน	ร้อยละ	13.00
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ	13.35
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ	11.85
ร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน	ร้อยละ	24.55

3. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนและเคโรซีนของการแตกตัวด้วยความร้อนปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีน คือ อุณหภูมิ อัตราการไหล

4. สภาวะที่เหมาะสมในการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนของการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ของน้ำมันพีช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพอลิพรอพิลีนที่ให้แนวโน้มของการกระจายตัวผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิ	550	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	1.23	กรัมต่อนาที

ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีน	ร้อยละ	50.95
ร้อยละผลได้ของเคโรซีน	ร้อยละ	10.38

ร้อยละผลได้ของแก๊สออกไซด์ชนิดเบา	ร้อยละ	10.76
ร้อยละผลได้ของแก๊สออกไซด์ชนิดหนัก	ร้อยละ	10.92
ร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน	ร้อยละ	16.99

5. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าให้ร้อยละของแก๊สโซลีนและเคโรซีนได้สูงกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่ามีกากน้ำมันคงเหลือน้อยกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวและการถ่ายโอนไฮโดรเจนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้โมเลกุลจำพวกแก๊สโซลีนและเคโรซีน มากขึ้น แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบจะทำให้เกิดปัญหาต่อเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำให้ท่อเหล็กกล้าเกิดการผุกร่อนและชำรุดได้ง่าย เนื่องจากความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยารวมถึงการสะสมของโค้กที่เผาไหม้เคลือบภายในท่อเหล็กกล้าทำให้ท่อเหล็กกล้าแคบลง และเกิดการอุดตันของการป้อนเข้าสารตั้งต้นได้ไม่สะดวก

6. การใช้แก๊สไฮโดรเจนร่วมในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงไปแก๊สโซลีน และเคโรซีน แต่ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าแก๊สไฮโดรเจนจะช่วยส่งเสริมการถ่ายโอนไฮโดรเจนและลดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพบว่าให้องค์ประกอบที่เป็นแก๊สโซลีนและเคโรซีนมากกว่าระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่การเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อองค์ประกอบของแก๊สโซลีนและเคโรซีน

7. การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันแก๊สโซลีนสังเคราะห์ให้สมบัติใกล้เคียงน้ำมันเบนซินออกเทน 91 โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าออกเทนด้วยวิธีการ $1H$ NMR และนำไปคำนวณผลจะให้ค่าออกเทน 88 เมื่อวิเคราะห์สมรรถนะของการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินนั้นพบว่า มีประสิทธิภาพต่ำกว่าน้ำมันเบนซินออกเทน 91 รวมทั้งการที่ยังมีความเป็นแอโรมาติกต่ำกว่าและมีความไม่อิ่มตัวสูง ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมด

5.2 ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยระดับต่อไป

1. พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อขยายกำลังการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น โดยผู้วิจัยเห็นว่าการควบคุมอัตราการไหลจำเป็นต้องมีปั๊มเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้คงที่และสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถศึกษาอัตราการป้อนเข้าของสารตั้งต้นได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าเป็นระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ ระบบที่ใช้อุณหภูมิสูง จะเกิดโค้กที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ทำให้เกิดการไหลของสารตั้งต้นไม่ดี ผู้วิจัยเห็นว่า จำเป็นต้องมีการขยายขนาดของท่อสแตนเลสที่ใช้ทำ

เครื่องปฏิกรณ์จากเดิม 3/8 นิ้ว ให้ใหญ่ขึ้นและจำเป็นต้องมีการออกแบบและคำนวณอัตราการป้อนเข้าที่เหมาะสมของสารป้อนเข้าต่อไป รวมถึงการศึกษาจลนพลศาสตร์เพื่อยืนยันปฏิบัติการแตกตัวของสารป้อนเข้าว่าเป็นปฏิกิริยาลำดับใดเพื่อใช้ประโยชน์ในการขยายส่วนเครื่องปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ หรือ ใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

2. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น ๆ ที่เหมาะสมโดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์ได้เอง และราคาไม่แพง รวมถึงวิธีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

Available from : <http://www.doeb.go.th/dbd/data-stat/stat.html> [2005, February 9]

Available : from <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter7/t24-7-11.htm>

ปิโตรเลียมและการผลิต สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนเล่มที่ 25 (Thailand Junior Encyclopedia Project)

Gary J.H., Handwerk G.H.(1975) Petroleum of Refining:Technology and Economics.

New York: Marcel Dekker.

Myers. M.E., J.Stollsteimer and A.M. Wims. (1975). Determination of hydrocarbon-type

Distribution and hydrogen/carbon ratio of gasoline by nuclear magnetic

Resonance spectrometry. Anal Chem. 47 : 2010-2015.

Myers. M.E., J.Stollsteimer and A.M. Wims. (1975). Determination of gasoline octane

numbers from chemical composition. Anal Chem. 47 : 2301-2304.

Gary J.H., Handwerk G.H.(1984) Catalytic Hydrocracking and Hydroprocessing.

New York:Marcel Dekker.

Kenneth H.C. (1989) Recycling Chemistry & Industry. 14 : 440-442.

Chaeles N. Satterfield. (1991) Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice (2nd ed.)

USA : McGraw-Hill.

Harold H. Schobert.(1991) The Chemistry of Hydrocarbon fuel. New York.

Mackey G.A.,Westphal R.C.(1992) Plastic Recycling. New York. Hanser Publisher.

R.J. Ehrig. (1992) Plastic Recycling Product and Process. New York

American Societies for Testing Material. (1993) Standard Test Method for Boiling Range

Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography. Annual book of

ASTM Standards.

Ali, Y.; and Hanna, M. A. (1994) Alternative diesel fuel from vegetable oils. Bioresource

Technology 50: 153 - 163.

American Societies for Testing Material (1994) American Societies for Testing Material

D388. Classification of Coal by Rank. Annual book of ASTM Standards.

- Division of Fuel, Ministry of Commerce.(1994) Monthly Report. Thailand
- Badal, C. S., ed. and Woodward, J., ed. (1996) Fuel and chemical from biomass.
Washington: ACS Publication Division.
- Feldman D., Barbalata A.(1996) Synthetic polymer. London: Chapman & Hall.
- John D. Adjaye, Sai P.R.Katikaneni and Narendra N. Bakhshi. (1996) Catalytic conversion of biofuel to hydrocarbons : effect of mixtures of HZSM-5 and silica-alumina catalysts on product distribution. *Fuel Processing Technology* .
48: 115-143.
- Moore, Edward P.Jr.(1996) Polypropylene Handbook. Munich : Hanser.
- Sai P.R. Katikaneni, Jonh D. Adjaye, Raphael O. Idem and Narendra N. Bakhshi. (1996) Catalytic Conversion of Canola Oil over Potassium-Impregnated HZSM-5 Catalysts : C2-C4 olefin Production and Model Reaction Studies. *Ind. Eng. Chem. Res.* 35 : 3332-3346.
- Y.S Prasad, N.N. Bakshishi, J.F.Mathews and R.L. Eager. (1996) Catalytic Conversion of Canola Oil to Fuels and Chemical Feedstocks Part I. Effect of Process Conditions on the Performance of HZSM-5 Catalyst *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 64 : 278-284.
- Farouq A. Twaiq, Noor A.M. Zabidi, and Subhash Bhatia. (1999) Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbons : Performance of Various Zeolite Catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.* 38 : 3230 – 3237.
- Ma, F.; and Hanna M. A. (1999) Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology* 70: 1 - 15.
- Wang L. Y., Jong S. P., Heon J., Ho T. L., Deuk K. L. (1999) Optimization of pyrolytic coprocessing of waste plastics and waste motor oil into fuel oils using statistical pentagonal experimental design. *Fuel* 78: 809 – 813.
- Kittiroungtong T., (2000) Coprocessing of polypropylene and lignite using iron on active carbon from plam-oil shell. Master's Thesis, Program of Chemical Technology , Faculty of Science, Chulalongkorn University.

- Srivastava, A.; and Pasad, R.. (2000) Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4: 111-133.
- Douglas C. Montgomery. (2001) Design and Analysis of Experiments (5th ed.) USA : John Wiley& Sons.
- Walendziewski, J., Steininger, M. (2001) Thermal and catalytic conversion of waste polyolefins. *Catalysis* 65: 323-330.
- Ming-Yuan He. (2002) The development of catalytic cracking catalysts: acidic property related catalytic performance. *Catalysis Today* 73: 49-55.
- Kim, J.R. , Yoon, J.H. , Park, D.W. (2002) Catalytic recycling of the mixture of polypropylene and polystyrene. *Polymer Degradation and Stability* 46: 61-67.
- BP petroleum. (2002) BP Statistical Review of World Energy.
- Demirbas, A. (2003) Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. *Energy Conversion and Management* 44: 2093 - 2109.
- Farouq A.A. Twaiq, Noor A.M. Zabidi , A.R. Mohamad , and Subhash Bhatia. (2003) Catalytic Conversion of palm oil over mesoporous aluminosilicate MCM-41 for the production of liquid hydrocarbon fuels. *Fuel Processing Technology* 1660: 1-16.
- Kim S. S., Chun B. H., Kim S. H. (2003) Non-isothermal pyrolysis of waste automobile lubricating oil in a stirred batch reactor. *Chemical Engineering Journal*. 93: 225-231.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2004) Renewable energy in Thailand : Ethanol and Biodiesel. Bangkok.
- Farouq A.A Twaiq, A.R. Mohamad, and Subhash Bhatia. (2004) Performance of Composite Catalysts in Palm oil Cracking for the Production of Liquid Fuels and Chemicals. *Fuel Processing Technology* 85: 1283 – 1300.
- Charusiri, W.; and Vitidsant, T. (2005) Kinetic Study of Used Vegetable Oil to Liquid Fuels over Sulfated Zirconia. *Energy & Fuels* 19(5) : 1783 – 1789.

Mohammad F. A., Mohammad N. S. (2005) Thermal and catalytic decomposition behavior of PVC mixed plastic waste with petroleum residue. *Analytical and applied pyrolysis* 74 : 282-289.

วีระศักดิ์ ทรัพย์วิเชียร. (2533) การจัดการเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น,

ปรีชา พหลเทพ (2536) พอลิเมออร์ พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ปราโมทย์ ไชยเวช. (2537) ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สุนทรออฟเซท.

นงเยาว์ ชูติวณิชกุล. (2538) อิทธิพลของทัลล์และไมกาที่มีต่อสมบัติของพอลิพรอพิลีน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธำรง ไชตะมังสะ, สุจิตต์ สนองคุณ. (2539) เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : พิศาลข้ามคม.

กรมส่งเสริมการส่งออก.(2541) ข้อมูลอุตสาหกรรมพลาสติก.กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1. (2546) ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศ กระทรวงอุตสาหกรรม.

ธราพงษ์ วิทิตศานต์. (2544) การแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศ

ไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน. รายงานการวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช.

วิซชากร จารุศิริ. (2544) กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์บนตัวเร่งปฏิกิริยา

เหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิตยา รัตนานนท์. (2545) เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547) รายงานสถานการณ์พลังงานประเทศไทย พ.ศ.2546. กรุงเทพฯ.

วิซชากร จารุศิริ. (2548) การเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยา

HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิซชากร จารุศิริ. (2549) การแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิง

เหลวบนเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง. รายงานการวิจัย ทุนพัฒนาอาจารย์/นักวิจัยใหม่ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน
ตามคาบจุดเดือด (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

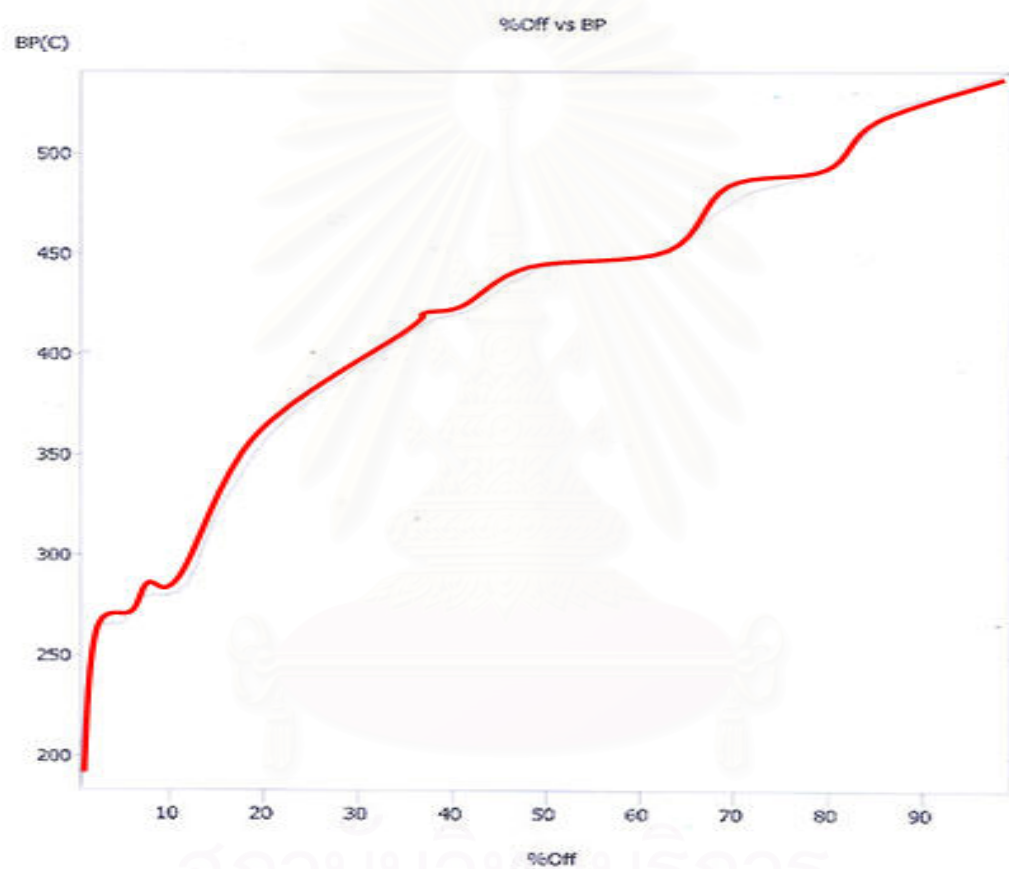
อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) ซึ่งจะใช้เป็นแบบโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature Program) 1 ขั้นตอน และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิด้วย คือ เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.01 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที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

อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

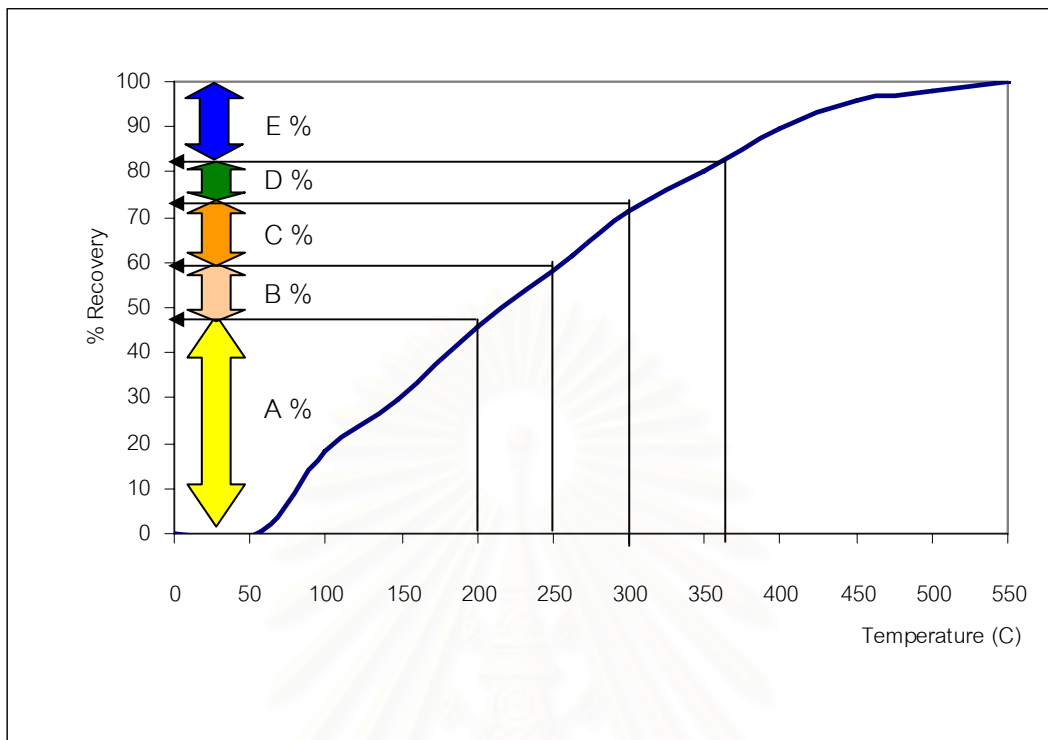
แก๊สตัวพา (Carrier Gas) เป็นแก๊สฮีเลียมโดยมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วย Split ratio เท่ากับ 2

ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี จะนำไปเปลี่ยนเป็นกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated Distillation โดยจะทำการเทียบกับกราฟโครมาโทแกรมของสารผสมมาตรฐานตาม ASTM D2887 และโครมาโทแกรมการทำงานของเครื่องเมื่อไม่มีการฉีดสารใดๆ (Blank) ดังแสดงในรูปที่ ก1



รูปที่ ก1 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันจากเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph



รูปที่ ก2 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatograph และการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ

การคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่าง 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 ข.

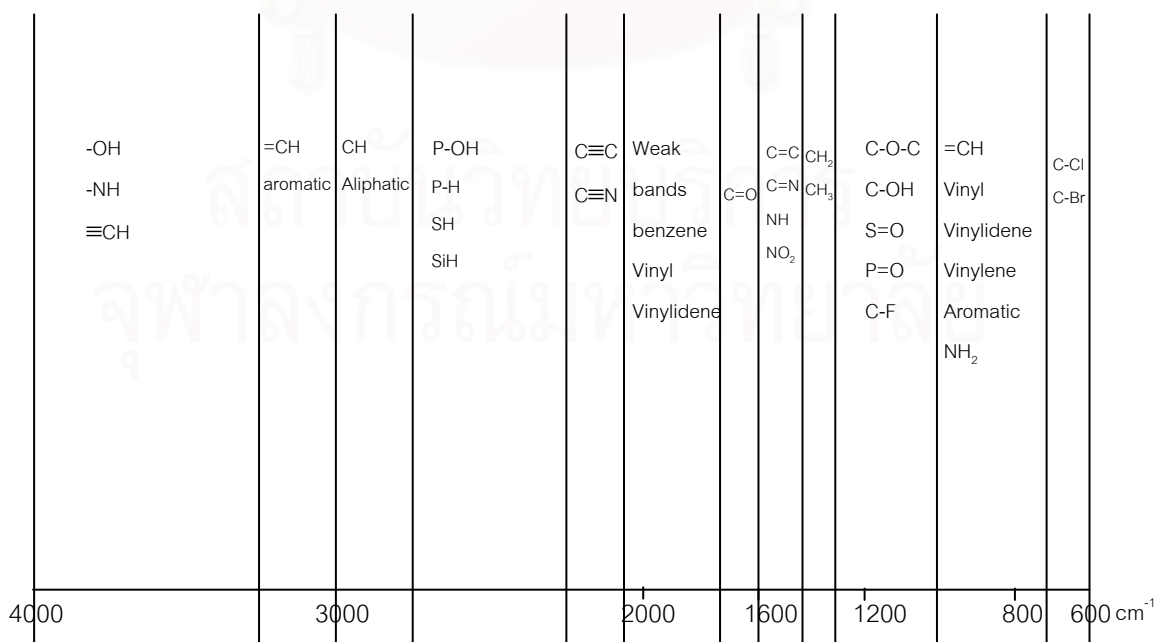
การวิเคราะห์ผลึกภัณฑ์ของเหลวด้วย FT - IR

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

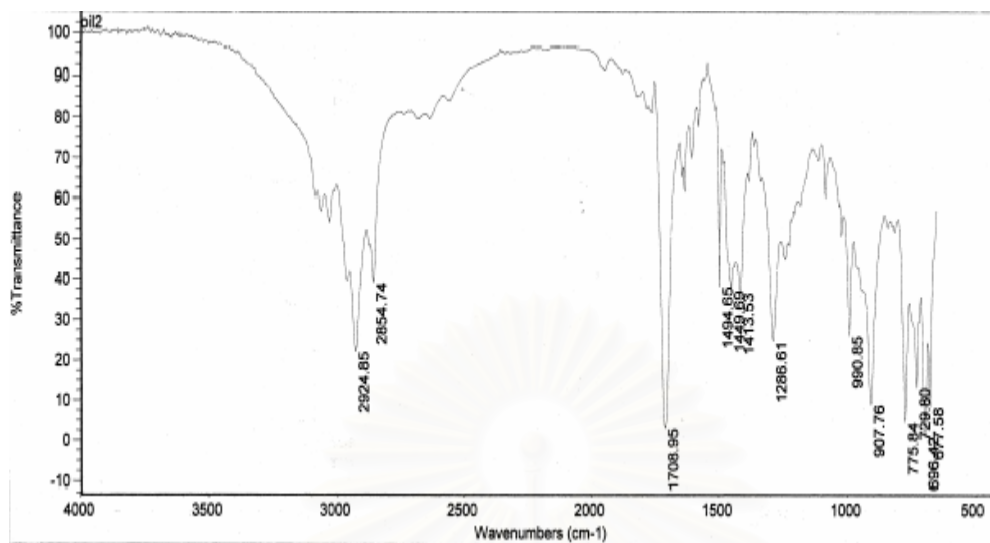
4. ย่านความถี่ $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Functional group regional เป็นย่านที่บอกถึงชนิดของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันใดในย่านนี้ จะเป็นการยืนยันว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ในโมเลกุลสารที่สนใจ แต่ทั้งนี้การแปลความหมายต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากโครงสร้างบางตัวอาจให้แถบดูดกลืนที่กว้างจนสังเกตได้ยาก

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

6. ย่านความถี่ $650 - 910 \text{ cm}^{-1}$ จะบ่งบอกถึงการจัดตัวของหมู่แทนที่บนวงแหวนสารประกอบอะโรมาติก ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนบริเวณนี้ ย่อมแสดงว่าสารที่สนใจไม่มีองค์ประกอบเป็นอะโรมาติก



รูปที่ ข.1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่างๆ



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างแสดงค่าการดูดกลืนของแสงจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

ภาคผนวก ค.

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. ตรวจสอบระดับขีด Paraffin ในอ่างควบคุม (ห้ามต่ำกว่าระดับขีดที่กำหนด)
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 การคำนวณหาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิโอสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที จับเวลาในการทดลองได้ 435 วินาที มีค่า K = 0.004365 mm²/s²

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

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



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย