หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ และ HZSM-5 โดยออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการทดลองทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ซึ่งดำเนินการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ คือ ระดับสูง และระดับต่ำ เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น เวลาในการทำปฏิกิริยา และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ตลอดจนศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน และองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพืชใช้แล้ว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว

Composition of fatty acid (%)		
C12:0	Lauric acid	0.32
C14:0	Myristic acid	0.93
C16:0	Palmitic acid	38.38
C18:0	Stearic acid	4.00
C20:0	Arachidic acid	0.34
Total saturated fatty acid		43.97
C16:1	Palmitoleic acid	0.25
C18:1	Oleic acid	45.59
C18:2	Linoleic acid	10.03
C18:3	Linolenic acid	0.16
Total unsaturated fatty acid		56.03

Method Fatty acid composition AOCS 1993Ce2-66Ce1-62

วิเคราะห์ผลโดย สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 43.97 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 16 และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 56.03 เป็นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเช่นกัน โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอมประมาณ 18

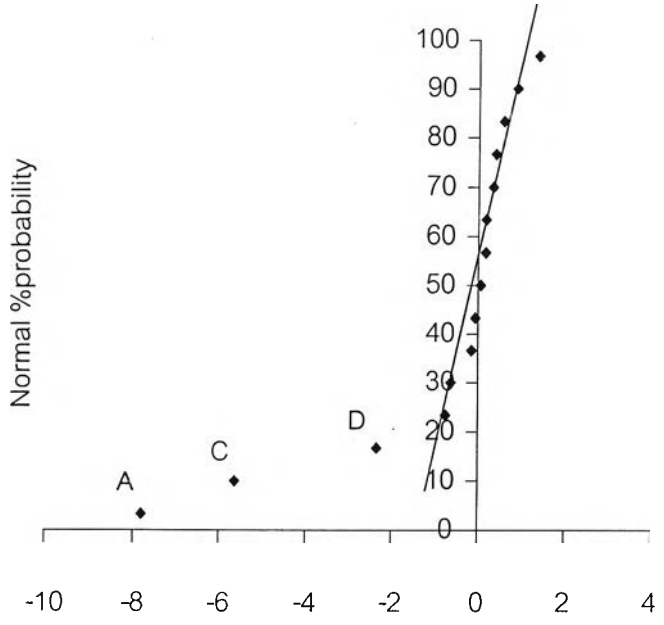
4.2 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

4.2.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

การแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล 2 เรพลิเคต ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอยู่ในช่วง 78.00 – 96.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.1 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ คือ 251.73 131.37 และ 22.72 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า ค่า F ที่ได้จากตารางคือ 4.20 ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส), A	ความดัน (บาร์), B	เวลา (นาที), C	ตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม),D	ผลิตภัณฑ์น้ำมัน
1	400	10	45	0.5	95.80
2					93.22
3	430	10	45	0.5	88.52
4					90.65
5	400	30	45	0.5	94.18
6					95.26
7	430	30	45	0.5	88.02
8					88.74
9	400	10	60	0.5	91.59
10					89.75
11	430	10	60	0.5	79.74
12					81.13
13	400	30	60	0.5	92.25
14					90.52
15	430	30	60	0.5	82.27
16					81.57
17	400	10	45	2.0	92.46
18					93.18
19	430	10	45	2.0	84.60
20					83.54
21	400	30	45	2.0	95.17
22					93.74
23	430	30	45	2.0	85.81
24					86.65
25	400	10	60	2.0	86.41
26					88.23
27	430	10	60	2.0	78.39
28					80.25
29	400	30	60	2.0	87.98
30					87.12
31	430	30	60	2.0	79.84
32					82.35



รูปที่ 4.1 Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

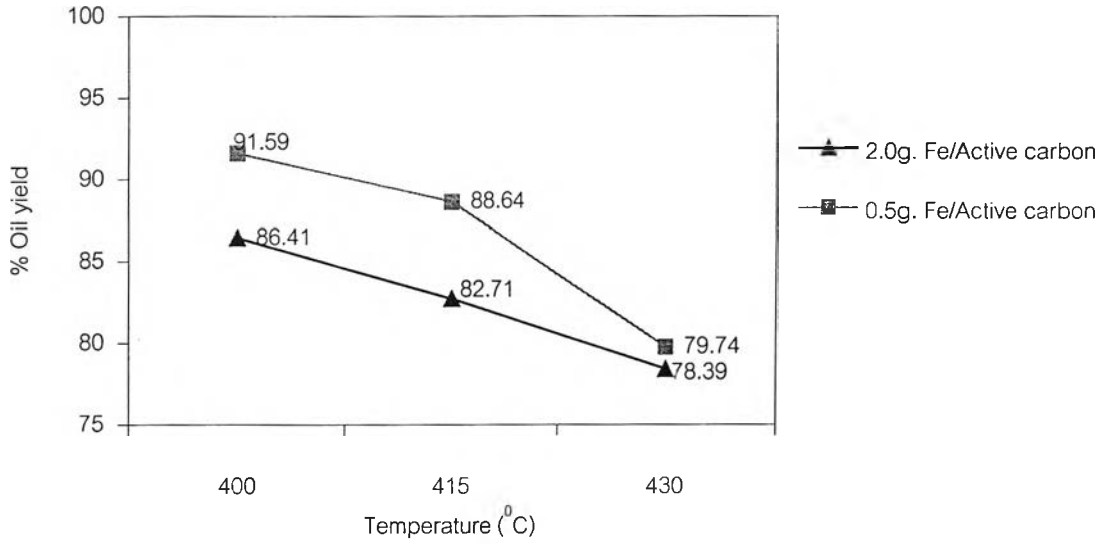
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

Source of Variation	Sum of Square	Degrees of	Mean Square	F_0
A(Temperature)	486.64	1	486.64	251.73
C(Time)	253.97	1	253.97	131.37
D(Catalyst)	43.92	1	43.92	22.72
Error	54.13	28	1.93	
Total	838.66	31		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,28} = 4.20$

4.2.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากผลการทดลองที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม และ 2.0 กรัม จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 91.59 เป็น 79.74 ที่ 0.5 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ และแนวโน้มเดียวกันสำหรับ 2.0 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 86.41 เป็น 78.39 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ของเหลวแตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระที่มีขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะถูกเติมไฮโดรเจนทำให้มีเสถียรภาพเป็นโมเลกุลขนาดเล็กกลายเป็นแก๊สเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลง

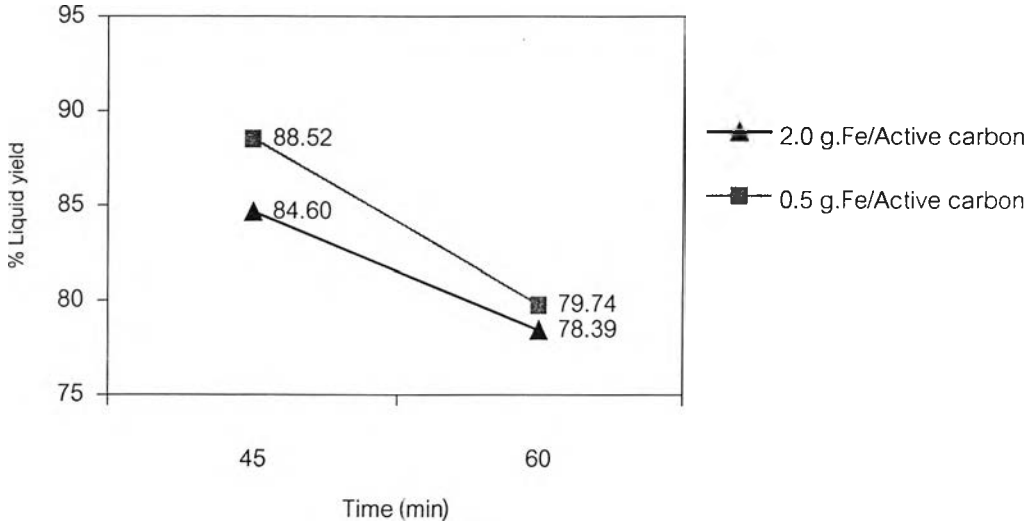


รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ และเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

4.2.1.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม และ 2.0 กรัม จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่ 0.5 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที จนถึงเวลา 60 นาที ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 88.52 เป็น 79.74 และแนวโน้มเดียวกันสำหรับ 2.0 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 84.60 เป็น 78.39 ทั้งนี้เนื่องจาก

อิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยา เป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานาน ส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปมีส่วนช่วยในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจากการแตกตัวด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนจะเกิดการแตกตัวจนมีขนาดเล็ก และอยู่ในสภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลง

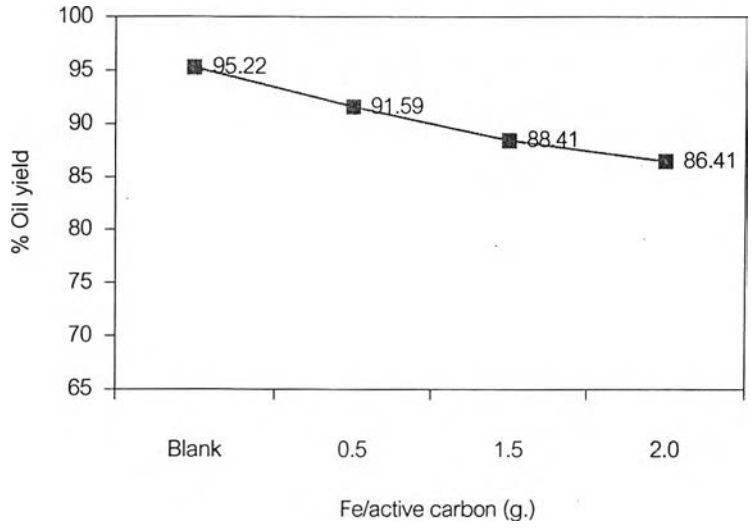


รูปที่ 4.3 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ และอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

4.2.1.3 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีแนวโน้มลดลงจาก 95.22 และเมื่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 0.5 กรัมจนถึง 2.0 กรัม ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 91.59 เป็น 86.41 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลจากการแตกตัวด้วยความร้อนในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง หลังจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาด

กลาง ซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจึงลดลง และเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.4 ผลของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ และเวลา 60 นาที

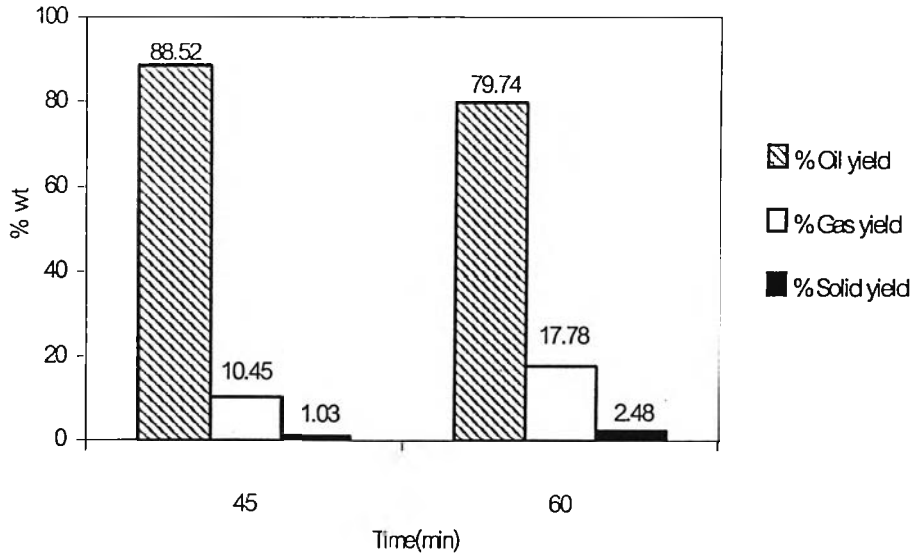
4.2.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ตามคาบจุดเดือด เป็นแนฟทา(Naphtha) เคโรซีน(Kerosene) แก๊สออยล์เบา(Light Gas Oil) แก๊สออยล์(Gas Oil) และกากน้ำมันหนัก(Long Residue)

4.2.2.1 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

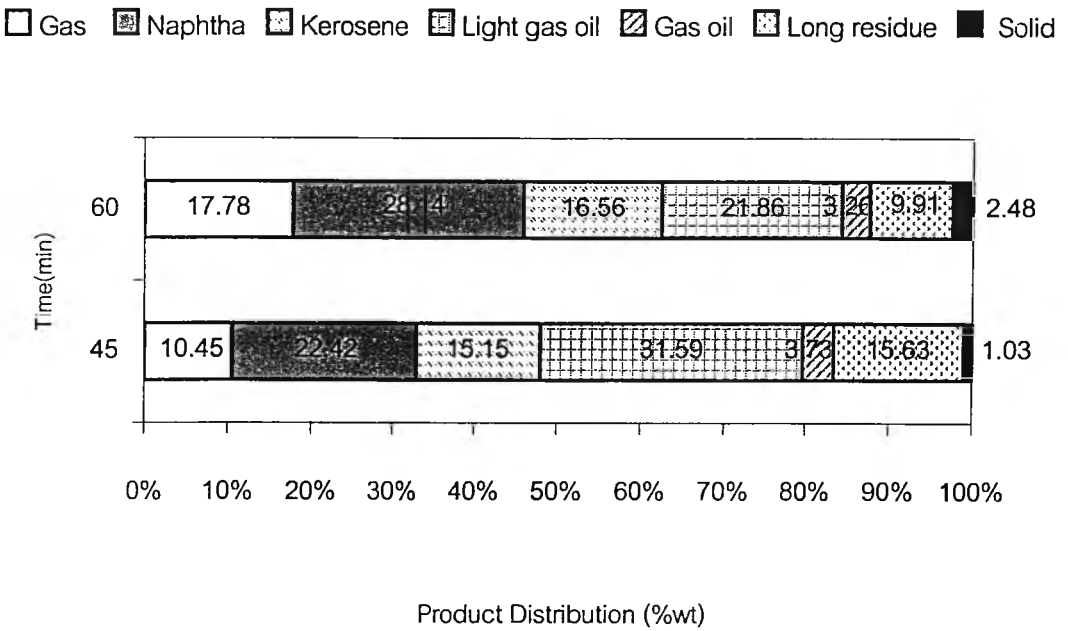
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ 45 และ 60 นาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.5 และ 4.6 และที่ 2.0 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าที่ 0.5 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 88.52 เป็น 79.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 10.45 เป็น 17.78 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 22.42 เป็น 28.14 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนคงที่ประมาณ 15.15 ถึง 16.56 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงจาก 15.63 เป็น 9.91 และพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันสำหรับที่ 2.0 กรัม เหล็กบน

ถ่านกัมมันต์ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 84.60 เป็น 78.39 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 11.81 เป็น 18.18 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 25.38 เป็น 30.23 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนประมาณ 13.54 ถึง 16.35 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงจาก 13.54 เป็น 9.18 และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มเดียวกัน ให้ผลรวมร้อยละของแนฟทา และเคโรซีน เพิ่มขึ้น จาก 23.81 เป็น 29.46 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อันเป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานาน ส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง กากน้ำมันหนักซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงด้วย ดังจะเห็นได้ว่าร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปมีส่วนช่วยในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจากการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้ได้ขนาดของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลง ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาสูงขึ้น เกิดผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น

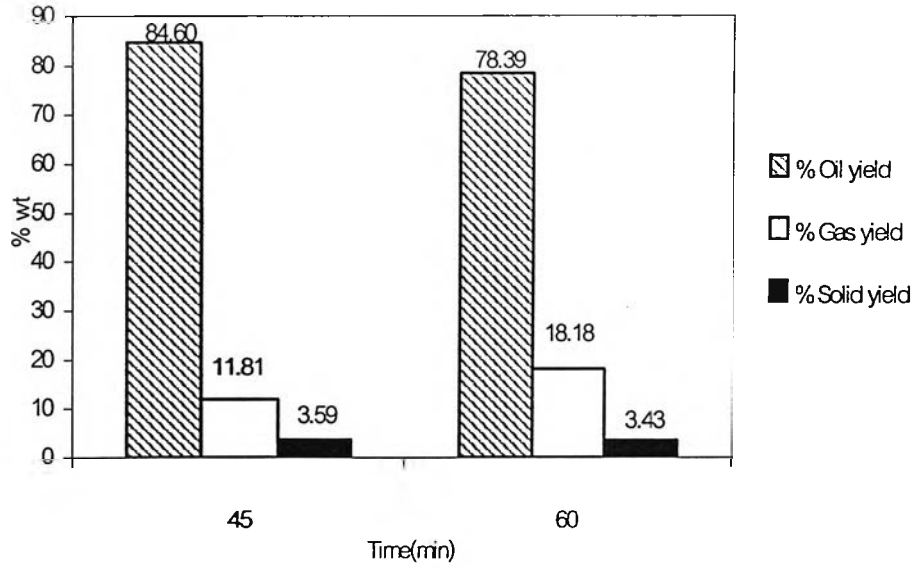
จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ทั้งที่อุณหภูมิ 430 และ 400 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของแนฟทา และเคโรซีนสูงขึ้น ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลา 45 นาที ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ดีขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 นาที สำหรับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 78.39 ร้อยละผลได้ของแก๊ส 18.18 ร้อยละผลได้ของแข็ง 3.43 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา 30.23 เคโรซีน 16.35 แก๊สออยล์เบา 19.91 แก๊สออยล์ 2.72 และกากน้ำมันหนัก 9.18 โดยน้ำหนัก



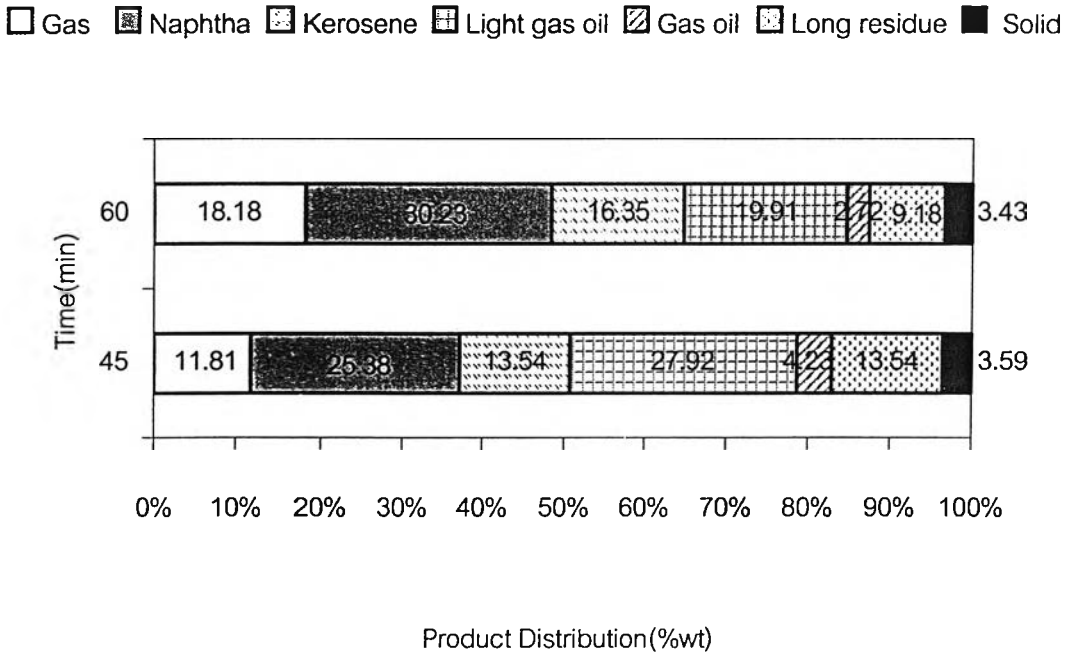
รูปที่ 4.5 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



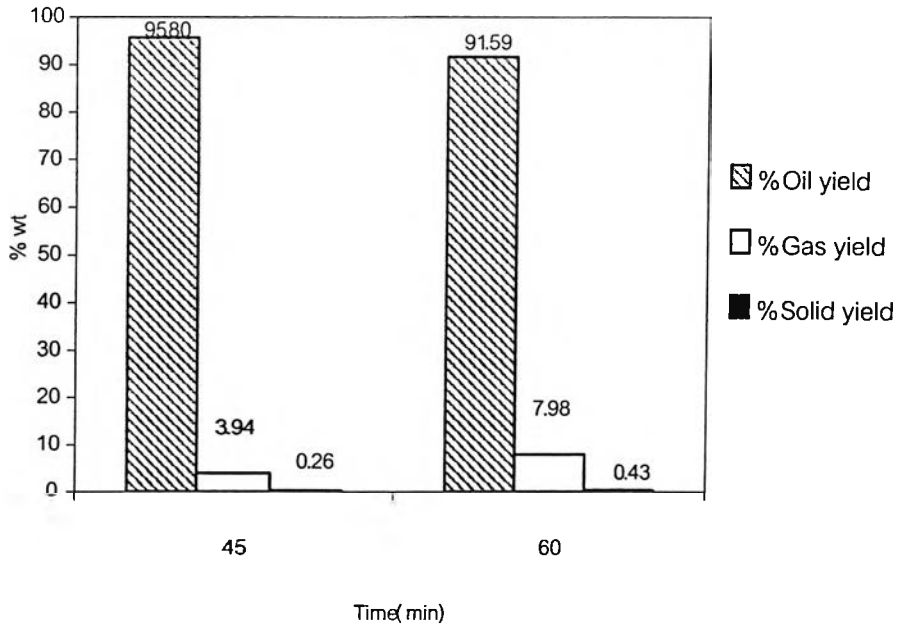
รูปที่ 4.6 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



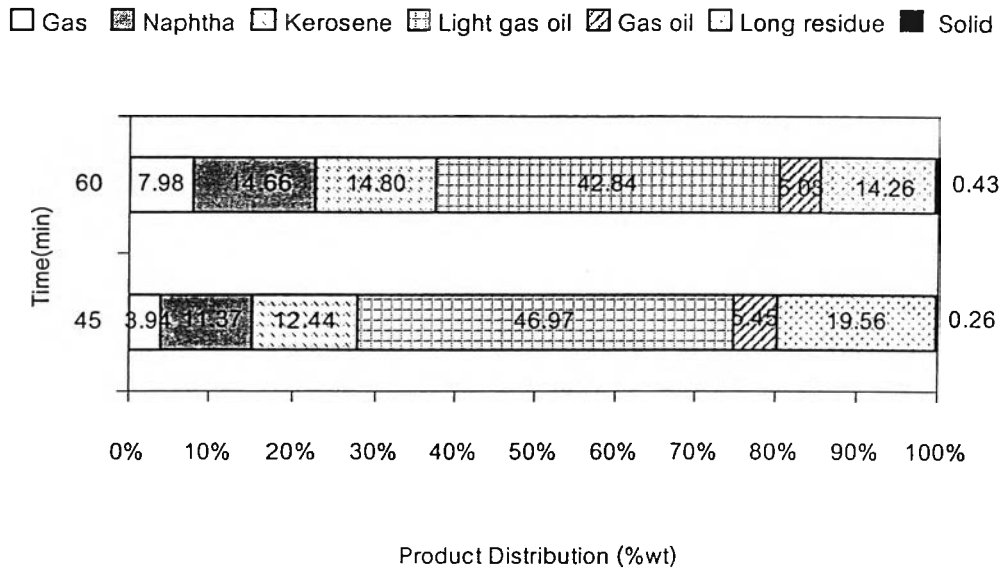
รูปที่ 4.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม



รูปที่ 4.8 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม



รูปที่ 4.9 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม

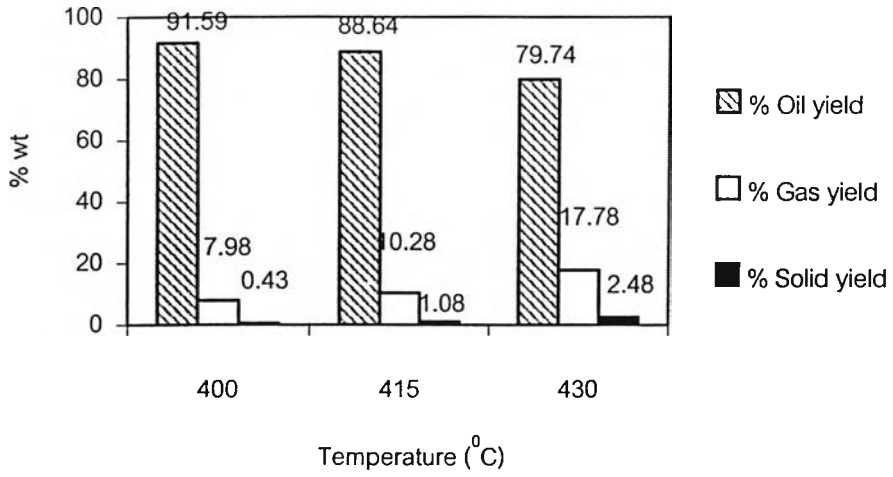


รูปที่ 4.10 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม

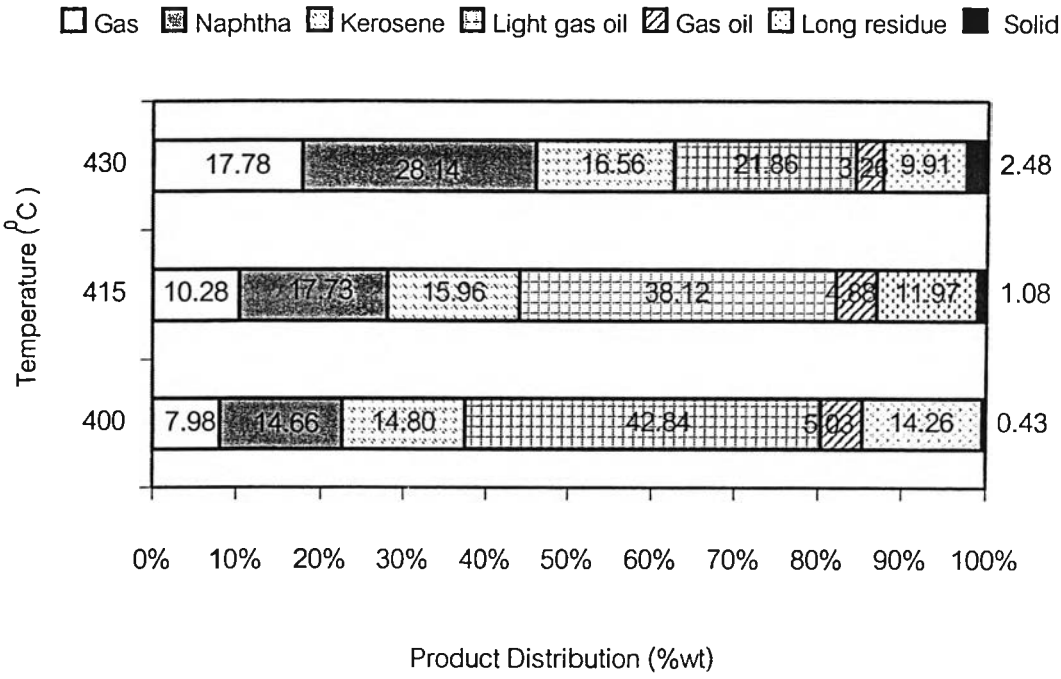
4.2.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดังนี้คือ 400 415 และ 430 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.11 และ 4.12 และที่ 2.0 กรัม ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าที่ 0.5 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 91.59 เป็น 79.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 7.98 เป็น 17.78 และมีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 14.66 เป็น 28.14 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 14.80 เป็น 16.56 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลงจาก 14.26 เป็น 9.91 และพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันสำหรับที่ 2.0 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ถึง 430 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 86.41 เป็น 78.39 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 10.99 เป็น 18.18 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจาก 15.36 เป็น 30.23 ผลได้ของเคโรซีนมีแนวโน้มใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 16.00 และร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อันเป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบ เมื่ออุณหภูมิค่อย ๆ สูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดสายโซ่โมเลกุลจากไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกแก๊สออยล์ ต่อจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวกแนฟทา และเคโรซีน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้เกิดการแตกตัวอย่างรุนแรงจนได้โมเลกุลขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน ดังจะพบได้ว่ามีปริมาณแนฟทาที่สูงขึ้น และแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

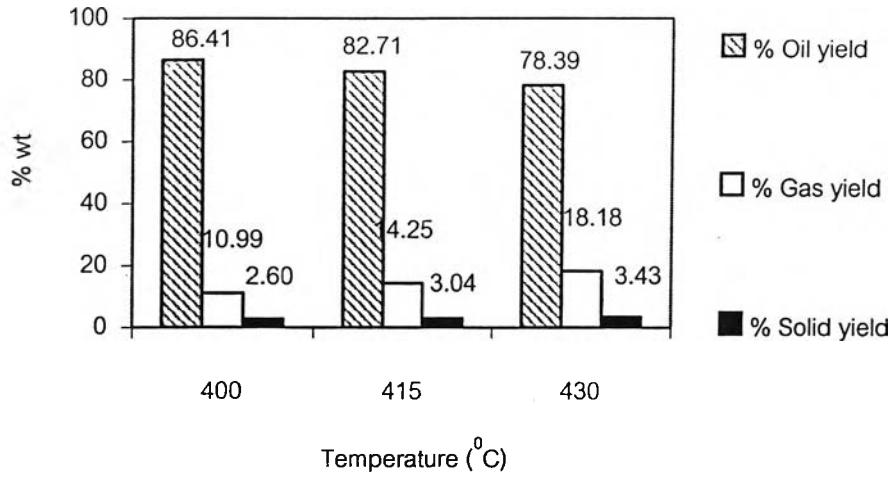
จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปริมาณน้อยลง แต่ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้นั้นมีคุณภาพดีมากขึ้น พิจารณาจากผลได้ของแนฟทา ที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 400 และ 415 องศาเซลเซียส ทั้งที่ 0.5 และ 2.0 กรัม เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 430 องศาเซลเซียส สำหรับที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 79.74 ร้อยละผลได้ของแก๊ส 17.78 ร้อยละผลได้ของแข็ง 2.48 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา 28.14 เคโรซีน 16.56 แก๊สออยล์เบา 21.86 แก๊สออยล์ 3.26 และกากน้ำมันหนัก 9.91 โดยน้ำหนัก



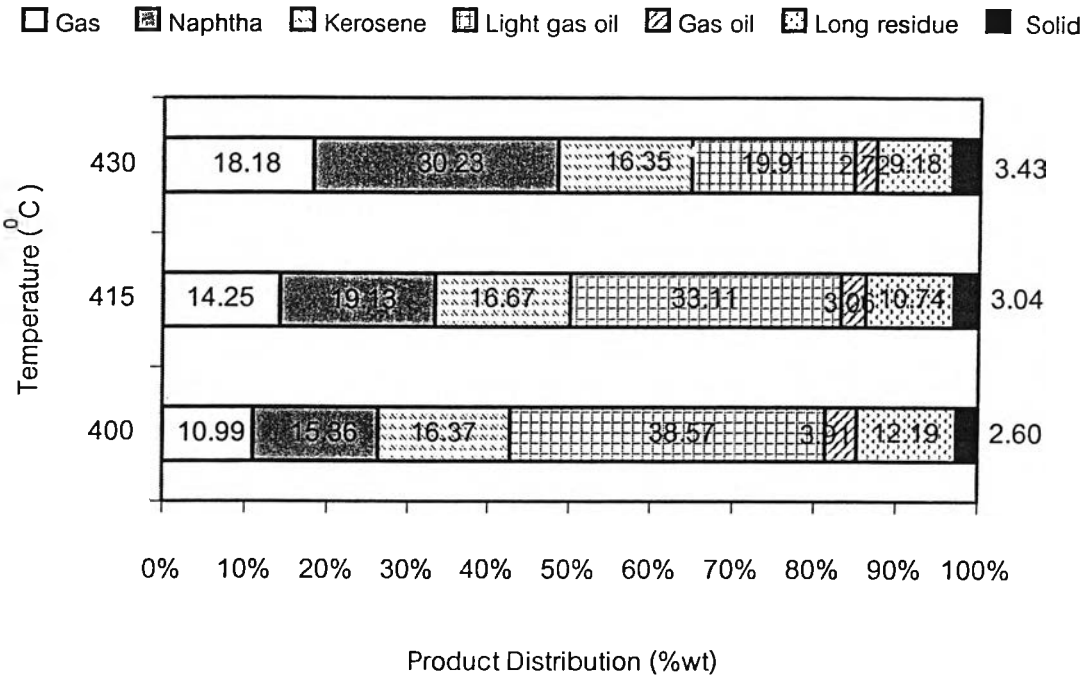
รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิต่ออร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม

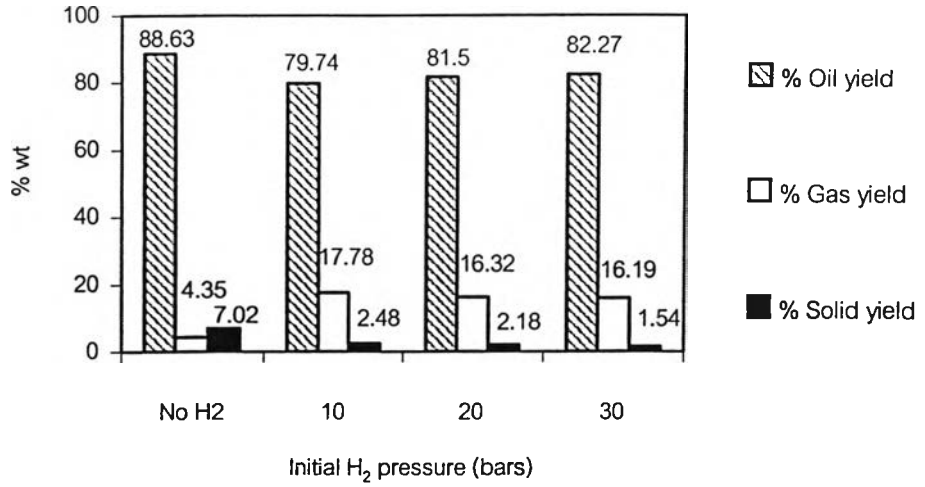


รูปที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม

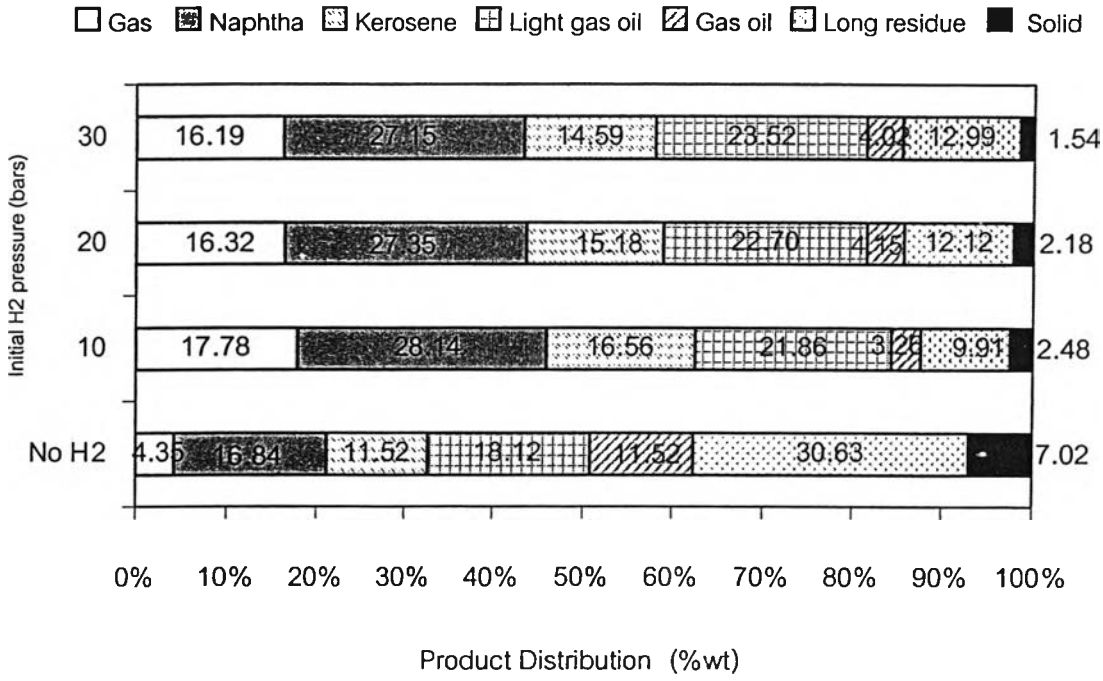
4.2.2.3 อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยทำการทดลองที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 - 30 บาร์ และไม่มีการอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ภาวะการทดลองอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่อัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น พบว่าเมื่ออัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นถึง 10 บาร์ ส่งผลให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 88.63 เป็น 79.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 4.35 เป็น 17.78 มีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้นคือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 16.84 เป็น 28.14 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 11.52 เป็น 16.56 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 30.63 เป็น 9.91 แต่เมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจาก 10 - 30 บาร์ พบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกันมีแนวโน้มคงที่ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเฉลี่ยประมาณ 81.17 ร้อยละผลได้ของแก๊สประมาณ 16.76 ร้อยละผลได้ของแข็งประมาณ 2.07 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทาโดยเฉลี่ยประมาณ 27.55 เคโรซีน 15.44 แก๊สออยล์เบา 22.69 แก๊สออยล์ 3.81 และกากน้ำมันหนัก 11.67 และที่ 2.0 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกัน ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 17.99 เป็น 28.76 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 12.42 เป็น 17.91 เมื่อเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่อัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการทดลองเมื่ออุณหภูมิคงที่ อิทธิพลจากการแตกตัวด้วยความร้อน และการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทสำคัญ การอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัว อันจะช่วยส่งเสริมการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการปกคลุมของไฮโดรเจนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา การอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนที่สูง จะส่งเสริมการถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transfer) จากแก๊สเฟสไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ดังนั้นจึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันดีขึ้น พิจารณาได้จากร้อยละผลได้ของแนฟทาที่สูงขึ้น

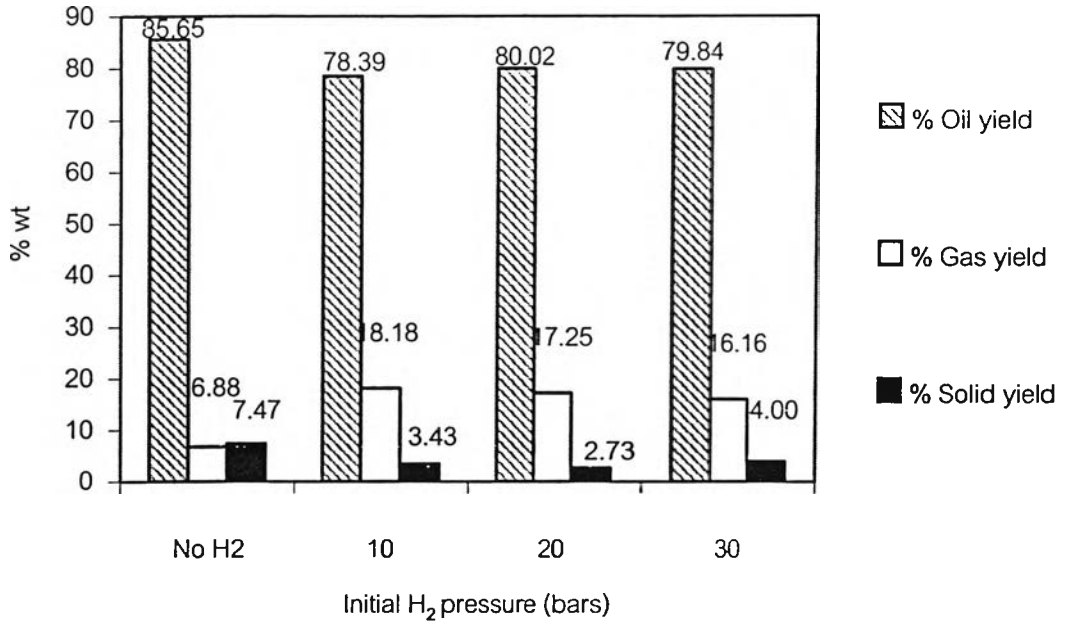
จากผลการทดลองพบว่าความดันไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 10-30 บาร์ ดังนั้นความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการทดลองคือ 10 บาร์



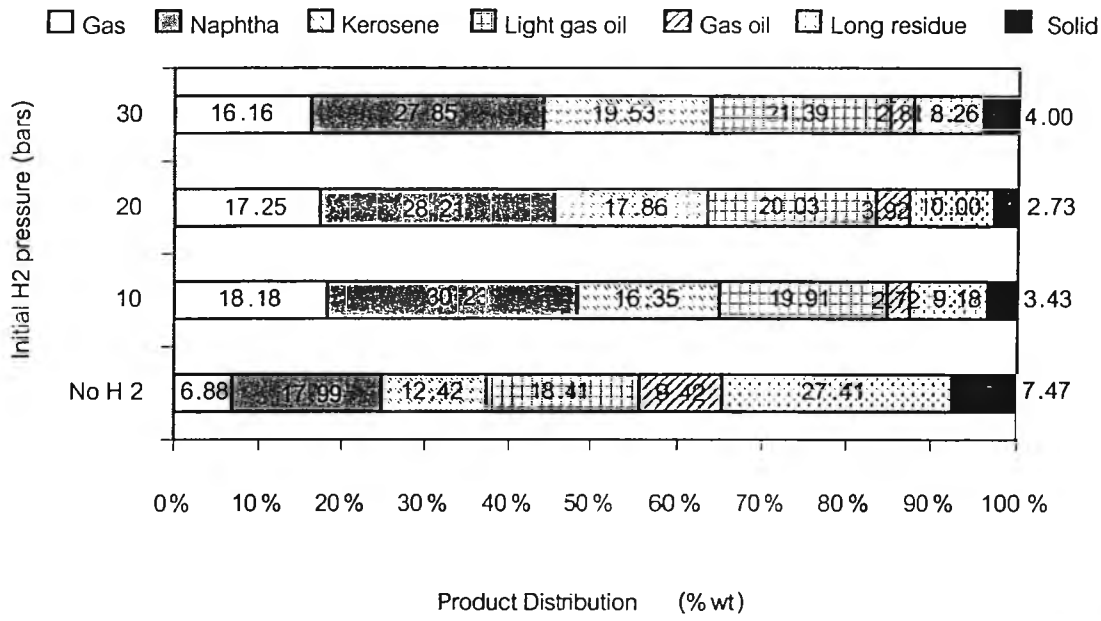
รูปที่ 4.15 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.16 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.17 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม

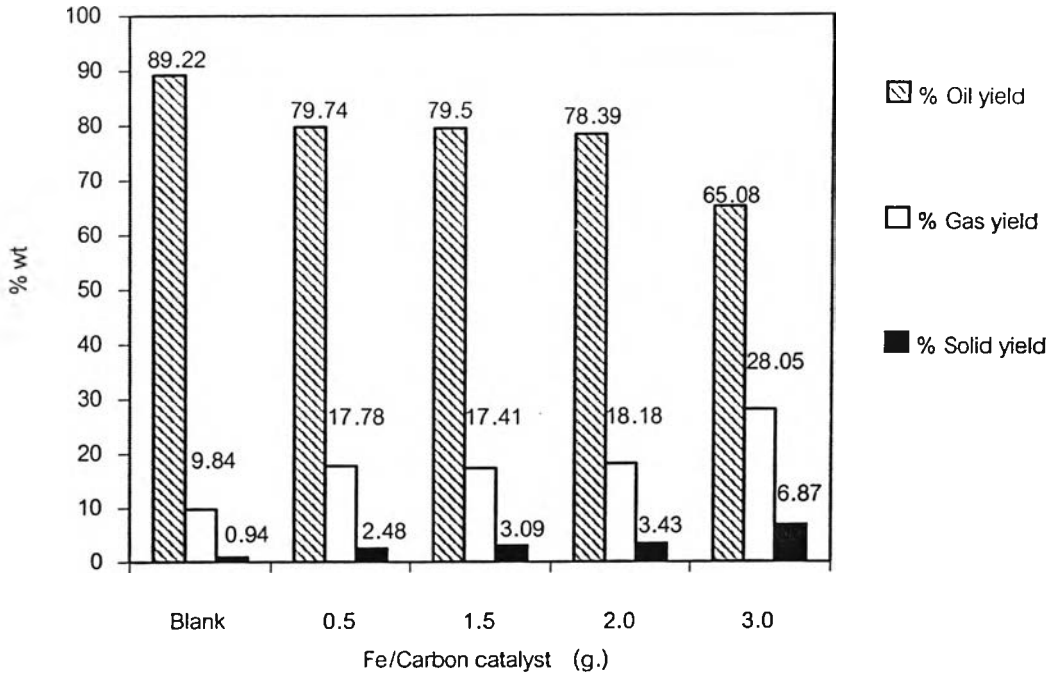


รูปที่ 4.18 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 2.0 กรัม

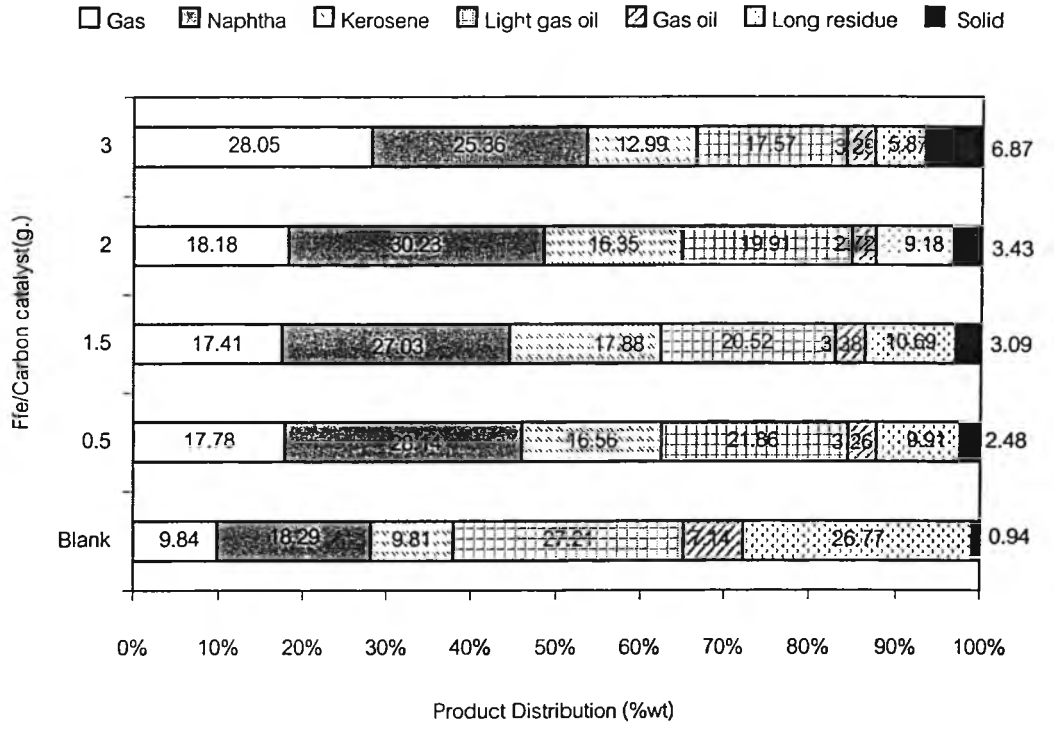
4.2.2.4 อิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยทำการทดลองที่ 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 กรัม และไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Thermal cracking) ภาวะการทดลองอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.19 และ 4.20 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 กรัม ส่งผลให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 89.22 เป็น 79.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 9.84 เป็น 17.78 มีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 18.29 เป็น 28.14 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 9.81 เป็น 16.56 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 26.77 เป็น 9.91 แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 0.5 - 2.0 กรัม พบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกันมีแนวโน้มคงที่ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเฉลี่ยประมาณ 79.21 ร้อยละผลได้ของแก๊สประมาณ 17.79 ร้อยละผลได้ของแข็งประมาณ 3.00 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทาโดยเฉลี่ยประมาณ 28.47 เคโรซีน 16.93 แก๊สออยล์เบา 20.76 แก๊สออยล์ 3.12 และกากน้ำมันหนัก 9.93 แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 3.0 กรัม พบว่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือ 65.08 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มสูงขึ้นถึง 28.05 ร้อยละผลได้ของแนฟทาลดลงเหลือ 25.36 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนลดลงจาก 16.93 เป็น 12.99 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลจากการแตกตัวด้วยความร้อนในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา จะส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง หลังจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแนฟทา และแก๊สไฮโดรคาร์บอน เป็นเหตุผลให้เมื่อเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 3.0 กรัม ผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน และผลได้ของแนฟทาลดลง เนื่องจากเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 - 2.0 กรัม ให้ผลได้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงของแนฟทาใกล้เคียงกัน ซึ่งผลได้ของแนฟทาสูงกว่ากรณีไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ผลได้ของแนฟทากลับมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 3.0 กรัม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม มีความเหมาะสมเพียงพอต่อการทดลอง



รูปที่ 4.19 ผลของของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ 4.20 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้แก่ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

4.2.3.1 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ 45 และ 60 นาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.21 พบว่าเมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานาน โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักจะเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น โดยที่เวลา 60 นาที ภายใต้ภาวะการทดลองข้างต้น ได้ร้อยละผลได้โดยโมลของแก๊สมีเทนเท่ากับ 13.17 อีเทน 12.61 โพรเพน 7.24 บิวเทน 1.98 และคาร์บอนไดออกไซด์ 65.00

4.2.3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

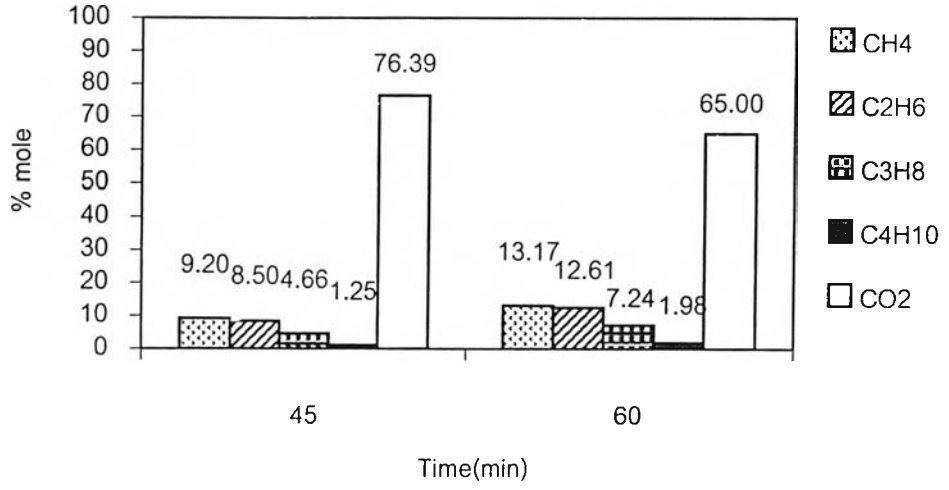
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สดังนี้คือ 400 415 และ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.22 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีส่วนช่วยในการทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลงจนอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอน โดยที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะการทดลองข้างต้น ได้ร้อยละผลได้โดยโมลของแก๊สมีเทนเท่ากับ 9.42 อีเทน 6.64 โพรเพน 3.20 บิวเทน 1.30 และคาร์บอนไดออกไซด์ 79.44

4.2.3.3 อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

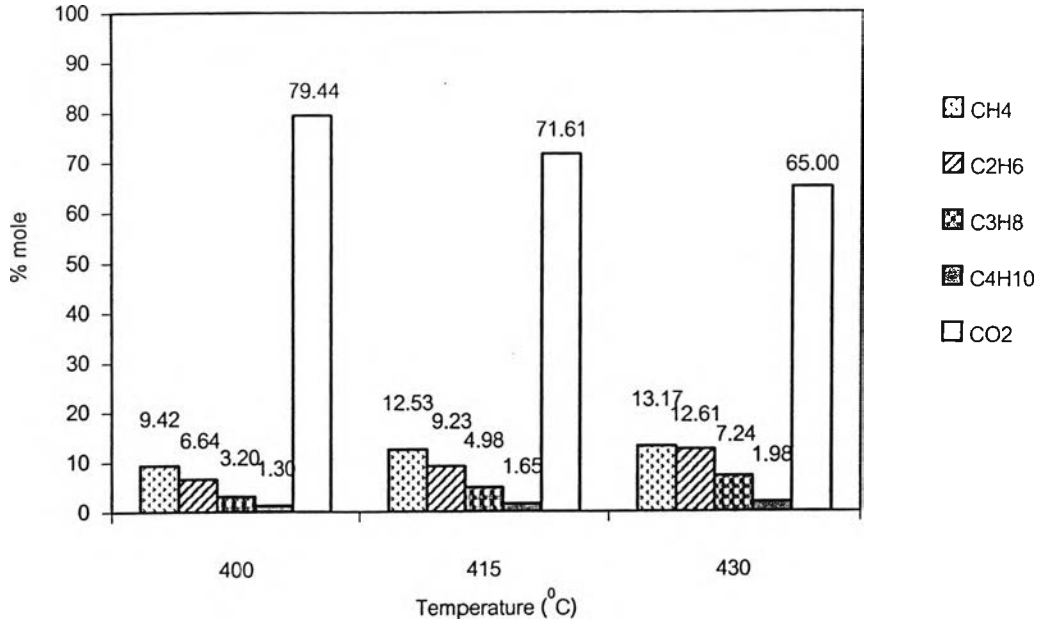
อิทธิพลของความดันสำหรับการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 - 30 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม พบว่าช่วงความดันระหว่าง 10 - 30 บาร์ มีการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สใกล้เคียงกัน

4.2.3.4 อิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

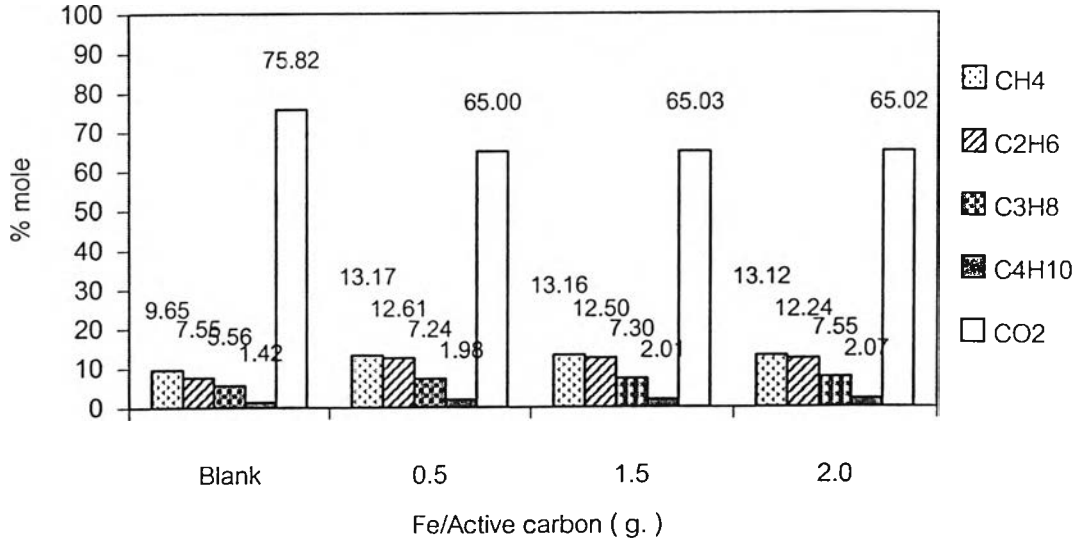
ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 - 2.0 กรัม และไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ในช่วงระหว่าง 0.5 - 2.0 กรัม มีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สใกล้เคียงกัน เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง ซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 4.21 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.22 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม



รูปที่ 4.23 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

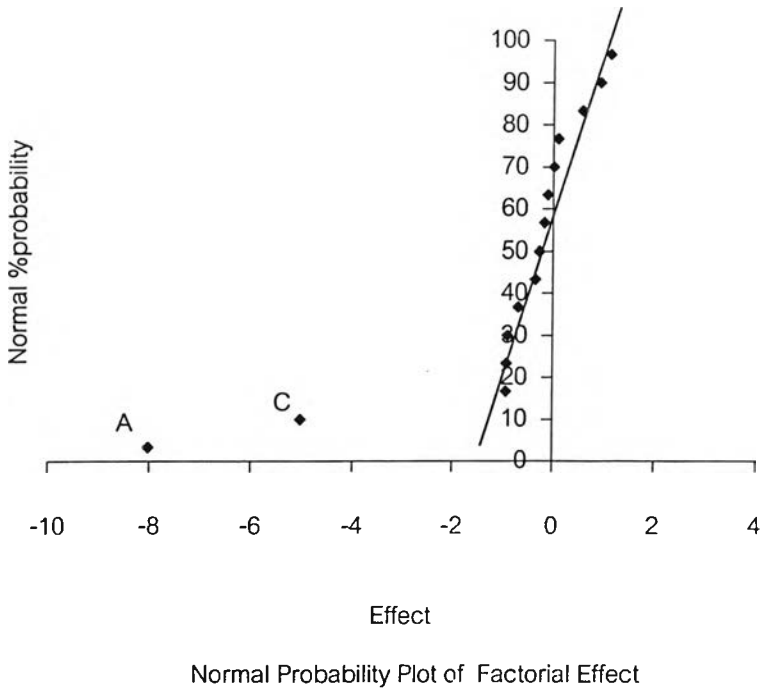
4.3 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ ที่มีต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

การแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งได้ทดลองแบบแฟกทอเรียล แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล แบบ 2 เรพลิเคต ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอยู่ในช่วง 81.00 - 96.00 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.24 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ นำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ คือ 186.91 และ 73.57 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า ค่า F ที่ได้จากตารางคือ 4.18 ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.4 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

การทดลอง	ตัวแปร				ร้อยละผลได้
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส), A	ความดัน (บาร์), B	เวลา (นาที), C	ตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม),D	ผลิตภัณฑ์น้ำมัน
1	400	10	45	0.05	96.61
2					94.55
3	430	10	45	0.05	90.55
4					88.32
5	400	20	45	0.05	94.18
6					94.02
7	430	20	45	0.05	88.02
8					87.22
9	400	10	60	0.05	92.65
10					88.65
11	430	10	60	0.05	83.60
12					83.33
13	400	20	60	0.05	92.44
14					91.45
15	430	20	60	0.05	82.92
16					83.66
17	400	10	45	0.2	95.18
18					94.65
19	430	10	45	0.2	86.01
20					88.02
21	400	20	45	0.2	95.17
22					96.54
23	430	20	45	0.2	85.81
24					90.13
25	400	10	60	0.2	90.08
26					88.36
27	430	10	60	0.2	81.37
28					78.21
29	400	20	60	0.2	92.80
30					91.54
31	430	20	60	0.2	82.45
32					81.02



รูปที่ 4.24 Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

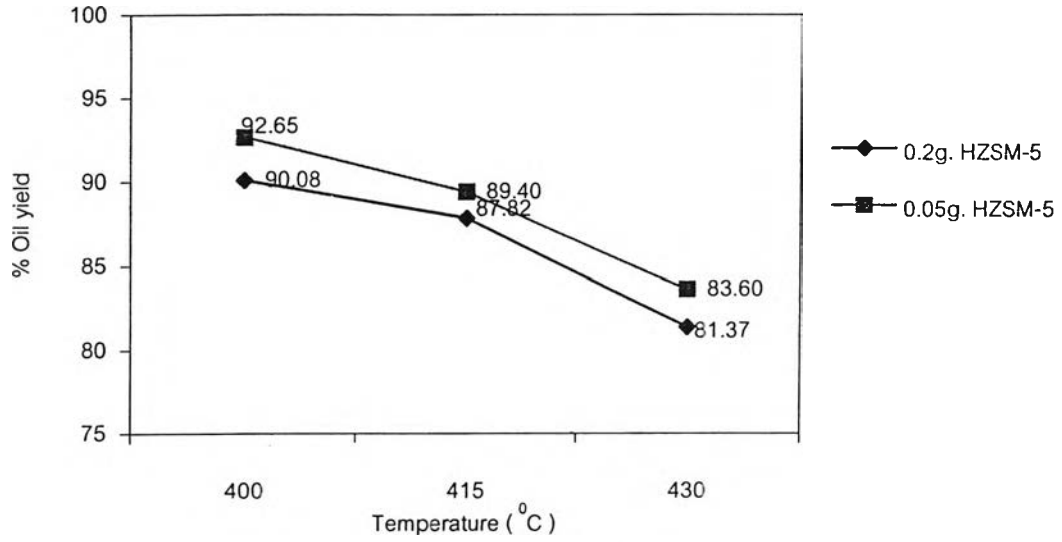
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

Source of Variation	Sum of Square	Degrees of	Mean Square	F_0
A(Temperature)	513.84	1	513.84	186.91
C(Time)	202.26	1	202.26	73.57
Error	79.72	29	2.75	
Total	795.82	31		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05,1,29} = 4.18$

4.3.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากผลการทดลองที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม และ 0.2 กรัม จากรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 92.65 เป็น 83.60 ที่ 0.05 กรัม HZSM-5 และแนวโน้มเดียวกันสำหรับ 0.2 กรัม HZSM-5 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 90.08 เป็น 81.37 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแตกตัวของของเหลวกลายเป็นอนุมูลอิสระที่มีขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะถูกเติมไฮโดรเจนทำให้มีเสถียรภาพเป็นโมเลกุลขนาดเล็กกลายเป็นแก๊สเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลง

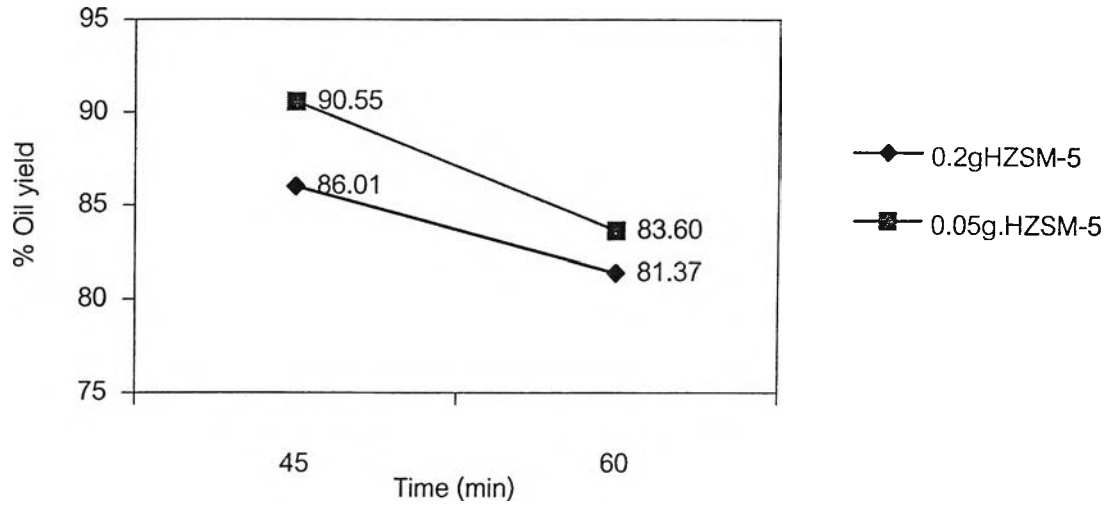


รูปที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ เวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

4.3.1.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม และ 0.2 กรัม จากรูปที่ 4.26 พบว่าที่ 0.05 กรัม HZSM-5 เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 45 นาทีจนถึงเวลา 60 นาที ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 90.55 เป็น 83.60 และแนวโน้มเดียวกันสำหรับ 0.2 กรัม HZSM-5

ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 86.01 เป็น 81.37 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยา อันเป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานาน ส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงโดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีส่วนช่วยในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจากการแตกตัวด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนจะเกิดการแตกตัวจนมีขนาดเล็กและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลง



รูปที่ 4.26 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

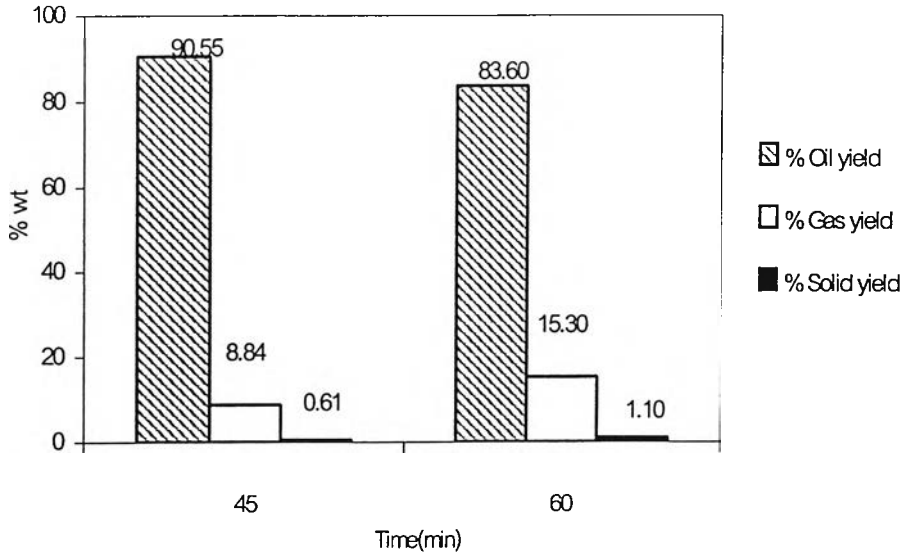
4.3.2 **การวิเคราะห์การกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา** HZSM-5 **ตามคาบจุดเดือดเป็น แนฟทา**(Naphtha) **เคโรซีน**(Kerosene) **แก๊สออยล์เบา**(Light Gas Oil) **แก๊สออยล์**(Gas Oil) **และกากน้ำมันหนัก**(Long Residue)

4.3.2.1 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

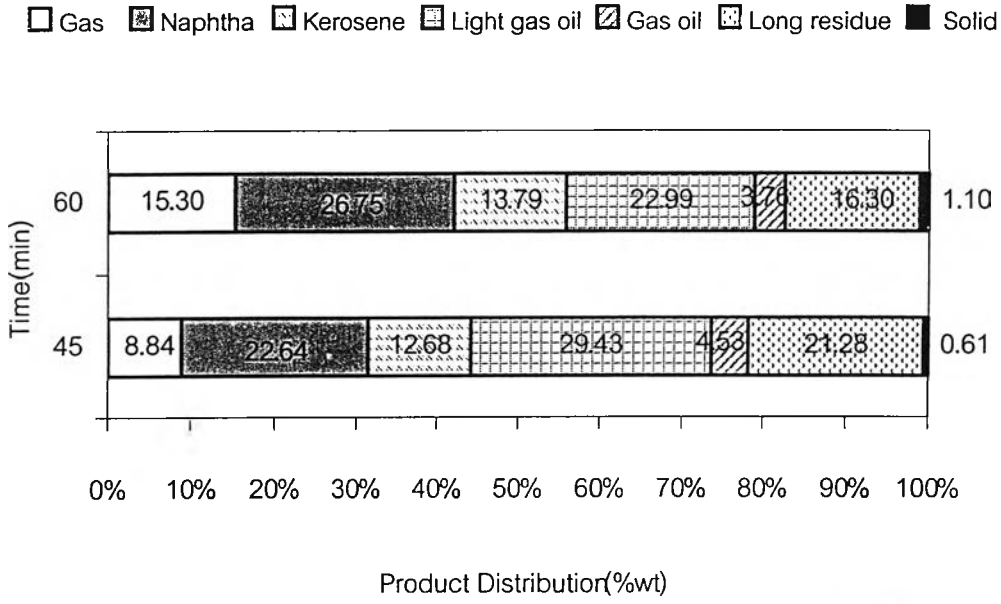
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ 45 และ 60 นาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม

แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.27 และ 4.28 และที่ 0.2 กรัม HZSM-5 ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.29 และ 4.30 พบว่าที่ 0.05 กรัม HZSM-5 เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 90.55 เป็น 83.60 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 8.84 เป็น 15.30 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 22.64 เป็น 26.75 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนคงที่ประมาณ 12.50 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงจาก 21.28 เป็น 16.30 และพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันสำหรับที่ 0.2 กรัม HZSM-5 ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 86.01 เป็น 81.37 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 13.13 เป็น 17.18 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 23.22 เป็น 26.85 ทั้งนี้เนื่องจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานานตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ได้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง กากน้ำมันหนักซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงด้วย ดังจะเห็นได้ว่าร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปมีส่วนช่วยในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อน ได้โมเลกุลขนาดเล็กลงจำพวกแนฟทา และเคโรซีน โดยเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนก็จะแตกตัวจนอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก

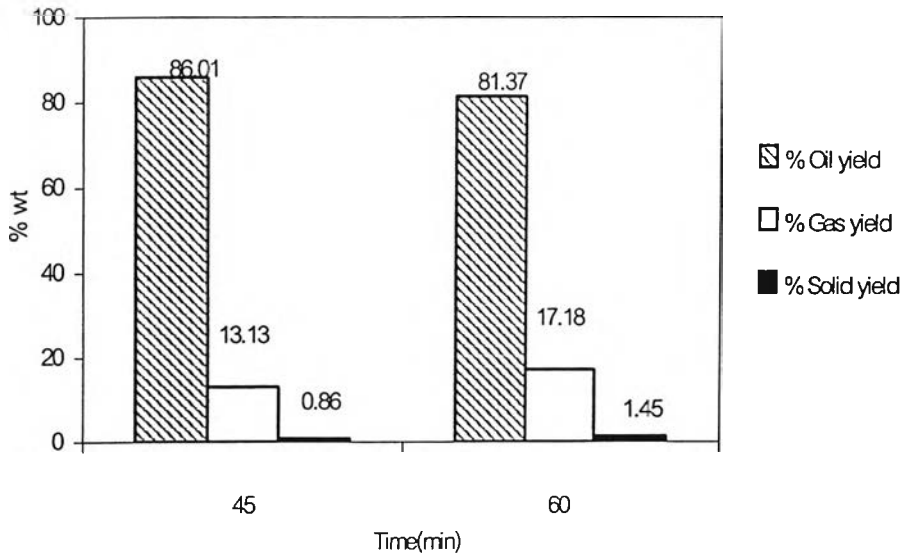
จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ และ 0.05 กรัม HZSM-5 เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 60 นาที พบว่ามีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก คือ ผลรวมสัดส่วนของแนฟทาและเคโรซีน เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 35.31 เป็น 40.55 และพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันสำหรับที่ 0.2 กรัม HZSM-5 ผลรวมสัดส่วนของแนฟทาและเคโรซีน เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 37.59 เป็น 43.13 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ดีขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการทดลองคือ 60 นาที สำหรับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.2 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 81.37 ร้อยละผลได้ของแก๊ส 17.18 ร้อยละผลได้ของแข็ง 1.45 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา 26.85 เคโรซีน 16.27 แก๊สออยล์เบา 21.97 แก๊สออยล์ 4.07 และกากน้ำมันหนัก 12.21 โดยน้ำหนัก



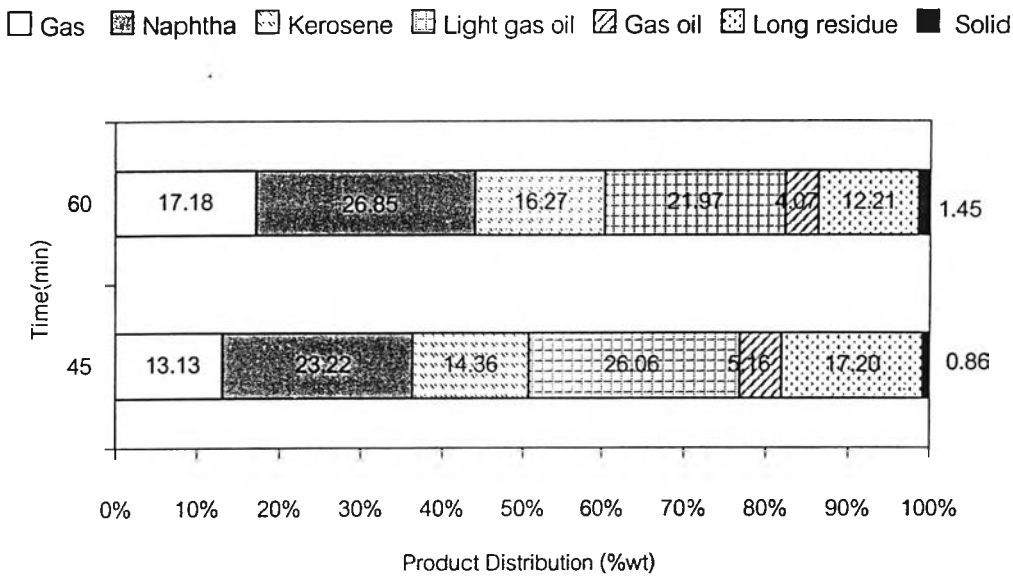
รูปที่ 4.27 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.28 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.29 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ HZSM-5 0.2 กรัม

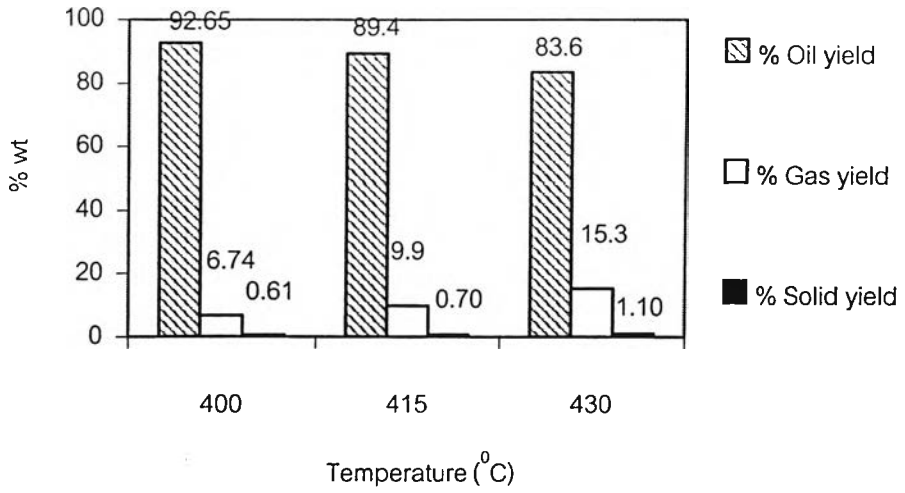


รูปที่ 4.30 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ HZSM-5 0.2 กรัม

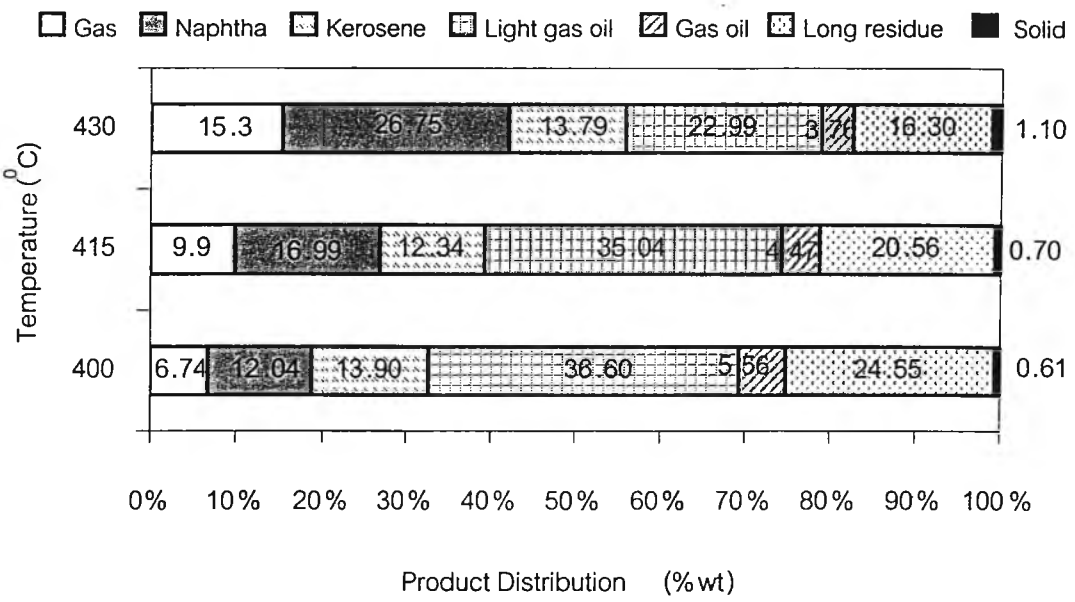
4.3.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดังนี้คือ 400 415 และ 430 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.31 และ 4.32 และที่ 0.2 กรัม ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.33 และ 4.34 พบว่าที่ 0.05 กรัม HZSM-5 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ถึง 430 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 92.65 เป็น 83.60 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 6.74 เป็น 15.3 และมีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดจาก 12.04 เป็น 26.75 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนคงที่ประมาณ 13.79 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลงจาก 24.55 เป็น 16.30 และพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันสำหรับที่ 0.2 กรัม HZSM-5 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ถึง 430 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 90.08 เป็น 81.37 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 9.55 เป็น 17.18 ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเช่นกันจาก 16.21 เป็น 26.85 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 12.61 เป็น 16.27 และร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อันเป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบ เมื่ออุณหภูมิค่อย ๆ สูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกเคโรซีนและแก๊สออยล์ จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมิบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวกแนฟทา ดังจะพบได้ว่ามีปริมาณแนฟทาที่สูงขึ้น ผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น และยังพบว่าที่อุณหภูมิสูงช่วยทำให้กากน้ำมันหนัก ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงด้วย ดังจะเห็นได้ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก หรือ กากน้ำมันหนักน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่สัดส่วนของกากน้ำมันหนักที่น้อยลงแสดงถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ดีขึ้น

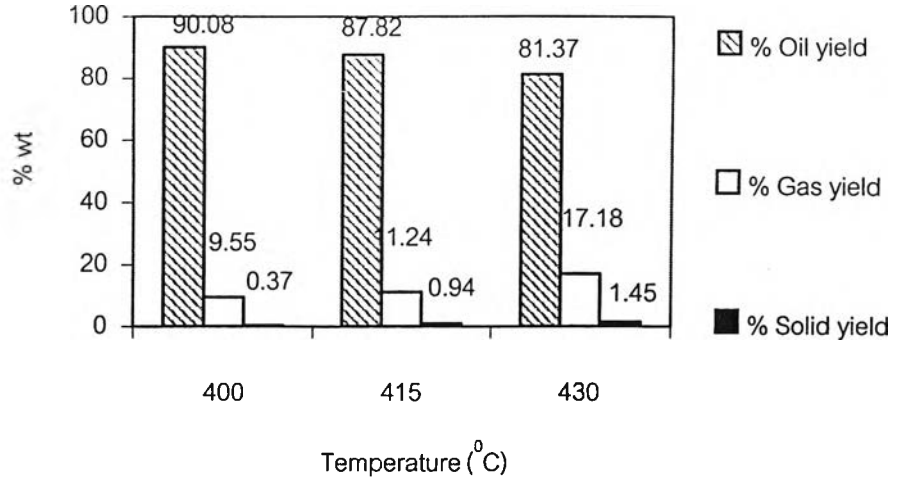
จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปริมาณน้อยลง แต่ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้นั้นมีคุณภาพดีมากขึ้น พิจารณาจากผลได้ของแนฟทาและเคโรซีนที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 400 และ 415 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 430 องศาเซลเซียส สำหรับที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม ได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 83.60 ร้อยละผลได้ของแก๊ส 15.30 ร้อยละผลได้ของแข็ง 1.10 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทา 26.75 เคโรซีน 13.79 แก๊สออยล์เบา 22.99 แก๊สออยล์ 3.76 และกากน้ำมันหนัก 16.30 โดยน้ำหนัก



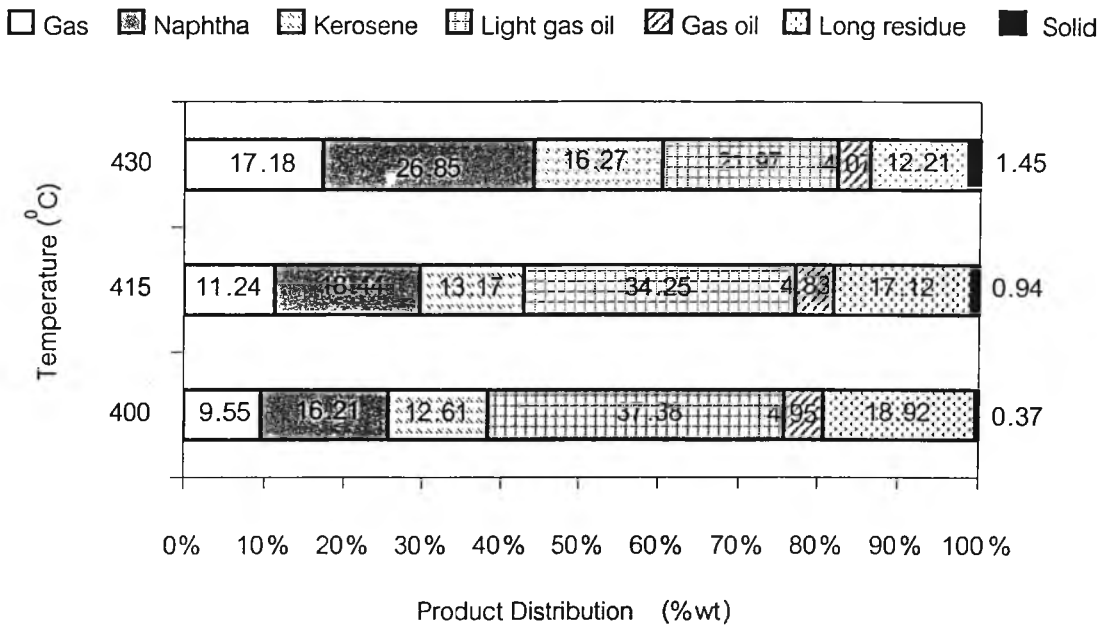
รูปที่ 4.31 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.32 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.33 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.2 กรัม

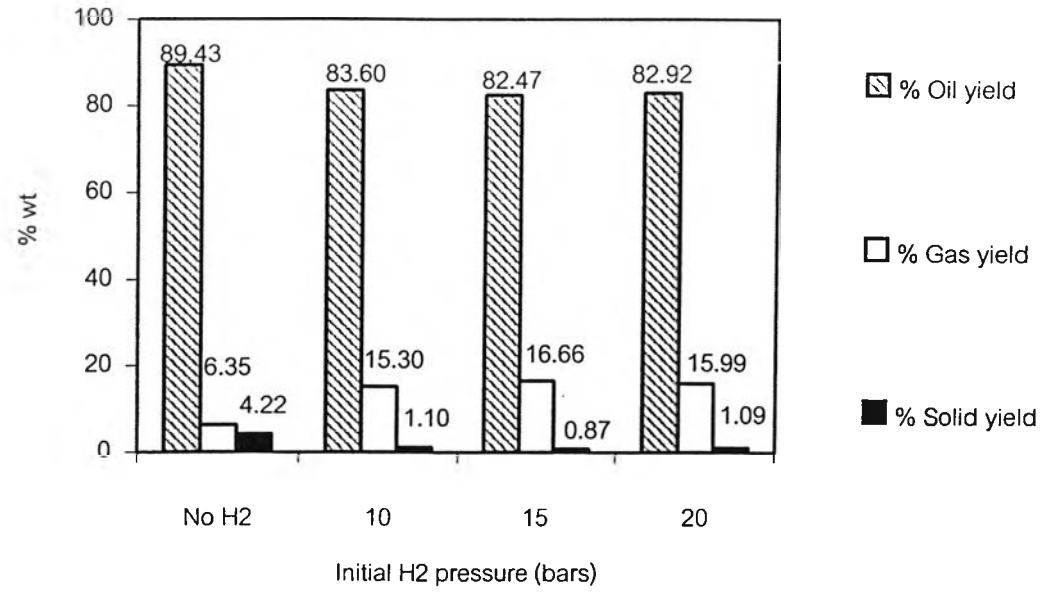


รูปที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.2 กรัม

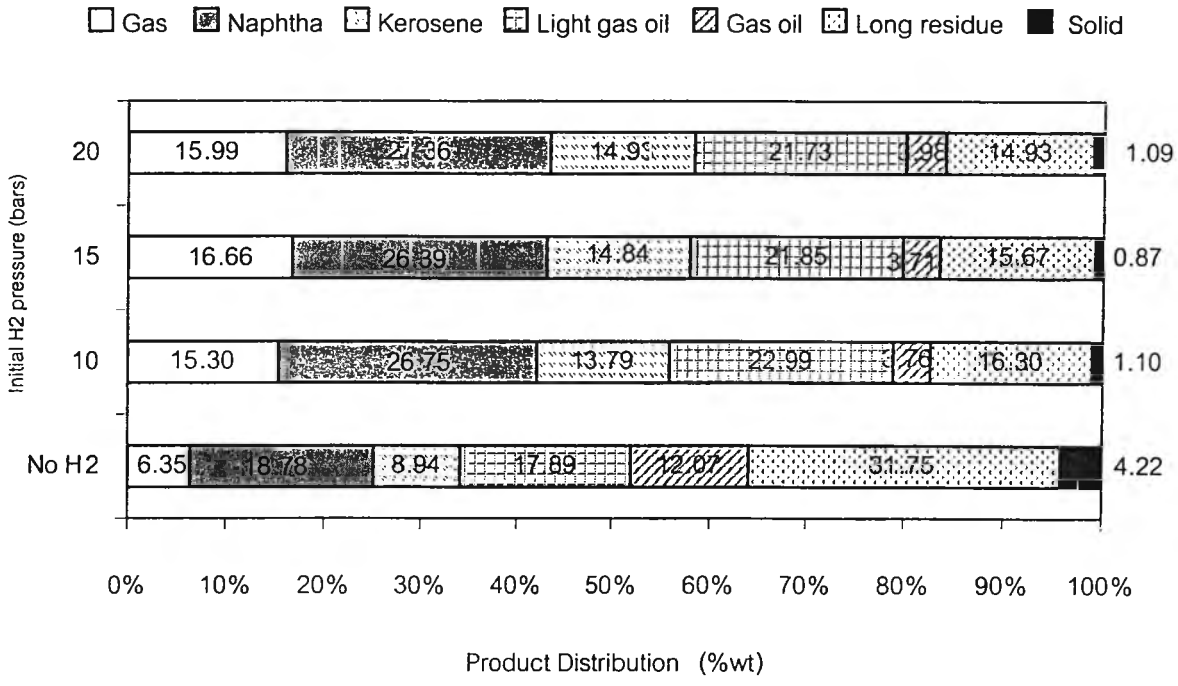
4.3.2.3 อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยทำการทดลองที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 - 20 บาร์ และไม่มีการอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ภาวะการทดลองอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.35 และ 4.36 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่อัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น พบว่าเมื่ออัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจนถึง 10 บาร์ ส่งผลให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 89.43 เป็น 83.60 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 6.35 เป็น 15.30 และมีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 18.78 เป็น 26.75 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 8.94 เป็น 13.79 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 31.75 เป็น 16.30 แต่เมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจาก 10 - 20 บาร์ พบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกันมีแนวโน้มคงที่ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเฉลี่ยประมาณ 83.00 ร้อยละผลได้ของแก๊สประมาณ 15.98 ร้อยละผลได้ของแข็งประมาณ 1.02 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทาโดยเฉลี่ยประมาณ 26.83 เคโรซีน 14.52 แก๊สออยล์เบา 22.19 แก๊สออยล์ 3.82 และกากน้ำมันหนัก 15.63 และที่ 0.2 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกัน แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.37 และ 4.38 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกัน ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 19.19 เป็น 27.58 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 10.47 เป็น 15.50 เมื่อเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่อัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการทดลองเมื่ออุณหภูมิคงที่ อิทธิพลจากการแตกตัวด้วยความร้อน และการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทสำคัญ การอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัว อันจะช่วยส่งเสริมการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการปกคลุมของไฮโดรเจนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา การอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนที่สูง จะส่งเสริมการถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transfer) จากแก๊สเฟสไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ดังนั้นจึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันดีขึ้น พิจารณาได้จากร้อยละผลได้ของแนฟทาที่สูงขึ้น

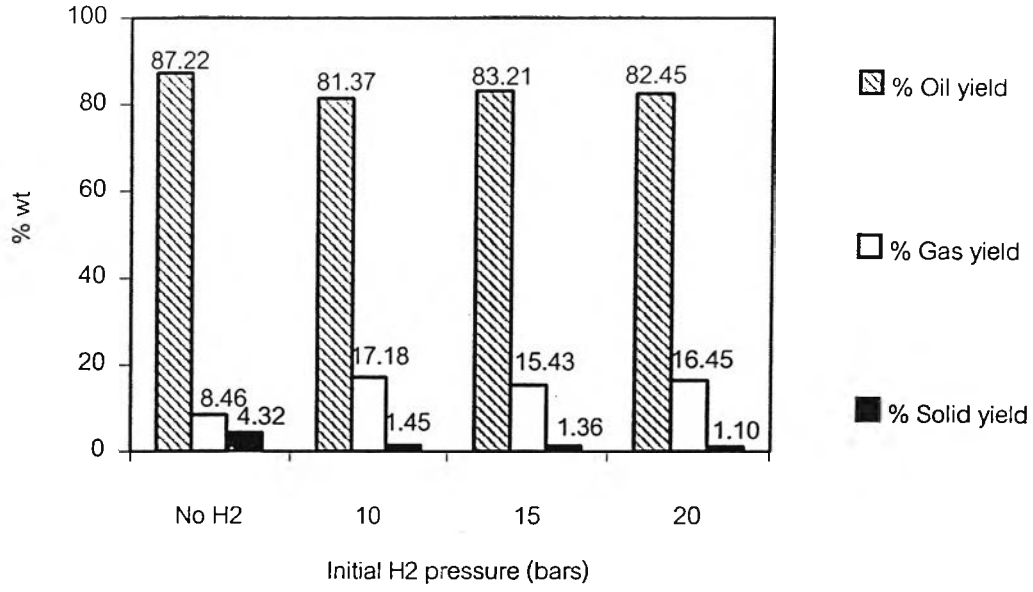
จากผลการทดลองพบว่าความดันไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 10-20 บาร์ ดังนั้นความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการทดลองคือ 10 บาร์



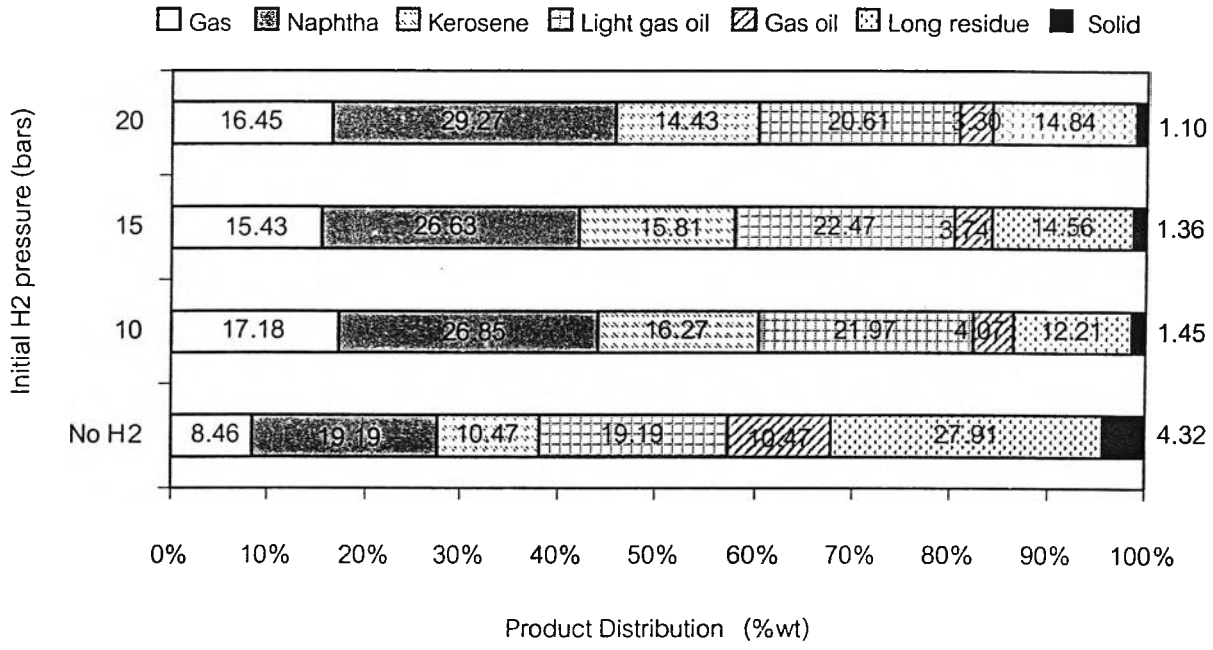
รูปที่ 4.35 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.36 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.37 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.2 กรัม

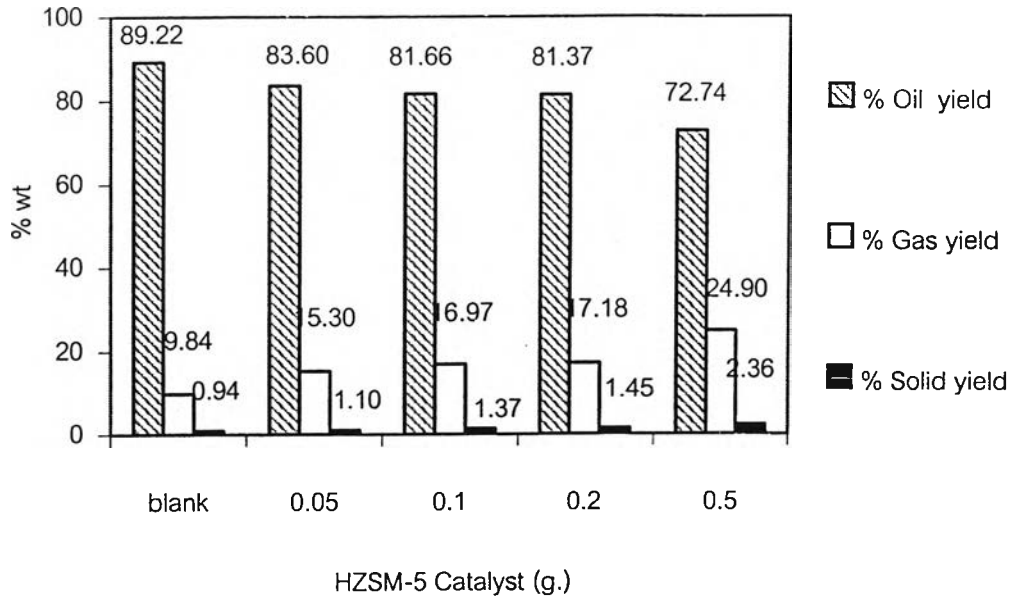


รูปที่ 4.38 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.2 กรัม

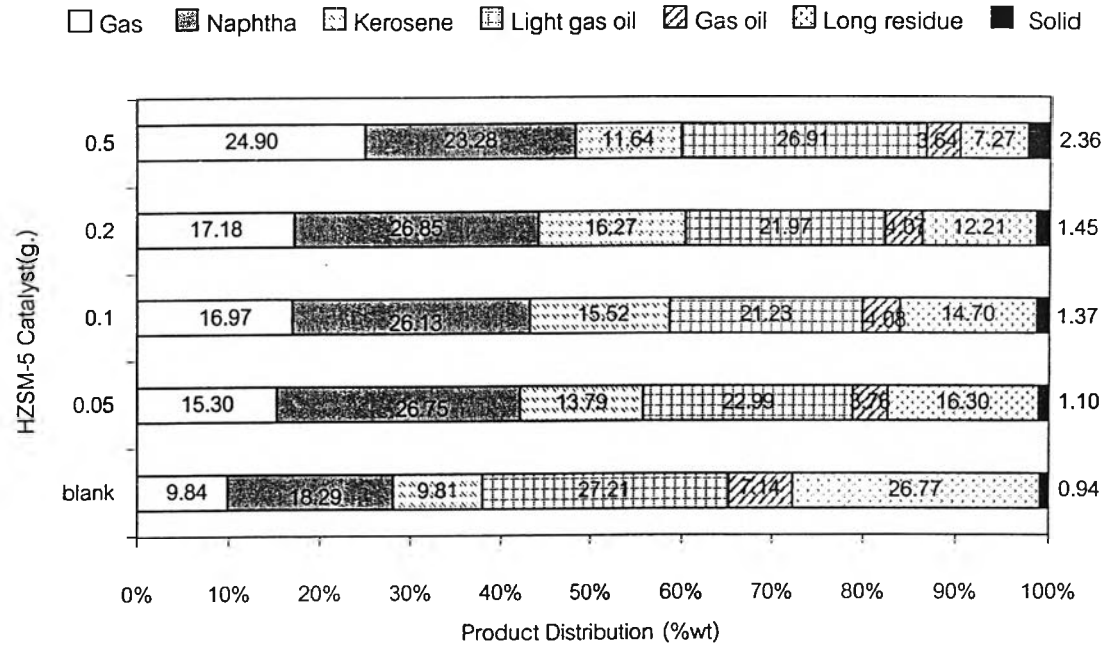
4.3.2.4 อิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ที่มีต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยทำการทดลองที่ 0.05 0.1 0.2 และ0.5 กรัม และไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Thermal cracking) ภาวะการทดลองอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.39 และ 4.40 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา 0.05 กรัม ส่งผลให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 89.22 เป็น 83.60 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 9.84 เป็น 15.30 และมีการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 18.29 เป็น 26.75 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนเพิ่มขึ้นจาก 9.81 เป็น 13.79 ร้อยละผลได้ของกากน้ำมันหนักลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 26.77 เป็น 16.30 แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 0.05 - 0.2 กรัม พบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกันมีแนวโน้มคงที่ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเฉลี่ยประมาณ 82.21 ร้อยละผลได้ของแก๊สประมาณ 16.48 ร้อยละผลได้ของแข็งประมาณ 1.31 ร้อยละองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็นแนฟทาโดยเฉลี่ยประมาณ 26.58 เคโรซีน 15.19 แก๊สออยล์เบา 22.06 แก๊สออยล์ 3.97 และกากน้ำมันหนัก 14.40 แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 0.5 กรัม พบว่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือ 72.74 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มสูงขึ้นถึง 24.90 ร้อยละผลได้ของแนฟทาลดลงเหลือ 23.28 ร้อยละผลได้ของเคโรซีนลดลงเหลือ 11.64 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลจากการแตกตัวด้วยความร้อนในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาจะส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง หลังจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง ซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแนฟทา และแก๊สไฮโดรคาร์บอน เป็นเหตุผลให้เมื่อเพิ่มน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 0.5 กรัม ผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและผลได้ของแนฟทาลดลง เนื่องจากเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 - 0.2 กรัม ให้ผลได้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงของแนฟทาใกล้เคียงกัน ซึ่งผลได้ของแนฟทาสูงกว่ากรณีไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ผลได้ของแนฟทากลับมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 0.5 กรัม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม มีความเหมาะสมเพียงพอต่อการทดลอง



รูปที่ 4.39 ผลของของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ 4.40 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

4.3.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน และคาร์บอนไดออกไซด์

4.3.3.1 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ 45 และ 60 นาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.41 พบว่าเมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานานส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น โดยที่เวลา 60 นาที ภายใต้ภาวะการทดลองข้างต้นได้ร้อยละผลได้โดยโมลของแก๊สมีเทนเท่ากับ 21.58 อีเทน 15.16 โพรเพน 6.00 บิวเทน 2.63 และคาร์บอนไดออกไซด์ 54.63

4.3.3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

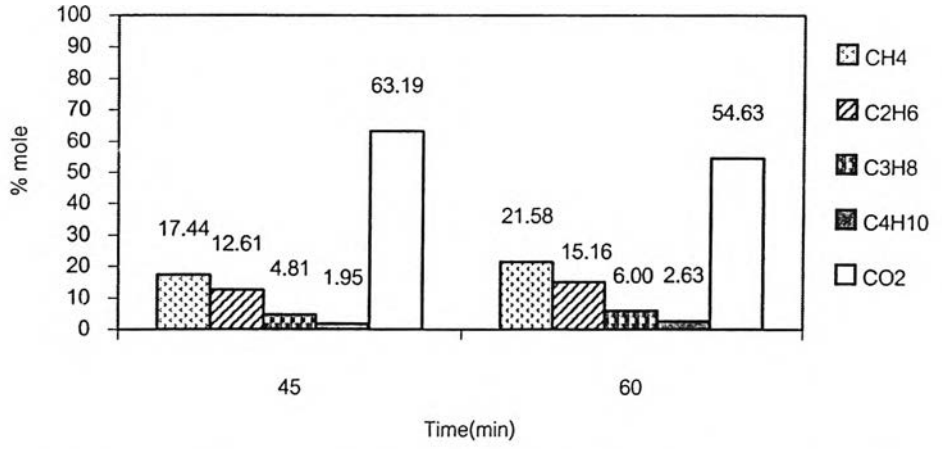
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สดังนี้คือ 400 415 และ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม แสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.42 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีส่วนช่วยในการทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลงจนอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอน โดยที่อุณหภูมิ 415 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะการทดลองข้างต้น ได้ร้อยละผลได้โดยโมลของแก๊สมีเทนเท่ากับ 17.39 อีเทน 12.04 โพรเพน 6.06 บิวเทน 2.29 และคาร์บอนไดออกไซด์ 62.22

4.3.3.3 อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

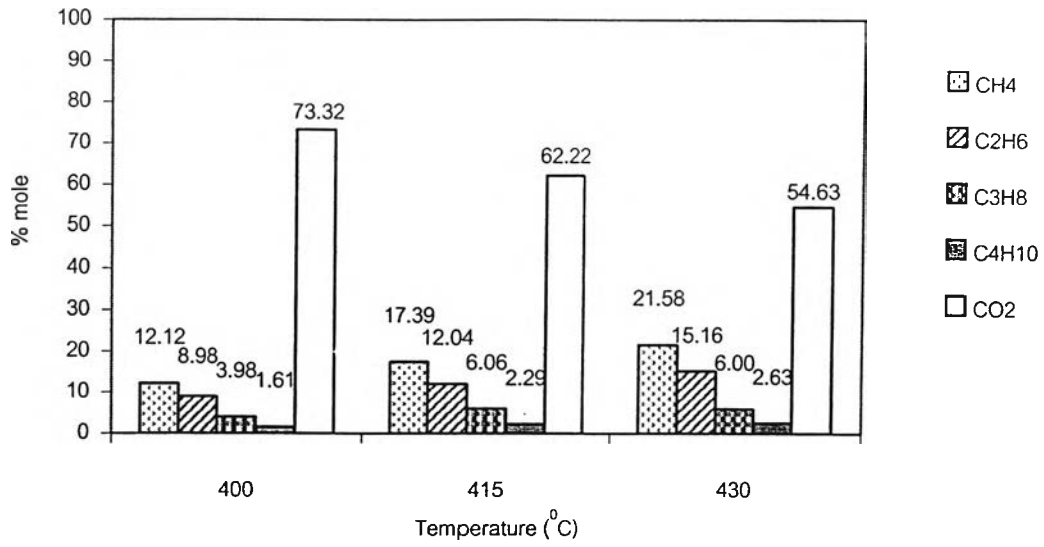
อิทธิพลของความดันสำหรับการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะอุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 - 20 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม พบว่าช่วงความดันระหว่าง 10 - 20 บาร์ มีการกระจายตัวของแก๊สผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

4.3.3.4 อิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

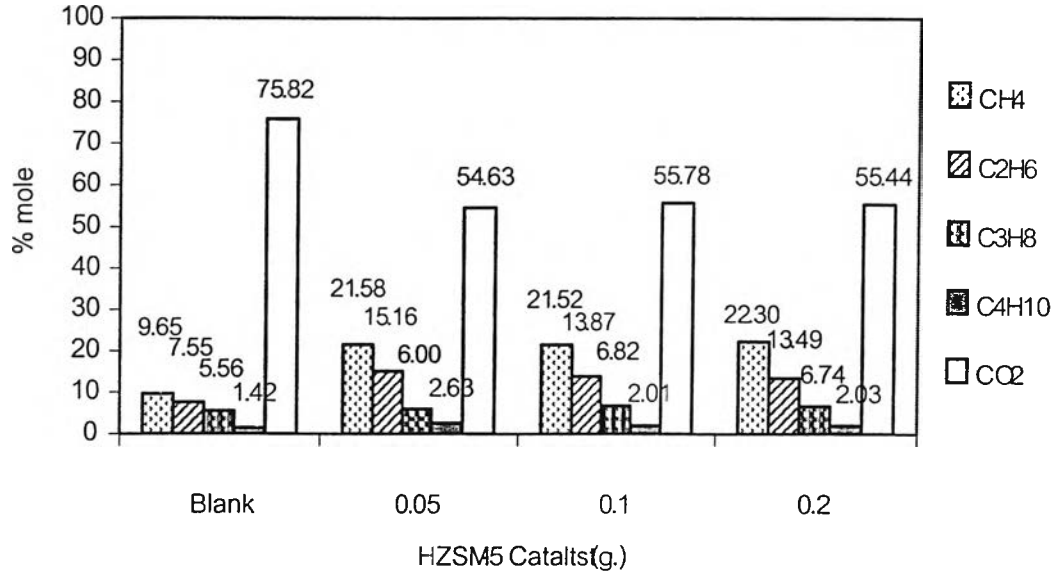
ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาHZSM-5 ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สที่อุณหภูมิคงที่ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 - 0.2 กรัม และไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงในรูปที่ 4.43 พบว่าเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา สัดส่วนของแก๊สไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ในช่วงระหว่าง 0.05 - 0.2 กรัม มีการกระจายตัวของสัดส่วนแก๊สผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 4.41 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.42 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สที่ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.05 กรัม



รูปที่ 4.43 ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่อการกระจายตัวของสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊ส ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

4.6 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

Twaiq et al. (1999) ศึกษาปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กแบบ fixed bed ภายใต้ความดันบรรยากาศ ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 350-450 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์

จากผลการวิจัยและงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลองในตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	Twaiq et al. (1999)	งานวิจัยนี้	
สารตั้งต้น	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันพืชใช้แล้ว	
ตัวเร่งปฏิกิริยา	HZSM-5	HZSM-5	5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง	350 องศาเซลเซียส	430 องศาเซลเซียส	430 องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	-	60 นาที	60 นาที
ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น	-	10 บาร์	10 บาร์
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (โดยน้ำหนัก)	41.80	15.30	17.78
ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน (โดยน้ำหนัก)	43.60	83.60	79.74
ร้อยละผลได้ของแนฟทา (โดยน้ำหนัก)	28.30	26.75	28.14
ร้อยละผลได้ของเคโรซีน (โดยน้ำหนัก)	9.10	13.79	16.56