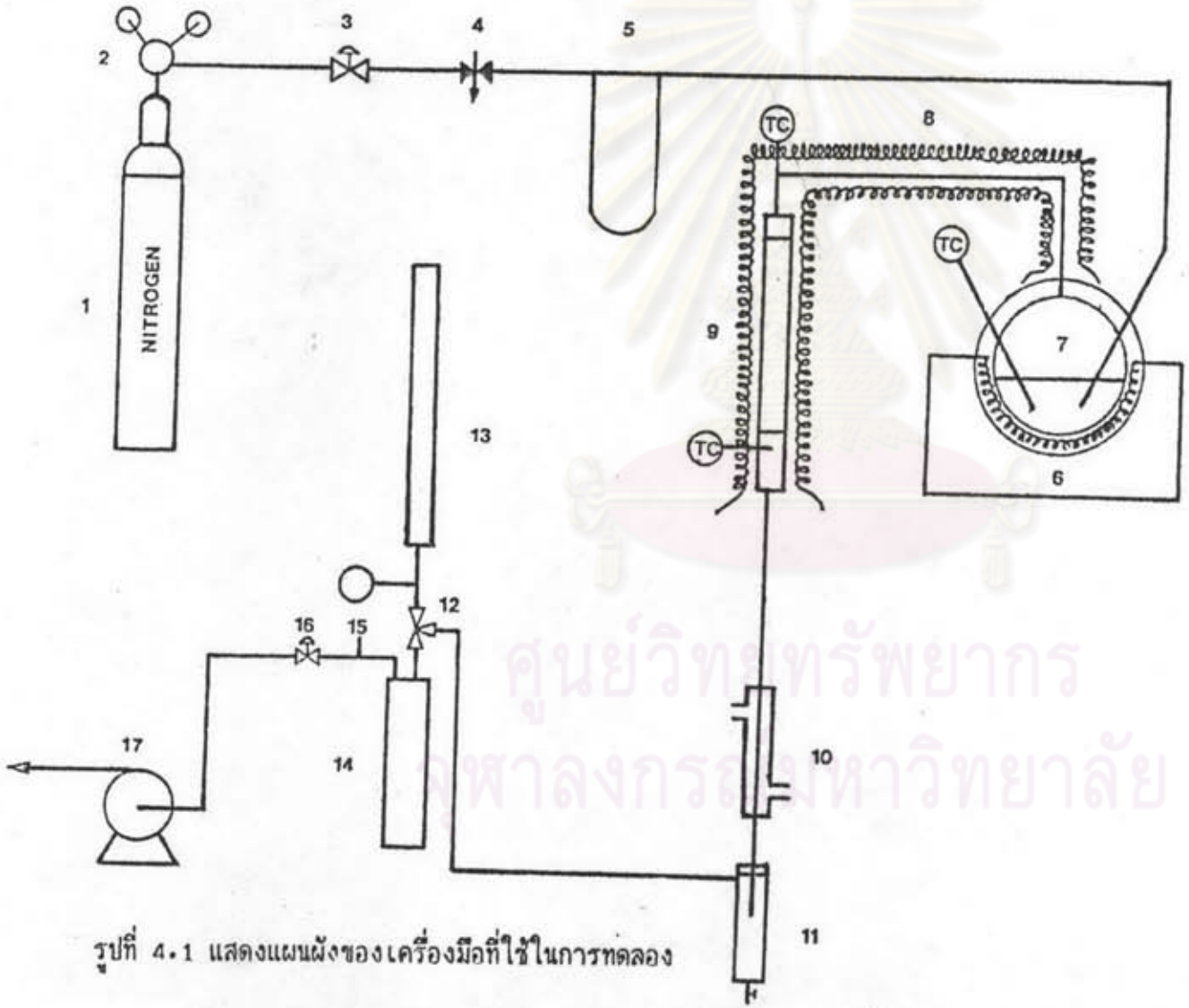
บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 เครื่องมือทดลอง

เครื่องมือทดลองประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ ๆ ห้าส่วนได้แก่ ถังแก๊สไนโตรเจน หม้อต้มน้ำมันปาล์ม เครื่องปฏิกรณ์ ส่วนเก็บตัวอย่างและส่วนควบคุมพร้อมทั้งวัดอัตราไหลขาเข้าของแก๊สไนโตรเจน ดังได้แสดงไว้ตามแผนผังในรูปที่ 4.1 แก๊สไนโตรเจนที่ออกจากถังเก็บจะผ่านเครื่องควบคุมความดัน (pressure regulator) แล้วผ่านเข้าสู่ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว ผ่านเครื่องควบคุมการไหลของแก๊สไนโตรเจนขาเข้าซึ่งประกอบด้วยบอลวาล์ว (ball valve) วาล์วเข็ม (needle valve) และมาโนมิเตอร์ (manometer) ตามลำดับ เข้าสู่หม้อต้มซึ่งบรรจุน้ำมันปาล์มอยู่ภายใน ปลายของท่อนำแก๊สไนโตรเจนจุ่มอยู่ในน้ำมันปาล์ม ให้ความร้อนแก่หม้อน้ำมันด้วยเตาไฟฟ้า(heater mantle) ภายในหม้อต้มมีตัววัดอุณหภูมิ (thermocouple) จุ่มอยู่ในน้ำมันปาล์มและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ น้ำมันปาล์มในสภาพของไอจะผ่านออกจากหม้อต้มผ่านเข้าสู่ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว นำไอเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ท่อนำไอของน้ำมันปาล์มจะพันด้วยลวดความร้อน และรักษาอุณหภูมิให้ได้ประมาณ 300 °ซ โดยตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำมันปาล์มก่อนจะเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะออกจากเครื่องปฏิกรณ์ทางด้านล่าง ผ่านท่อนำผลิตภัณฑ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปของเหลวจะเก็บไว้ในภาชนะเก็บของเหลวรูปทรงกระบอก ซึ่งมีขีดบอกปริมาตร ด้านล่างของภาชนะเก็บของเหลวสามารถเปิด-ปิดได้ เพื่อความสะดวกในขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ทางเคมี (chemical refined distillate) ผลิตภัณฑ์อีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของแก๊ส จะเก็บโดยการแทนที่น้ำในภาชนะรูปทรงกระบอกที่ทราบปริมาตรรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังแก๊สไนโตรเจน
2. เครื่องควบคุมความดัน
3,16. บอล์ลวาล์ว
4. วาล์วละเอียด
5. มาโนมิเตอร์
6. เตาไฟฟ้า
7. ขวดสามคอ
8. ท่อนำไอน้ำมันปาล์มเข้าเครื่องปฏิกรณ์
9. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง
10. เครื่องควบแน่น
11. ชุดเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว
12. วาล์วสามทาง
13. เครื่องวัดอัตราไหลแบบฟองแก๊ส
14. ชุดเก็บผลิตภัณฑ์แก๊ส
15. จุดเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊ส
17. ปั๊มสูญญากาศ

TC = เทอร์โมคัปเปิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 หม้อต้มน้ำมันปาล์ม

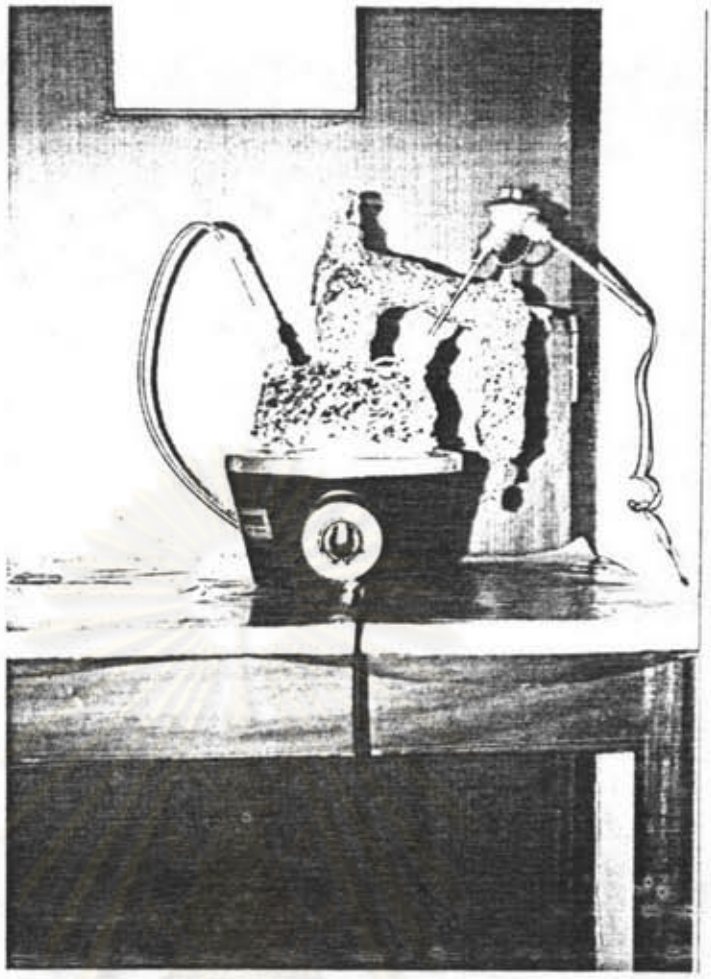
หม้อต้มน้ำมันปาล์มเป็นขวดแก้วทรงกลม มีปริมาตรบรรจุ 1 ลิตร และสามารถทนความร้อนได้สูงไม่ต่ำกว่า 350 °ซ วางอยู่บนเตาไฟฟ้า (heater mantle) ส่วนบนของขวดแก้วทรงกลมมีปลายเปิดสามทาง ใช้สำหรับป้อนแก๊สไนโตรเจน เสียบเครื่องวัดอุณหภูมิ และส่วนที่เหลือใช้สำหรับนำไอของน้ำมันปาล์มออกจากหม้อต้ม ดังรูปที่ 4.2 ส่วนบนของหม้อต้มจะหุ้มด้วยปุยแก้ว(glass wool)และพันทับด้วยผ้าใยหิน (asbestos) อีกชั้นหนึ่งเพื่อเป็นฉนวนความร้อน

4.1.2 เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง

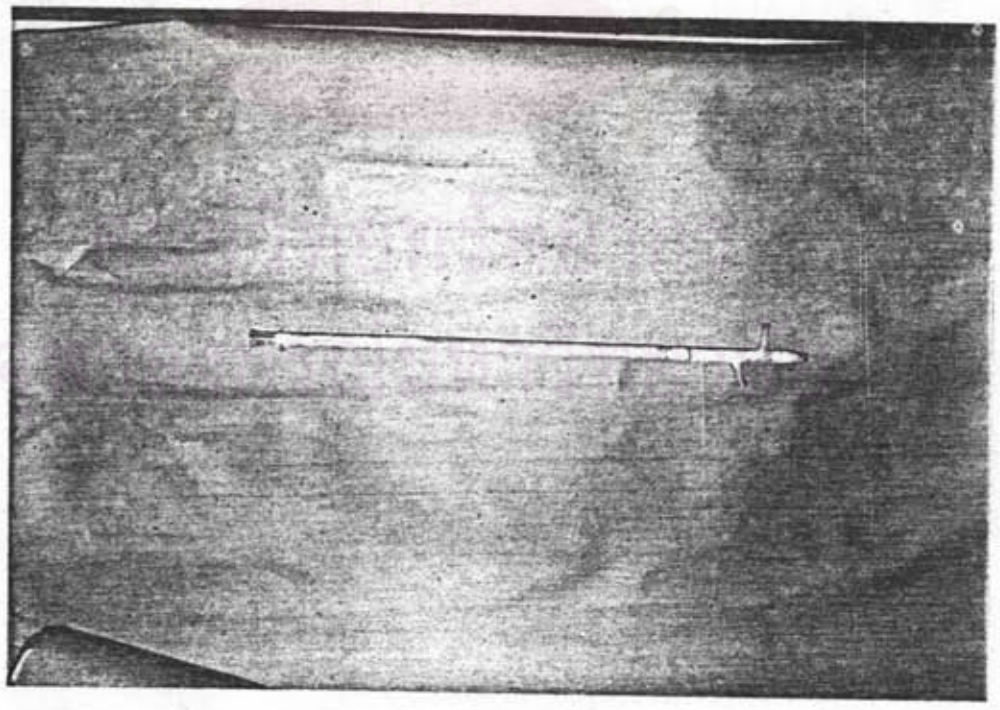
เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่งทำด้วยหลอดแก้วทนไฟ(pyrex tube) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1/2 นิ้ว และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3/8 นิ้ว ยาว 19 นิ้วดังรูปที่ 4.3 มีพื้นที่หน้าตัดภายใน 0.1104 ตารางนิ้ว ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์เคมีบรรจุปุยแก้วเพื่อให้ไอของน้ำมันปาล์มขาเข้าไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เคมีอย่างสม่ำเสมอ ส่วนด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เคมีติดตะแกรงสเตนเลสขนาด 60 เมช เพื่อรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ให้ไหลออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมี และมีท่อสำหรับเสียบตัววัดอุณหภูมิปลายท่อจะปิดด้วยแผ่นเซ็บ-ตัม(septum) เพื่อกั้นไม่ให้ผลิตภัณฑ์รั่วออกมา ปลายของตัววัดอุณหภูมิจะอยู่ใต้ตะแกรงสเตนเลส ตัววัดอุณหภูมินี้จะต่อเข้ากับชุดควบคุมอุณหภูมิ ภายนอกของเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะพันด้วยขดลวดความร้อนซึ่งหุ้มด้วยเม็ดเซรามิค จากนั้นใช้ปุยแก้วและผ้าใยหินพันทับอีกชั้นหนึ่งเพื่อเป็นฉนวนความร้อน ส่วนปลายของเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะต่อด้วยหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว เพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมีเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลอดแก้วสองชั้น หลอดแก้วชั้นในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว สำหรับให้ผลิตภัณฑ์ไหลผ่าน ส่วนหลอดแก้วชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่า-ศูนย์กลาง 1 2/8 นิ้ว สำหรับให้น้ำเย็นไหลผ่าน ท่อยาว 15 นิ้ว น้ำเย็นที่ใช้ในการหล่อเย็นได้จากเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของหม้อต้มน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.3 แสดงเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.4 ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวและแก๊ส

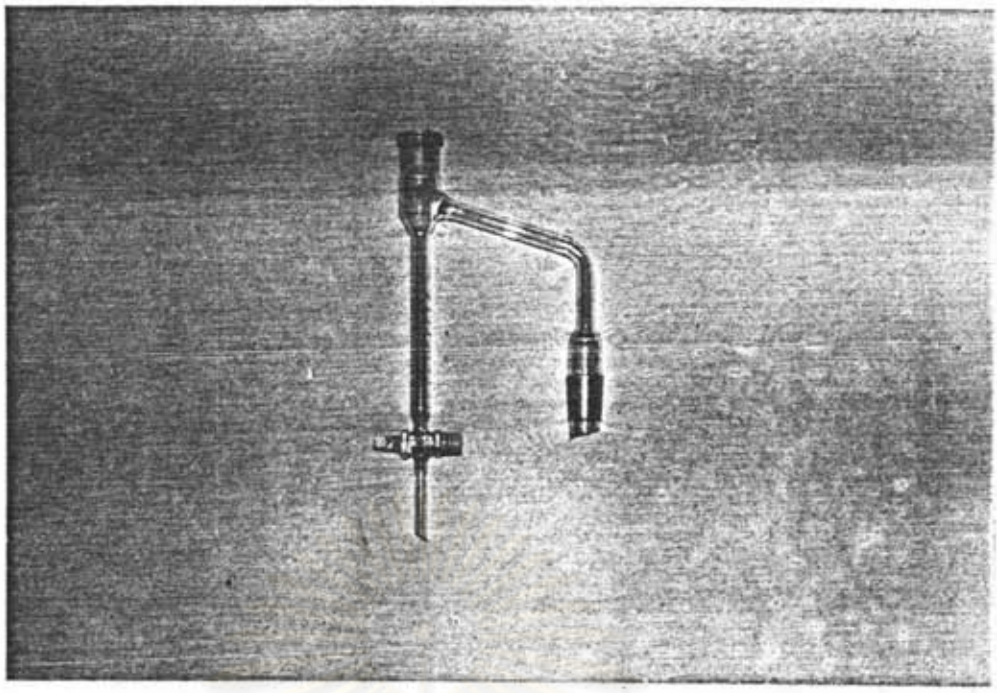
ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลอดแก้วรูปทรงกระบอกมีขีดบอกปริมาตรที่แน่นอน ขนาด 10 มิลลิลิตร ประกอบด้วยปลายเปิดสามทาง ปลายเปิดด้านบนปิดด้วยจุกยางและมีหลอดแก้วจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเสียบอยู่ ปลายเปิดด้านล่างของหลอดแก้วจะมีก๊อกสามารถเปิด-ปิดได้ เพื่อลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว และเพื่อความสะดวกในขั้นตอนทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวบริสุทธิ์ทางเคมี เพราะขั้นตอนนี้ต้องมีการเติมกรดด่างและน้ำ แล้วมีการถ่ายเทส่วนที่ไม่ต้องการออกทิ้งไป ปลายเปิดสุดท้ายซึ่งอยู่ทางด้านข้างของหลอดปิดด้วยจุกยางและมีหลอดแก้วเสียบอยู่เพื่อนำส่วนที่เป็นแก๊สไปเก็บในท่อเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำส่วนท่อที่เก็บผลิตภัณฑ์แก๊สโดยการแทนที่น้ำจะวางอยู่ในอ่างน้ำ ส่วนด้านบนของท่อเก็บแก๊สจะมีหลอดแก้วเสียบอยู่สองหลอด หลอดแก้วแรกใช้สำหรับดึงตัวอย่างแก๊สไปวิเคราะห์ส่วนตรงปลายของหลอดแก้วนี้จะมีเซ็บตัม(septum)เสียบอยู่ เพื่อกันการรั่วของผลิตภัณฑ์แก๊ส ส่วนหลอดแก้วที่เหลือจะต่อเข้ากับวาล์วสามทาง ซึ่งปลายด้านหนึ่งของวาล์วจะต่อเข้ากับปั๊มสูญญากาศ (vacuum pump) อีกด้านหนึ่งเปิดสู่บรรยากาศ เพื่อสูบน้ำเข้าท่อเก็บแก๊ส ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5

4.1.5 เครื่องวัดอัตราไหลแบบฟองแก๊สและแบบมาโนมิเตอร์

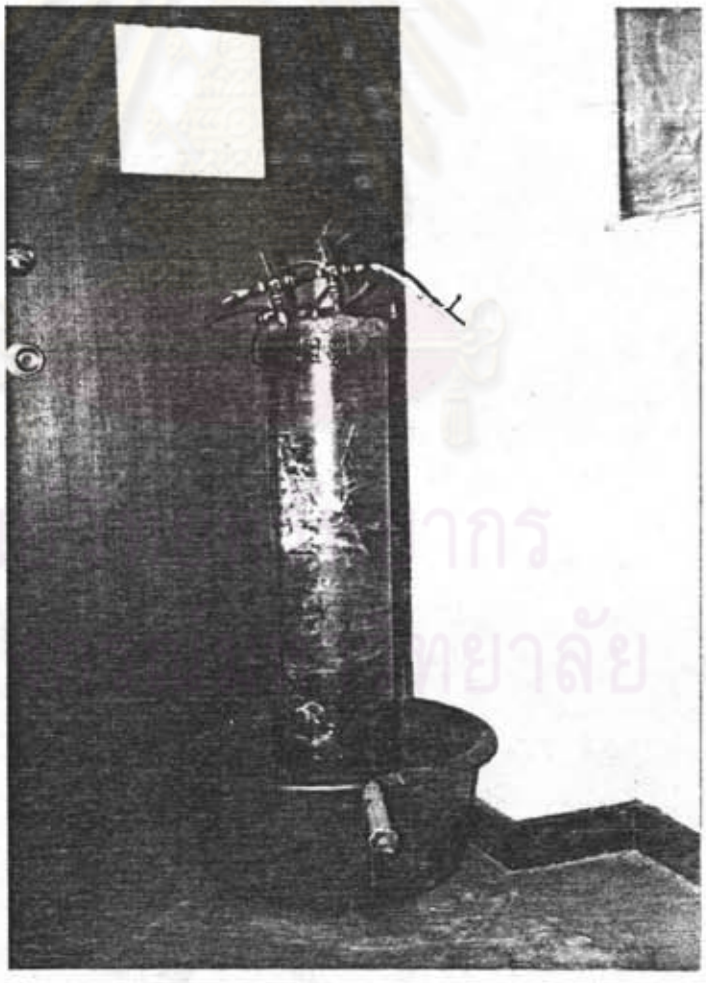
เครื่องวัดอัตราไหลแบบฟองแก๊สทำจากบิวเรตต์(burette)ที่มีขีดบอกปริมาตรที่แน่นอน นำมาต่อเข้ากับแก้วสามทางรูปตัววาย(Y) ปลายด้านหนึ่งของแก้วสามทางต่อเข้ากับบิวเรตต์ อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับท่อแก๊สขาออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมีและปลายส่วนที่เหลือต่อเข้ากับลูกยางซึ่งมีแชมพูไหลเข้าสู่บิวเรตต์ จับเวลาการเคลื่อนตัวของฟิล์มกับปริมาตรจากบิวเรตต์ ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาอัตราไหลของแก๊สไนโตรเจนออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมี ดังรูปที่ 4.6 ส่วนเครื่องวัดอัตราไหลแบบมาโนมิเตอร์เป็นหลอดแก้วรูปตัวยู(U) ภายในบรรจุน้ำมันพืชและเติมสีลงไป เพื่อให้มองเห็นระดับความสูงได้ชัดเจน

4.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว



รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือเก็บผลิตภัณฑ์แก๊ส

คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม มีดังต่อไปนี้

Fatty acid composition	wt %
$<C_{12}$	nil
Lauric	1.0
Myristic	1.6
Palmitic	37.1
Stearic	3.2
Oleic	47.2
Linoleic	9.9

4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาเครกกิงในสภาพของไหลของเหลว (fluid catalytic cracking, FCC)ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมันของบริษัท ไทยออยล์ จำกัด คือตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด GXO-40

คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ชนิด GXO-40 มีดังต่อไปนี้

Chemical Analysis wt% dry basis	
% Volatile at 1500 °F	12.3
% Al_2O_3	32.8
% Na_2O	0.71
% Fe	0.50

Particle Size Distribution wt%		
Method : Micromesh Sieves		
% 0-20	µm (Microns)	0
% 20-40	µm	9
% 40-80	µm	59
% Plus 80	µm	32
average particle size	µm	68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Physical Properties

Surface Area, m^2/g	202
Pore Volume, mls/g	0.29
Apparent Bulk Density, g/ml	0.66

นำตัวเร่งปฏิกิริยามาอัดแน่นด้วยเครื่องอัดเม็ดยา(pelletizer) จากนั้นนำมาบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 20/40 เมช

4.4 การทำผลิตภัณฑ์ของเหลวให้บริสุทธิ์ทางเคมี

ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยา ซึ่งเก็บในภาชนะหลอดแก้วที่บอกปริมาตรแน่นอน นำมาเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96% ของเหลวจะแบ่งออกเป็นสองชั้น เปิดก๊อกซึ่งอยู่ด้านล่างของหลอดแก้วเพื่อถ่ายของเหลวส่วนล่างทิ้ง จากนั้นล้างของเหลวชั้นบนที่อยู่ในหลอดแก้วด้วยน้ำกลั่นปริมาณมากเกินพอ และถ่ายของเหลวส่วนล่างทิ้ง เติมสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10% ลงไป ถ่ายของเหลวส่วนล่างทิ้งไป แล้วล้างของเหลวส่วนที่เหลือในหลอดแก้วด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นถ่ายของเหลวส่วนที่อยู่ด้านล่างทิ้งไป ของเหลวในหลอดแก้วคือ ผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

4.5 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในส่วนของเหลวซึ่งได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี VARIAN รุ่น VISTA 4600 มีตัวตรวจแบบ FID ข้อมูลจากเครื่อง VISTA 4600 จะส่งเข้าคำนวณผลและพิมพ์ในส่วนประมวลผล VISTA 401 ดังรูปที่ 4.7

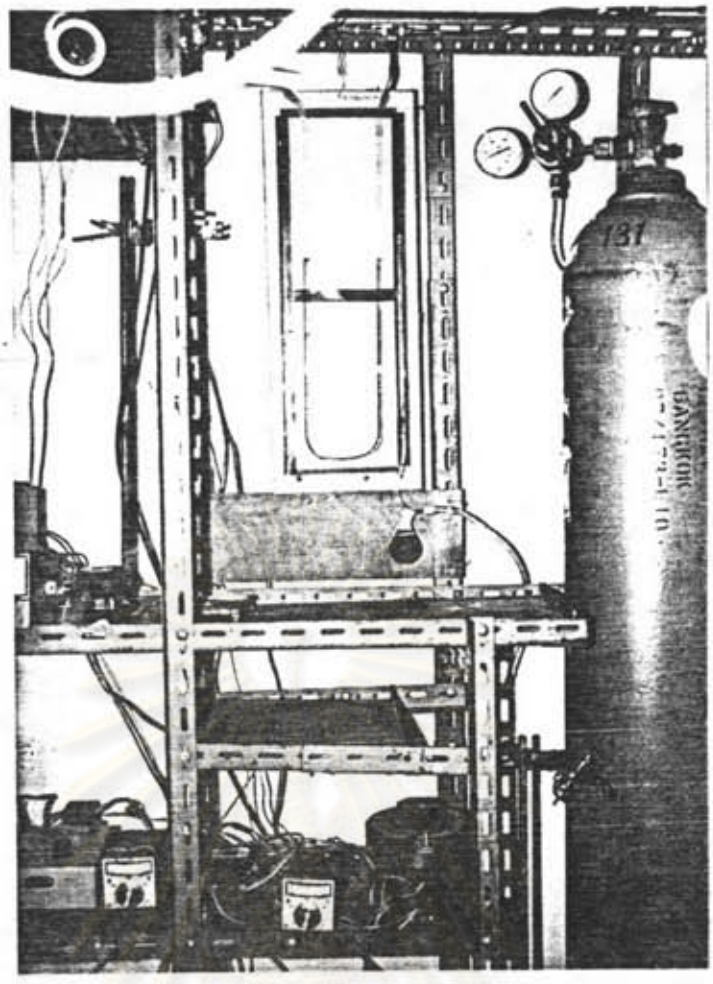
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในส่วนของแก๊ส ซึ่งเก็บอยู่ในท่อเก็บแก๊ส นำมาวิเคราะห์แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนเป็นต้น ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี GOR MAC รุ่น Series 150 มีตัวตรวจแบบ TCD ดังรูปที่ 4.8 ส่วนแก๊สที่เป็นพวกไฮโดรคาร์บอนเบาจะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี GOW MAC รุ่น Series 750 ซึ่งมีตัวตรวจแบบ FID ดังรูปที่ 4.9 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

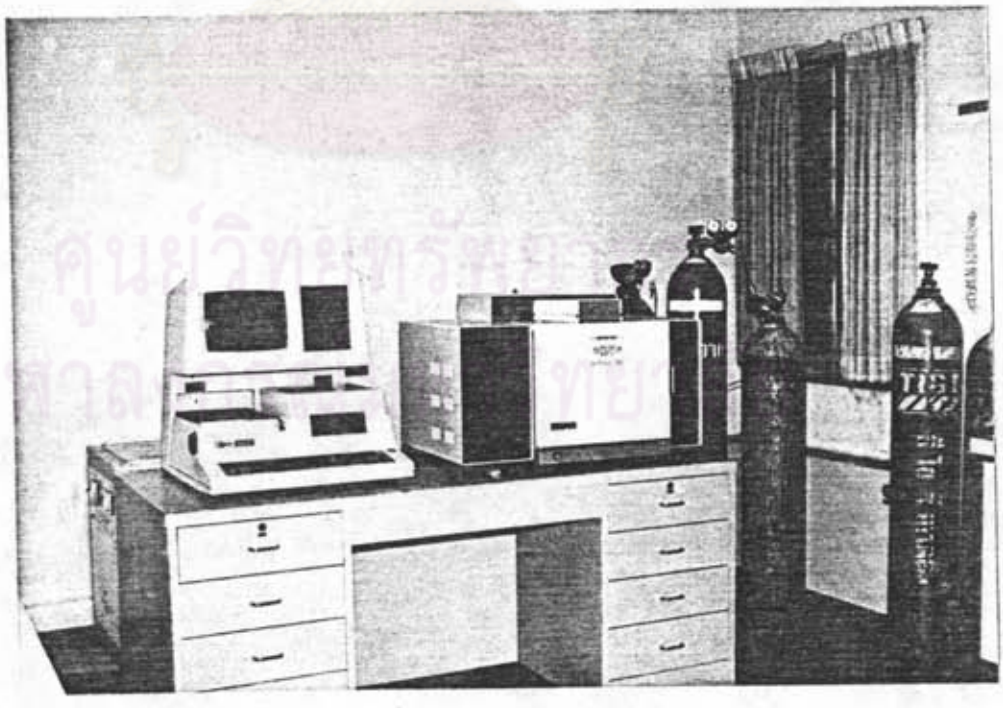
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	GOW-MAC		VISTA 4600
	150	750	
วิเคราะห์	H_2, N_2	ไฮโดรคาร์บอน	ไฮโดรคาร์บอน
ชนิดของตัวตรวจ	TCD	FID	FID
ชนิดของคอลัมน์	MS 5 A	2% n-octane on Porasil-c (80/100)	30% DC 200 on Chromosorb P A/W(60/80)
ขนาดและความยาวของคอลัมน์	1/8"x3 m (SS)	1/8"x2.4 m (SS)	1/8"x20' (SS)
ชนิดของแก๊สพา	Ar	N_2	N_2
อัตราไหลของแก๊สพา(ซม^3/นาที)	30	25	30
ขนาดของสารตัวอย่าง (ซม^3)	2	2	0.2 ไมโครลิตร
อุณหภูมิของคอลัมน์(°ซ)	60	60	80-300
กระแสไฟฟ้าสำหรับ TCD (mA)	80	-	-

FID = Flame Ionized Detector

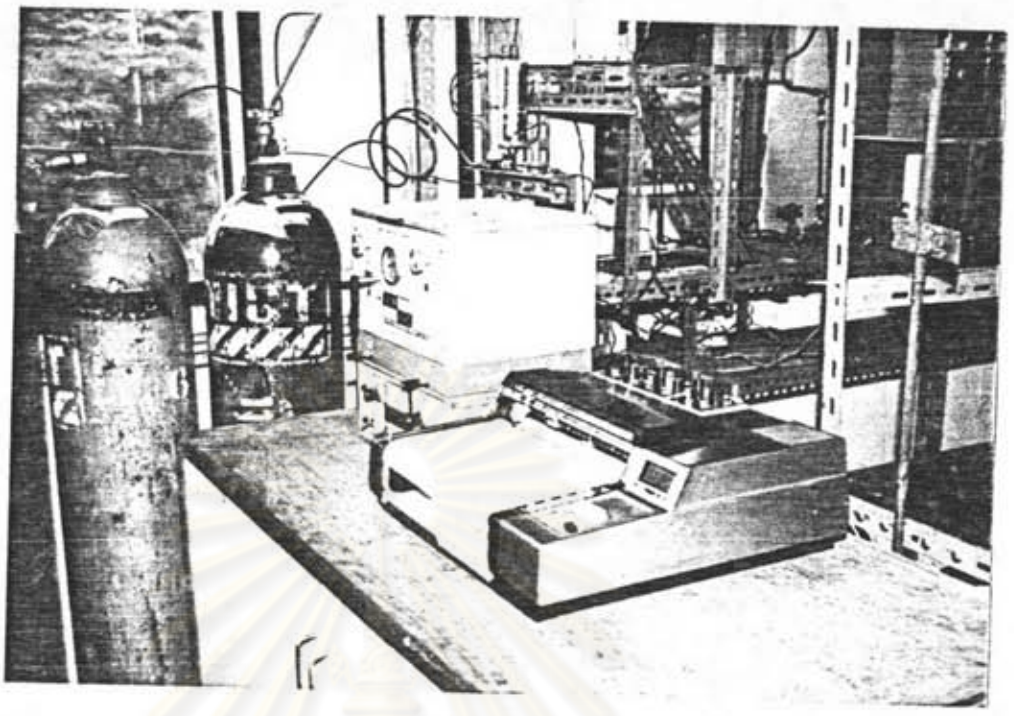
TCD = Thermal Conductivity Detector



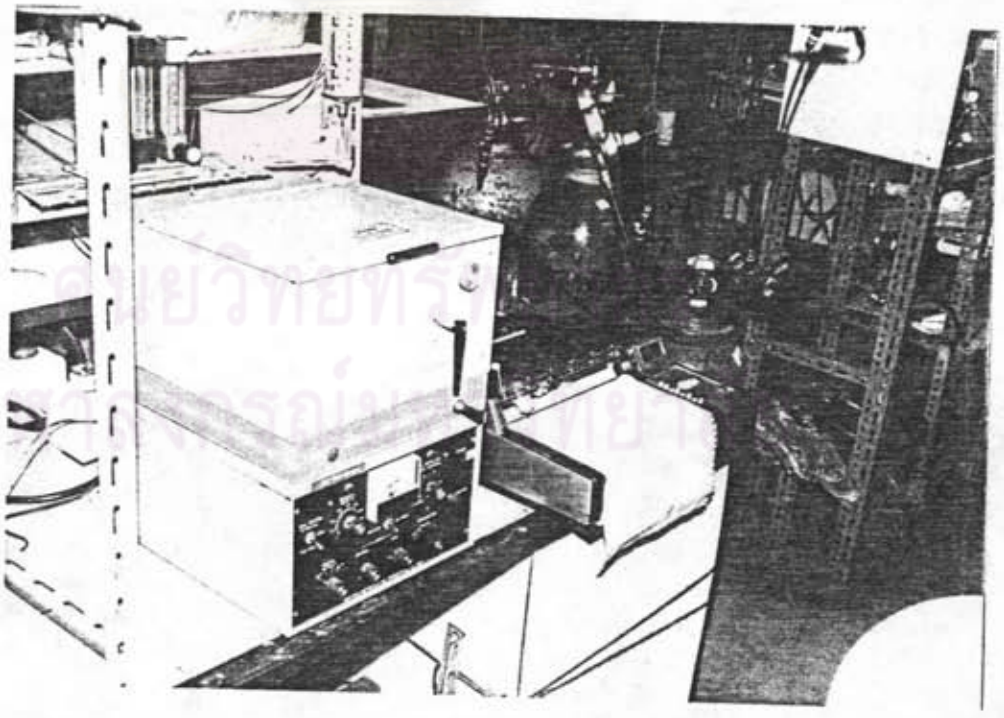
รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องวัดอัตราไหลแบบฟองแก๊ส



รูปที่ 4.7 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.8 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สแบบ TCD



รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สแบบ FID

4.6 <u>ลำดับขั้นการทดลอง</u>

1. เปิดเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทั้งสามเครื่องตามสภาวะของการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 และเปิดเครื่องระบบทำน้ำเย็นเพื่อใช้กับเครื่องควบแน่น พร้อมทั้งสูบน้ำเข้าถังเก็บแก๊สให้เต็มโดยใช้ปั๊มสูญญากาศ

2. เปิดถังแก๊สไนโตรเจน และปรับเครื่องควบคุมความดันข้างถัง โดยวาล์วหมายเลข 3 และ 4 ยังปิดอยู่

3. เปิดวาล์วหมายเลข 3 ให้เต็มที่แล้วปรับวาล์วหมายเลข 4 ให้อัตราการไหลของไนโตรเจนมีค่า 60 มิลลิลิตรต่อนาที ปล่อยให้แก๊สไนโตรเจนผ่านเป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่อากาศออกจากระบบให้หมด

4. จากนั้นปรับวาล์วหมายเลข 4 เพื่อควบคุมอัตราไหลของไนโตรเจนพร้อมทั้งดูระดับความแตกต่างของของเหลวในมาโนมิเตอร์

5. ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือ 350 400,450 และ 500 °ซ โดยให้ค่าความเร็วเชิงสเปซคงที่ ในขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนแก่ท่อแก้วหมายเลข 8 อุณหภูมิ 300 °ซ เพื่อกันการควบแน่นของไอของน้ำมันปาล์ม

6. เมื่ออุณหภูมิของท่อแก้วหมายเลข 8 และของเครื่องปฏิกรณ์ได้ตามต้องการแล้วเริ่มให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำมันปาล์ม จนอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 40 °ซ ให้สับวาล์วหมายเลข 12 เพื่อเก็บผลิตภัณฑ์แก๊สจากปฏิกิริยาโดยการแทนที่น้ำ

7. เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันปาล์มเท่ากับ 350 °ซ เริ่มจับเวลาจนได้ 90 นาที แล้วสับวาล์วหมายเลข 12 เพื่อปล่อยให้แก๊สออกสู่บรรยากาศ

8. วัดความสูงของระดับน้ำในท่อเก็บแก๊ส และอุณหภูมิของน้ำ

9. นำผลิตภัณฑ์ส่วนของของเหลวไปทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี และนำผลิตภัณฑ์ทั้งแก๊สและของเหลวมาวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

10. นำตัวเร่งปฏิกิริยาไปชั่งเพื่อหาปริมาณโค้กและนำน้ำมันปาล์มที่เหลือจากปฏิกิริยาไปชั่ง เพื่อหาน้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่หายไป

11. ทำการทดลองในทำนองเดียวกัน โดยให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ เท่ากับ 450 °ซ แล้วทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซ

4.7 <u>สภาวะของการทดลอง</u>

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทำการทดลองที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ค่าต่าง ๆ โดยความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่

2. ทำการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซค่าต่าง ๆ โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่

4.7.1 <u>การทดลองที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ค่าต่างๆโดยความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่</u>

ตารางที่ 4.2 แสดงสภาวะของการทดลองเมื่อความเร็วเชิงสเปซคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ ($ชม^{-1}$)
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์	
350	300	350	0.7350
350	300	400	0.6985
350	300	450	0.7350
350	300	500	0.7039

4.7.2 <u>การทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซค่าต่างๆโดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่</u>

ตารางที่4.3 แสดงสภาวะการทดลองเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ450 °ซ ที่ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.3172 ชม.$^{-1}$

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม$^{-1}$)
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์	
350	300	450	0.3307
350	300	450	0.7350
350	300	450	1.5863
350	300	450	2.1372

4.8 <u>ผลการทดลอง</u>

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ผลของการทดลองเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่

2. ผลของการทดลองเมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วเชิงสเปซ โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์คงที่

4.8.1 ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่

4.8.1.1 <u>อัตราเฉลี่ยของการป้อนของน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์</u>

น้ำมันปาล์มที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์มีสภาพเป็นไอโดยได้รับความร้อนจากเตาไฟฟ้า(heater mantle)ด้วยอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 350 °ซ ในเวลา 90 นาที ผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่4.10

4.8.1.2 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม

ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ค่าต่าง ๆเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่ จะมีผลทำให้เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมมีค่าต่าง ๆ กัน ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.11

4.8.1.3 การกระจายของผลิตภัณฑ์

ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ค่าต่าง ๆเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่ จะมีผลต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12

4.8.1.4 การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส

ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ค่าต่าง ๆเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่จะมีผลต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

4.8.1.5 อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ค่าต่าง ๆ เท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ โดยความเร็วเชิงสเปซคงที่จะมีผลต่ออัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13

4.8.2 ผลของการเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซโดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่

4.8.2.1 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม

ผลของการเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซที่ค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$ โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ทำให้มีผลต่อเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.14

4.8.2.2 การกระจายของผลิตภัณฑ์

ผลของการเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซที่ค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$ โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ทำให้การกระจายของผลิตภัณฑ์มีค่าต่าง ๆ กันดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.15

4.8.2.3 การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส

ผลของการเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซที่ค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$ โดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ450 °ซ จะมีผลต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11

4.8.2.4 อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน)ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลของการเปลี่ยนความเร็วเชิงสเปซที่ค่าต่าง ๆ เท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$ ตามลำดับโดยอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ จะมีผลต่ออัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน)ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.16

4.9 สรุปผลการทดลอง

เงื่อนไขและผลของการทดลองในแต่ละการทดลองได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 4.13-4.19

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของอัตราป้อนของน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ความเร็วเชิงสเปซคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ ($ชม.^{-1}$)	อัตราการป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (กรัม/นาที)
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		
350	300	350	0.7350	0.0789
350	300	400	0.6985	0.0755
350	300	450	0.7350	0.0789
350	300	500	0.7039	0.0755

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350 400, 450 และ500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ ($ชม.^{-1}$)	เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		
350	300	350	0.7350	67.2197
350	300	400	0.6985	69.5765
350	300	450	0.7350	86.6451
350	300	500	0.7039	94.9294

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ ($ชม^{-1}$)	เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนัก)							
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		ของแข็ง	ของเหลว					แก๊ส	รวม
					ไฮโดรคาร์บอนเหลว			น้ำ	รวม		
					แก๊สโซลีน	ไฮโดรคาร์บอนหนัก	รวม				
350	300	350	0.7350	15.5052	2.4111	6.2026	8.6137	16.7603	25.3740	59.1208	100
350	300	400	0.6985	15.6407	3.5635	5.1256	8.6891	16.9091	25.5982	58.7611	100
350	300	450	0.7350	13.6545	10.0705	8.6427	18.7132	19.5065	38.2197	48.1258	100
350	300	500	0.7033	13.0128	9.1670	7.3933	16.5603	4.6474	21.2077	65.7795	100

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาตะคะไลติกเคร็กกิงเมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ ($ชม.^{-1}$)	เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนัก)			เปอร์เซนต์การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนเบา (C_1-C_6) โดยน้ำหนัก										
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		ไฮโดรคาร์บอนเบา (C_1-C_6)	แก๊สอื่น ๆ	รวม	C_1	C_2	$C_3^=$	C_3	$C_4^=$	i-C_4	n-C_4	i-C_5	n-C_5	C_6	รวม
350	300	350	0.7350	38.9225	61.0775	100	3.3509	2.4586	10.1985	17.2282	6.1191	15.3160	12.1471	11.1455	13.1124	8.9237	100
350	300	400	0.6985	52.7175	47.2825	100	3.1659	1.8422	7.6419	12.3089	9.1703	30.4722	7.1234	16.7030	6.8777	4.6945	100
350	300	450	0.7350	77.0992	22.9008	100	5.3272	3.1543	9.3227	17.3486	13.0640	19.8195	8.8934	12.3018	6.6240	4.1445	100
350	300	500	0.7039	81.7437	18.2563	100	9.4958	4.4944	7.5828	19.0147	15.0043	20.3860	7.8536	7.8824	4.3561	3.9299	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน)ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงเมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ500 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม.$^{-1}$)	อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการต่อน้ำหนักของตัวเร่ง-ปฏิกิริยา (นาที$^{-1}$)
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		
350	300	350	0.7350	200×10^{-6}
350	300	400	0.6985	300×10^{-6}
350	300	450	0.7350	1100×10^{-6}
350	300	500	0.7039	1000×10^{-6}

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่เท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม.$^{-1}$)	เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		
350	300	450	0.3307	98.6531
350	300	450	0.7350	86.6451
350	300	450	1.5863	77.0861
350	300	450	2.1372	71.6955

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ มีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$

อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม$^{-1}$)	เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนัก)							
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		ของแข็ง	ของเหลว					แก๊ส	รวม
					ไฮโดรคาร์บอนเหลว			น้ำ	รวม		
					แก๊สโซลีน	ไฮโดรคาร์บอนหนัก	รวม				
350	300	450	0.3307	17.5805	0.4304	0.8715	1.3019	14.2545	15.5564	66.8631	100
350	300	450	0.7350	13.6545	10.0705	8.6427	18.7132	19.5065	38.2197	48.1258	100
350	300	450	1.5863	5.2547	5.8936	11.6603	17.5539	18.0630	35.6169	59.1284	100
350	300	450	2.1372	5.4126	1.0442	2.3803	3.4245	24.9813	28.4058	66.1816	100

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าต่างๆเท่ากับ 0.3307 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$

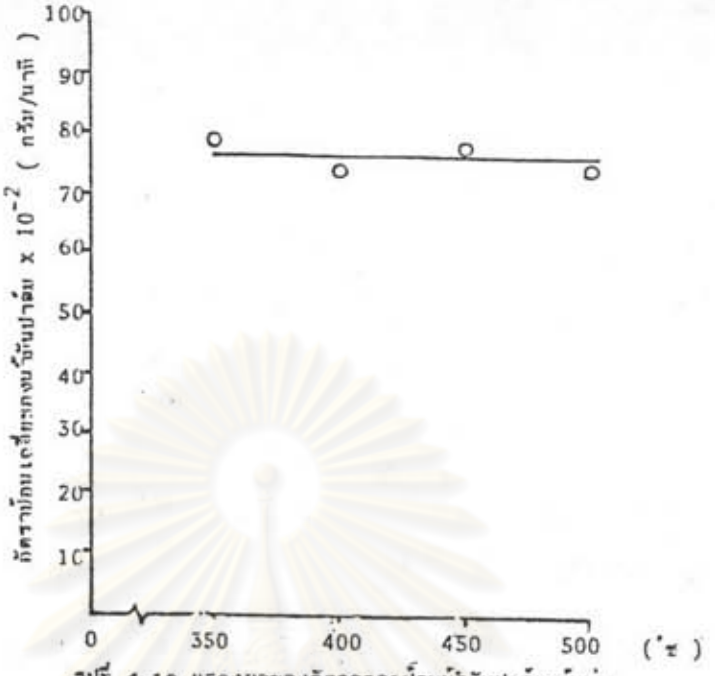
อุณหภูมิ (°ซ)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม.$^{-1}$)	เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนัก)			เปอร์เซนต์การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอน (C_1-C_4) โดยน้ำหนัก										
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อน้ำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		ไฮโดรคาร์บอนเบา (C_1-C_4)	แก๊สอื่น ๆ	รวม	C_1	C_2	$C_3^=$	C_3	$C_3^{\prime\prime}$	i-C_4	n-C_4	i-C_5	n-C_5	C_6	รวม
350	300	450	0.3307	88.5162	11.4838	100	6.1229	3.9338	6.8936	17.1912	8.0925	36.3198	-	13.4875	4.0462	3.9125	100
350	300	450	0.7350	77.0992	22.9008	100	5.3272	3.1543	9.3227	17.3486	13.0604	19.8195	8.8934	12.3018	6.6240	4.1445	100
350	300	450	1.5863	36.8196	63.1804	100	6.8789	3.6204	13.3052	8.6287	22.1753	10.0618	9.1869	8.6891	10.3183	7.1354	100
350	350	450	2.1372	30.6313	39.3687	100	5.5864	3.3888	21.2775	6.3257	20.2711	9.5297	12.5077	5.1756	8.8724	7.0651	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

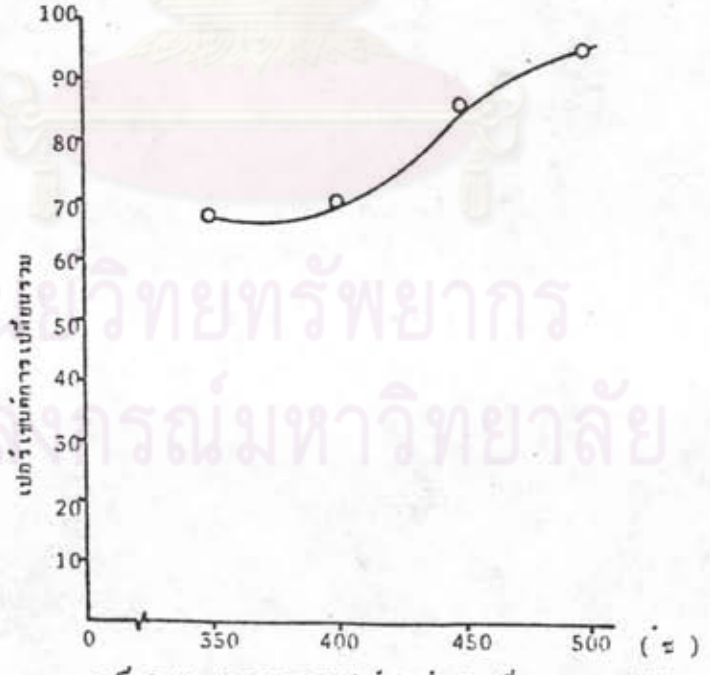
ตารางที่ 4.12 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ.ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม.$^{-1}$

อุณหภูมิ (°ซ.)			ความเร็วเชิงสเปซ (ชม.$^{-1}$)	อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการต่อน้ำหนักของตัวเร่ง-ปฏิกิริยา (นาที$^{-1}$)
หม้อต้มน้ำมันปาล์ม	ท่อนำไอน้ำมันปาล์ม	เครื่องปฏิกรณ์		
350	300	450	0.3307	3.62×10^{-6}
350	300	450	0.7350	1100×10^{-6}
350	300	450	1.5863	400×10^{-6}
350	300	450	2.1372	70×10^{-6}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

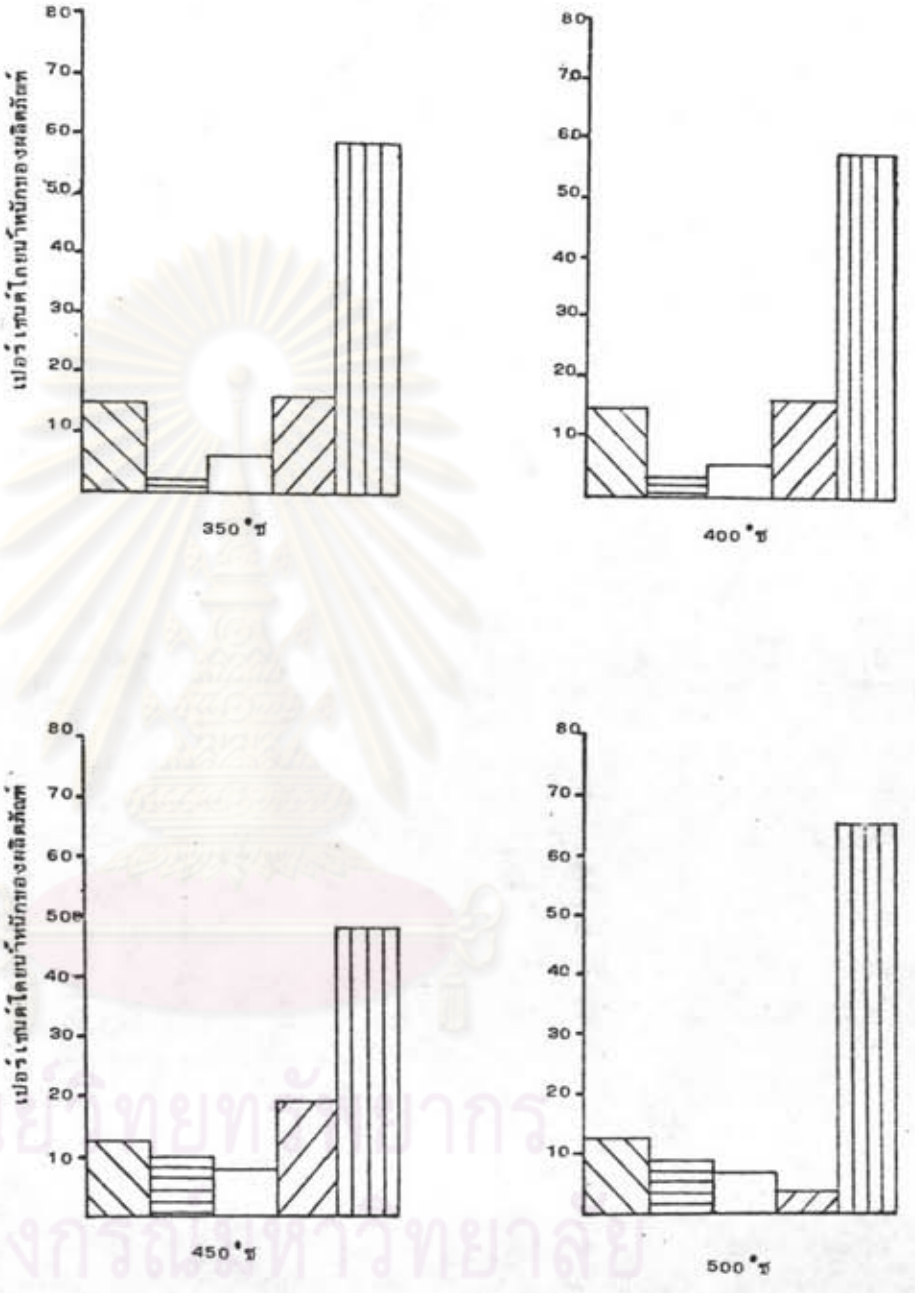


รูปที่ 4.10 แสดงผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ความเร็วเชิงเส้นเปลี่ยนที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ



รูปที่ 4.11 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาทะลายไลซิกเดกกิง เมื่อความเร็วเชิงเส้นเปรียบค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ

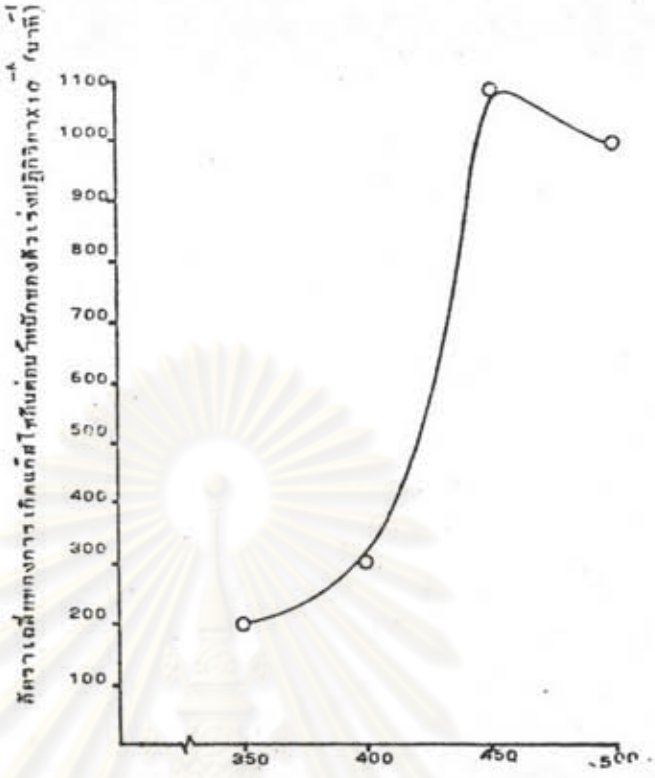
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



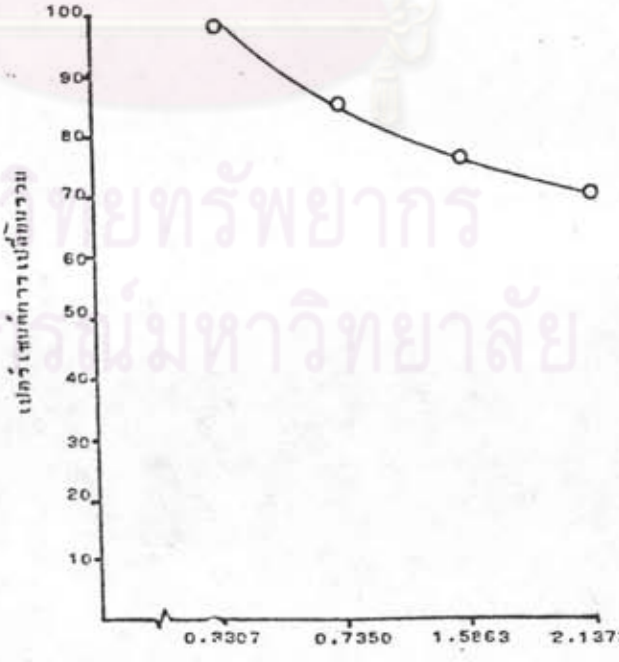
รูปที่ 4.12 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาทะลัยไดลิกเครกกิง เมื่อความเร็วเชิงผเปรมิค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500°ซ

▨ = โค้ก ▤ = แก๊สไซลีน

□ = ไฮโดรคาร์บอนหนัก ▨ = บา ▥ = แก๊ส

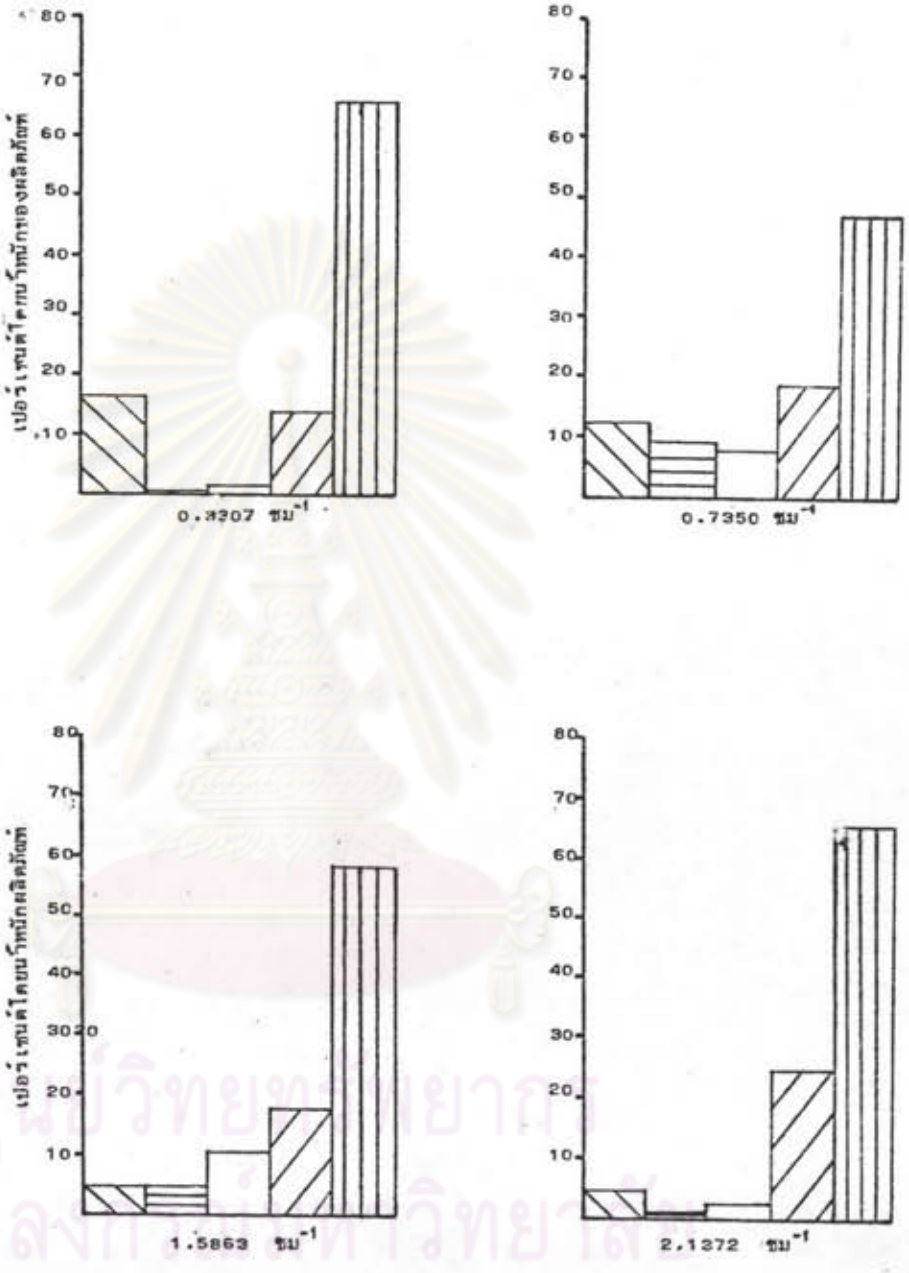


รูปที่ 4.13 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สไซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500°ซ.



รูปที่ 4.14 แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450°ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$

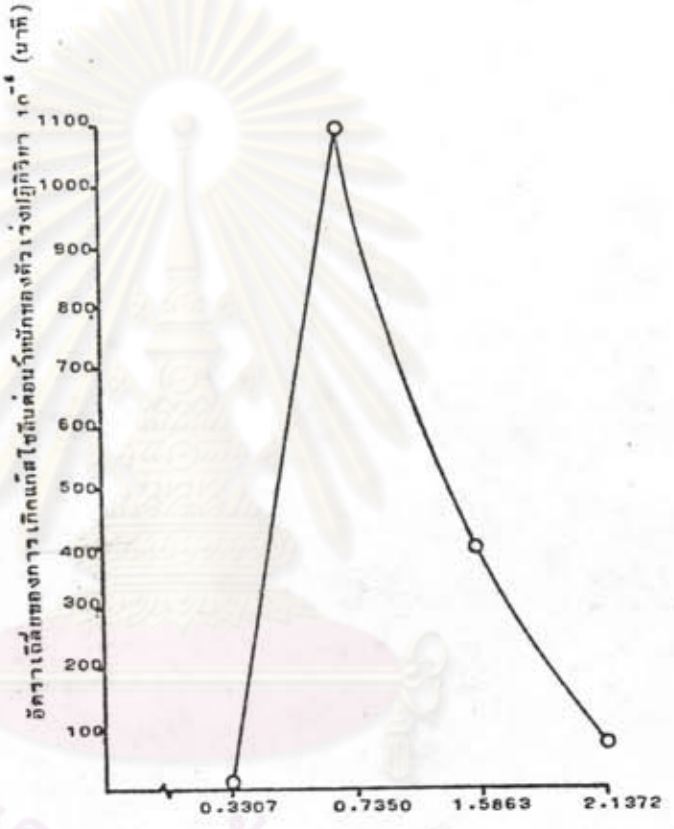
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 15 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติกเศรกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450°ซ ความเร็วเชิง-สเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307,0.7350,1.5683 และ 2.1372 ซม.-1

▨ = โค้ก ▤ = แก๊สโซลีน

□ = ไฮโดรคาร์บอนหนัก ▨ = น้ำ ▥ = แก๊ส



รูปที่ 4.16 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สไฮโดรเจน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาคะตะไลติกเดกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450°ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ซม$^{-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 350 °ร. ความเร็วเชิงสเปซ 0.7350 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซีโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9629	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	°ร.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	350	°ร.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.9370	น.น./น.น.
ความเร็วเชิงสเปซ	0.7350	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	67.2197	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	202×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	15.5052	
ของเหลว	25.3740	
แก๊ส	59.1208	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	8.6137	
น้ำ	16.7603	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	2.4111	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	6.2026	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	38.9225	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	3.3509	
C_2H_4	10.1985	
C_2H_6	2.4586	
C_3H_6	6.1191	
C_3H_8	17.2282	
$i\text{-}C_4H_{10}$	15.3160	
$n\text{-}C_4H_{10}$	12.1471	
$i\text{-}C_5H_{12}$	11.1455	
$n\text{-}C_5H_{12}$	13.1124	
$n\text{-}C_6H_{14}$	8.9237	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยา ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 400° ซ. ความเร็วเชิงสเปซ 0.6985 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซีโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9971	บรรยากาศ
อุณหภูมิรองไอของน้ำมันปาล์ม	350	° ซ.
อุณหภูมิรองเครื่องปฏิกรณ์	400	°ซ.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.9544	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	0.6985	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	69.5765	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	300×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	15.6407	
ของเหลว	25.5982	
แก๊ส	58.7611	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	8.6891	
น้ำ	16.9091	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	3.5635	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	5.1256	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	52.7175	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	3.1659	
C_2H_4	7.6419	
C_2H_6	1.8422	
C_3H_6	9.1703	
C_3H_8	12.3089	
$i\text{-}C_4H_{10}$	30.4722	
$n\text{-}C_4H_{10}$	7.1234	
$i\text{-}C_5H_{12}$	16.7030	
$n\text{-}C_5H_{12}$	6.8777	
$n\text{-}C_6H_{14}$	4.6945	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิ้งของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซิโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450° ซ. ความเร็วเชิงสเปซ 0.7350 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซิโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9513	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	°ซ.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	450	°ซ.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.9070	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	0.7350	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	86.6451	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	1102×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์		
ของแข็ง	13.6545	
ของเหลว	38.2197	
แก๊ส	48.1258	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	18.7132	
น้ำ	19.5065	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	10.0705	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	8.6427	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	77.0992	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	5.3272	
C_2H_4	9.3227	
C_2H_6	3.1543	
C_3H_6	13.0640	
C_3H_8	17.3486	
$i\text{-}C_4H_{10}$	19.8195	
$n\text{-}C_4H_{10}$	8.8934	
$i\text{-}C_5H_{10}$	12.3018	
$n\text{-}C_5H_{10}$	6.6240	
$n\text{-}C_6H_{14}$	4.1445	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 500° ร. ความเร็วเชิงสเปซ 0.7039 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซีโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9985	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	° ร.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	500	° ร.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.9470	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	0.7039	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	94.9294	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	1000×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	13.0128	
ของเหลว	21.2077	
แก๊ส	65.7795	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	16.5603	
น้ำ	4.6474	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	9.1670	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	7.3933	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	81.7437	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	9.4958	
C_2H_4	7.5828	
C_2H_6	4.4944	
C_3H_6	15.0043	
C_3H_8	19.0147	
$i\text{-}C_4H_{10}$	20.3860	
$n\text{-}C_4H_{10}$	7.8536	
$i\text{-}C_5H_{12}$	7.8824	
$n\text{-}C_5H_{12}$	4.3561	
$n\text{-}C_6H_{14}$	3.9299	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง รองน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซิโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450° ซ.ความเร็วเชิงสเปซ 0.3307 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซิโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9629	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	°ซ.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	450	°ซ.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	2.0156	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	0.3307	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	98.6531	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	3.62x10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	17.5805	
ของเหลว	15.5564	
แก๊ส	66.8631	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	1.3019	
น้ำ	14.2545	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	0.4304	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	0.8715	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	88.5162	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	6.1229	
C_2H_4	6.8936	
C_2H_6	3.9338	
C_3H_6	8.0925	
C_3H_8	17.1912	
$i\text{-}C_4H_{10}$	36.3198	
$n\text{-}C_4H_{10}$	-	
$i\text{-}C_5H_{12}$	13.4875	
$n\text{-}C_5H_{12}$	4.0462	
$n\text{-}C_6H_{14}$	3.9125	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 แสดงเชื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450° ซ. ความเร็วเชิงสเปซ 1.5863 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซีโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9812	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	° ซ.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	450	° ซ.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.4202	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	1.5863	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	77.0861	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	400×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	5.2547	
ของเหลว	35.6169	
แก๊ส	59.1284	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	17.5539	
น้ำ	18.0638	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	5.8936	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	11.6603	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	36.8196	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	6.8789	
C_2H_4	13.3052	
C_2H_6	3.6204	
C_3H_6	22.1753	
C_3H_8	8.6287	
$i\text{-}C_4H_{10}$	10.0618	
$n\text{-}C_4H_{10}$	9.1869	
$i\text{-}C_5H_{12}$	8.6891	
$n\text{-}C_5H_{12}$	10.3183	
$n\text{-}C_6H_{14}$	7.1354	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 2.1372 ชม.$^{-1}$

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ซีโอไลต์ (GXO-40)	
ความดันของเครื่องปฏิกรณ์	0.9494	บรรยากาศ
อุณหภูมิของไอของน้ำมันปาล์ม	350	°ซ.
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	450	°ซ.
เวลาในการปฏิบัติการ	90	นาที
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันปาล์ม	0.3119	นน./นน.
ความเร็วเชิงสเปซ	2.1372	ชม.$^{-1}$
เปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม	71.6955	
อัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	70×10^{-6}	นาที$^{-1}$
การกระจายของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ของแข็ง	5.4126	
ของเหลว	28.4058	
แก๊ส	66.1816	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ของของเหลว (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์)		
ไฮโดรคาร์บอนเหลว	3.4245	
น้ำ	24.9813	
การกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว		
แก๊สโซลีน	1.0442	
ไฮโดรคาร์บอนหนัก	2.3803	
การกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊ส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแก๊สทั้งหมด)		
ไฮโดรคาร์บอนเบา	38.6313	
การกระจายของไฮโดรคาร์บอนเบา		
CH_4	5.5864	
C_2H_4	21.2775	
C_2H_6	3.3888	
C_3H_6	20.2711	
C_3H_8	6.3257	
$i\text{-}C_4H_{10}$	9.5297	
$n\text{-}C_4H_{10}$	12.5077	
$i\text{-}C_5H_{12}$	5.1756	
$n\text{-}C_5H_{12}$	8.8724	
$n\text{-}C_6H_{14}$	7.0651	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย