

การสังเคราะห์แบบคิสเซอร์-โทรป โดยใช้เคาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี



นายสุรพงษ์ ศุภจรรยา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-566-111-2

010108

113048262

FISCHER-THROPSCH SYNTHESIS BY USING SLURRY REACTOR

Mr. Surapong Supajanya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School


1985

ISBN 974-566-111-2

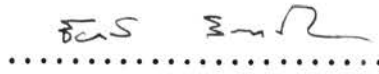
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสังเคราะห์แบบทิส เซอร์-โทรบ โดยใช้เตาปฏิกรณ์เคมี  
แบบส เลอร์รี  
โดย                              นายสุรพงษ์ ศุภจรรยา  
ภาควิชา                         วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา            รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

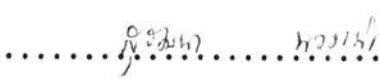
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพ็กคึก)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์-โทรป โดยใช้เตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี  
ชื่อนิสิต                    นายสุรพงษ์ ศุภจรรยา  
อาจารย์ที่ปรึกษา        รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม  
ภาควิชา                    วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา                2528

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์น้ำมันดิบ จากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีการแบบฟิสเชอร์-โทรป ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.94 ซม. ยาว 25 ซม. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม ของบริษัทไอซีไอ นำมาดัดให้มีขนาดเล็กกว่า 61 ไมครอน และแขวนลอยอยู่ในไซโพลีเอธิลีน ก๊าซสังเคราะห์ที่ใช้มีอัตราส่วนของ  $H_2:CO = 1:1$  การสังเคราะห์กระทำที่อุณหภูมิ 220 , 250 และ 280<sup>0</sup>ซ, ความดัน 10 และ 20 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซประมาณ 200 , 300 และ 400 ซม.<sup>-1</sup> ผลการทดลองปรากฏว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ การเปลี่ยนรูปของก๊าซสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้น , ปริมาณของก๊าซไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น , ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนหนักจะลดลงและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในช่วงก๊าซโซลีนจะคงที่ เมื่อเพิ่มความเร็วเชิงสเปซ การเปลี่ยนรูปของก๊าซสังเคราะห์จะลดลง และการกระจายของผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนจะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความดัน การเปลี่ยนรูปของก๊าซสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้น , ปริมาณของก๊าซไฮโดรคาร์บอนจะลดลง และปริมาณของไฮโดรคาร์บอนหนักจะเพิ่มขึ้น



Thesis Title      FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS BY USING SLURRY REACTOR  
Name                Mr. Surapong Supajanya  
Thesis Advisor    Associate Professor Dr. Piyasan Praserttham  
Department        Chemical Engineering  
Academic Year    1985

#### ABSTRACT

This thesis is to synthesis curde oil from carbonmonoxide and hydrogen gas by Fischer-Tropsch synthesis in slurry reactor (inside diameter 0.94 cm., length 25 cm.). The ICI fused iron catalyst was used griding less than 61 micron and suspended in polyethylene wax. The experiment was conducted with the condition of  $H_2:CO = 1:1$  at  $220^{\circ}C$ ,  $250^{\circ}C$ ,  $280^{\circ}C$ , 10 and 20 atmosphere, with the space velocity of 200, 300 and  $400 \text{ hr}^{-1}$ . The results show that by increasing temperature will increase gas conversion and amount of hydrocarbon gas but decrease the amount of heavy hydrocarbon. And the amount of gasoline products are stable. Increasing space velocity will decrease gas conversion and no different in hydrocarbon product distribution. Increasing pressure will increase gas conversion but decrease the amount of hydrocarbon gas. The amount of heavy hydrocarbon also increased.



## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ. ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้าพเจ้าตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นการวิจัย และ ดร. จริญญา พิชิตกุล ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากในด้านการสร้างเครื่องมือวิจัย ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายฝั่งผาย พรรณวดี , นายวุฒิพล ท้วมภูมิงาม และ นายพิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ ที่ได้ช่วยเหลืองานวิจัยนี้เสร็จสิ้น ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการวิจัยคาคาไลซิสทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการสร้างเครื่องมือทดลอง และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ต่อการเรียนและการวิจัยครั้งนี้



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 การแปลงรูปถ่านหิน.....	1
1.2 การสังเคราะห์แบบฟิส เซอร์-โทรป.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	6
2. เตาปฏิกรณ์เคมีแบบส เลอร์รี.....	7
2.1 เตาปฏิกรณ์เคมีแบบส เลอร์รี.....	7
2.2 ข้อดีของ เตาปฏิกรณ์เคมีแบบส เลอร์รีคอลัมน์ฟองก๊าซ.....	10
2.3 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แบบ ฟิส เซอร์-โทรป ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบส เลอร์รี.....	13
3. การสังเคราะห์แบบฟิส เซอร์-โทรป.....	26
3.1 เทอร์โมไดนามิกส์ของปฏิกิริยาฟิส เซอร์-โทรป.....	26
3.2 เตาปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์แบบฟิส เซอร์-โทรป.....	27
3.3 ข้อดีของเตาปฏิกรณ์เคมีแบบส เลอร์รีในการสังเคราะห์แบบ ฟิส เซอร์-โทรป.....	32

	หน้า
3.4 การศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป โดยใช้เตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี่.....	37
3.5 อิทธิพลของตัวแปรต่อการสังเคราะห์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี่.....	49
3.6 ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก.....	54
3.7 การกระจายผลิตภัณฑ์.....	61
4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	73
4.1 เครื่องมือทดลอง.....	73
4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	78
4.3 ตัวกลางของเหลว.....	79
4.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์.....	79
4.5 สภาวะการทดลอง.....	82
4.6 การทดสอบลักษณะของสเลอร์รี่.....	83
4.7 การคาลิเบรท เครื่องวัดอัตราการไหลแบบมานอมิเตอร์.....	85
4.8 การทดสอบการแตกตัวของไซโพลี เอธิลีน.....	90
4.9 การรีดิวส์ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม.....	92
4.10 ลำดับขั้นการทดลอง.....	94
4.11 การตรวจสอบการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	95
4.12 ผลการทดลอง.....	96
4.13 การกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน.....	99
5. สรุปผลการทดลอง.....	112
5.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของก๊าซสังเคราะห์.....	112
5.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน.....	112
5.3 เปรียบเทียบผลการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่งกับแบบสเลอร์รี่ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมของบริษัท ไอซีไอ.....	114



เอกสารอ้างอิง.....	115
ภาคผนวก.....	125
ก. การคำนวณความเร็วเชิงสเปซ.....	125
ข. กราฟการคาลิเบรตหาปริมาณของก๊าซ CO และ H <sub>2</sub> .....	127
ค. โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน.....	130
ง. ข้อมูลการคาลิเบรตเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์.....	136
ประวัติ.....	137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แหล่งพลังงานฟอสซิลของโลก.....	3
1.2	ที่ตั้งของแหล่งพลังงานฟอสซิลชนิดต่างๆ บนโลก.....	4
2.1	เปรียบเทียบข้อดีของเตาปฏิกรณ์ซัส เพนด์ เบค 4 แบบ.....	11
2.2	คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของไฮโดรคาร์บอนเหลวที่ใช้ในการวัด การถ่ายเทความร้อน.....	21
3.1	ข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ฟิส เซอร์-โทรป.....	28
3.2	ลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนของเตาปฏิกรณ์เคมี.....	
3.3	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ.....	33
3.4	ข้อกำหนดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเตาปฏิกรณ์เคมี แบบต่างๆ.....	33
3.5	ค่าใช้จ่ายด้านตัวเร่งปฏิกิริยาของเตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ.....	34
3.6	เปรียบเทียบเงินลงทุนของเตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ.....	34
3.7	ข้อมูลลักษณะของเตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ แบบฟิส เซอร์-โทรป.....	36
3.8	ผลการปฏิบัติงานเป็นเวลา 143 วัน ของโรงงานต้นแบบรัฐภาค สเลอร์รี่ที่ไรน์พรอยเซน.....	38
3.9	ผลการปฏิบัติงานเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี่คู่ ที่รูเคมี.....	40
3.10	ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ไอจีฟาเบน ปฏิบัติงานที่ อุณหภูมิ 250 <sup>0</sup> ซ ความดัน 20 บรรยากาศ และ H <sub>2</sub> :CO=0.8..	40
3.11	สภาวะการปฏิบัติงานและการกระจายผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กไนโคโรดในกระบวนการสเลอร์รี่.....	42
3.12	เปรียบเทียบเตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์แบบ ฟิส เซอร์-โทรป โดยซอลล์.....	44

ตารางที่	หน้า
3.13 ผลการปฏิบัติงานของ เตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รีโดยฟารีย์ และเรย์.....	45
3.14 รวบรวมการศึกษาการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป ในเตา ปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี.....	47
3.15 ตารางผู้ที่ศึกษาการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป โดยใช้เตา ปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี รวบรวมโดยแซดเคอร์ฟิว.....	48
3.16 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง และแบบสเลอร์รี.....	50
3.17 อิทธิพลของความดันต่อการสังเคราะห์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบ เบดนิ่งและแบบสเลอร์รี.....	50
3.18 ผลของความเร็วก๊าซและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการ สังเคราะห์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี .....	53
3.19 ผลของอัตราส่วนของ $H_2:CO$ ในก๊าซสังเคราะห์ ต่อการสังเคราะห์ ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี.....	53
3.20 เปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ที่ใช้กับปฏิกิริยาระหว่างก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจน.....	55
3.21 อิทธิพลของความดันต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติ เลือกผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก.....	58
3.22 อิทธิพลของขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม (D-3001) ต่อความ ว่องไวในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติเลือกผลผลิต.....	60
3.23 การศึกษาการกระจายผลิตภัณฑ์ของการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์- โทรป ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอร์รี รวบรวมโดยแซดเคอร์ฟิว.....	69
4.1 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่.....	81
4.2 ผลการตรวจการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ $250^{\circ}C$ ความดัน 10 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $300 \text{ ซม.}^{-1}$ .....	95
4.3 ผลการทดลองที่สภาวะของการปฏิบัติการต่างๆ.....	96

ตารางที่		หน้า
4.4	ผลการวิเคราะห์ก๊าซขาออก.....	97
4.5	ผลการทดลองที่สภาวะการปฏิบัติการต่างๆ.....	98
4.6	ผลการวิเคราะห์ก๊าซผลิตภัณฑ์จากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซร้อน ด้วย เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่ VARIAN VISTA 401 & VISTA 4600.....	100
4.7	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ก๊าซจากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ เย็น ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่ GOW MAC รุ่น Series 750.....	101
4.8	การกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ $C_1$ ถึง $C_{10}$ เปรียบเทียบโดยน้ำหนัก.....	102
4.9	การกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน เปรียบเทียบโดยโมล.....	103
4.10	ค่า $\alpha$ ของการทดลองที่สภาวะการปฏิบัติการต่างๆ.....	110
4.11	การกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่สภาวะการปฏิบัติการต่างๆ.	111
5.1	การกระจายผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน โดยแบ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ สภาวะการทดลองต่างๆ.....	113
ผ.ง.1	ข้อมูลการคาลิเบรทเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์....	136

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลของโลก.....	3
1.2	แนวทางการแปลงรูปถ่านหินให้เป็นน้ำมัน.....	4
1.3	แผนผังการผลิตน้ำมันและเคมีภัณฑ์ของโรงงานซาซอล.....	7
2.1	เตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอว์รีคอล์มน์ฟองก๊าซ.....	9
2.2	แผนผังขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ต่างๆ ในการสร้างสมการ โมเดล.....	12
2.3	ก๊าซไฮลอปใน BC I เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ .....	15
2.4	ก๊าซไฮลอปใน BC II ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นฟังก์ชันกับความเร็ว ก๊าซขาเข้า.....	15
2.5	อิทธิพลของปริมาณอนุภาคของแข็งต่อก๊าซไฮลอป.....	16
2.6	อิทธิพลของความดันต่อก๊าซไฮลอป.....	18
2.7	เปรียบเทียบค่า $k_L$ จากการทดลองของเดคเวอร์ กับค่า $k_L$ ที่คำนวณจากความสัมพันธ์ของคาร์เตอร์แบงค์และมูยัง.....	20
2.8	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไฮโดรคาร์บอนเหลว เป็นฟังก์ ชันกับความเร็วก๊าซขาเข้า ที่อุณหภูมิ $143^{\circ}\text{C}$ .....	20
2.9	ความสัมพันธ์ของตัวเลขไร้มิติของไฮโดรคาร์บอนเหลวตามสมการ ที่ 2.8.....	21
2.10	ช่วงการไหลในคอลัมน์ฟองก๊าซ.....	25
2.11	ช่วงการไหล เป็นฟังก์ชันกับความเร็วของก๊าซและเส้นผ่าศูนย์กลาง กลางของเตาปฏิกรณ์เคมี.....	25
3.1	เตาปฏิกรณ์เคมีแบบต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์แบบฟิสเซอร์- โทรป.....	30

รูปที่	หน้า	
3.2	แผนภาพการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป ด้วยเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอว์รีที่โรนพรอย เซน.....	38
3.3	แผนภาพกระบวนการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป โดยใช้เตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอว์รีที่องค์การเหมืองแร่ของสหรัฐอเมริกา..	42
3.4	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม (D-3001) .....	59
3.5	อิทธิพลของปริมาณอัลคาไลน์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก ต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยา.....	60
3.6	การใช้การกระจายผลิตภัณฑ์ของซูลส์กับข้อมูลการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป ของแซตเตอร์พิวและฮัพ.....	65
3.7	การกระจายผลิตภัณฑ์ของการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป ในรูปของอัตราส่วนน้ำหนัก.....	65
3.8	การสกัดช่วงผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป .....	67
3.9	เปรียบเทียบการกระจายผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลท์กับตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอว์รี ของโคลเบลและราเลค.....	67
3.10	อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ของขบวนการส่งเคราะห์แบบฟิสเซอร์-โทรป.....	71
4.1	แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	74
4.2	ภาพลักษณะภายในของเตาอบ ที่มีเตาปฏิกรณ์เคมีแบบสเลอว์รีติดตั้งอยู่ภายใน.....	76
4.3	เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่ VARIAN VISTA 4600 และ VISTA 401 .....	80
4.4	เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่ GOW MAC รุ่น Series 150..	80

รูปที่		หน้า
4.5	เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750....	82
4.6	แบบจำลองการทดสอบลักษณะของสเลอร์รี่.....	84
4.7	แผนภาพของ เครื่องมือขณะทำการคาลิ เบรท.....	89
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของก๊าซ $H_2:CO = 1$ ที่ไหลผ่าน เครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์ กับความแตกต่างความสูงของปรอท.....	91
4.9	เปรียบเทียบโครมาโตแกรมการวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์กับที่ได้จากการทดสอบการแตกหักของไฮโพลีเอธิลีน.....	93
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ $220^{\circ}C$ , ความดัน 10.2 บรรยากาศ และ ความเร็วเชิงสเปซ $352 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	104
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่ อุณหภูมิ $250^{\circ}C$ , ความดัน 10.0 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $345 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	105
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ $280^{\circ}C$ , ความดัน 10.2 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $356 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	106
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ $220^{\circ}C$ , ความดัน 9.8 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $229 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	107
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ $220^{\circ}C$ ความดัน 10.2 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $465 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	108
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ $220^{\circ}C$ , ความดัน 19.9 บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ $442 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ .....	109

รูปที่		หน้า
ผ.ข.1	กราฟการคาลิ เบรทหาปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	127
ผ.ข.2	กราฟการคาลิ เบรทหาปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน.....	128
ผ.ค.1	โปรแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนของ เครื่อง ก๊าซโครมาโตกราฟฟี VARIAN 4600 .....	129
ผ.ค.2	โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของ เครื่องก๊าซโคร- มาโตกราฟฟี VARIAN 4600 .....	132
ผ.ค.3	โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของ เครื่องก๊าซโครมา- โตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 150 .....	135
ผ.ค.4	โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของ เครื่องก๊าซโครมา- โตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750 .....	136





## คำอธิบายสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อ , ซม. <sup>2</sup>
a	=	พื้นที่อินเตอร์เฟสระหว่างก๊าซกับของเหลว , ซม. <sup>-1</sup>
a <sub>s</sub>	=	พื้นที่ผิวจำเพาะของของเหลวและก๊าซ , ซม. <sup>-1</sup>
C <sub>p</sub>	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ จูล/(กรัม.เคลวิน)
c <sub>s</sub>	=	ความเข้มข้นของของแข็ง $\frac{\text{น้ำหนักของของแข็ง}}{\text{น้ำหนักสเลอรี่}} \times 100$ ,% น้ำหนัก
D	=	อัตราการแพร่ , ซม. <sup>2</sup> /วินาที
d <sub>B</sub>	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของฟองก๊าซ , ซม.
d <sub>R</sub>	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลลิมน์ , ซม.
d <sub>s</sub>	=	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคของแข็ง , ซม.
d <sub>s</sub> <sup>*</sup>	=	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเซาเตอร์ของฟองก๊าซ , ซม.
Fr	=	ฟลูคินัมเบอร์ = $\frac{U_{G0}^2}{gd_2}$
gc	=	ความเร่ง = 980 (กรัม.ซม.)/(กรัม.นน.) (วินาที) <sup>2</sup>
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (จูล/ม <sup>2</sup> .วินาที.เคลวิน)
Δh	=	ความแตกต่างความสูงของปรอท , ซม.ปรอท
H <sub>gls</sub>	=	ความสูงของระบบก๊าซ-ของเหลว-ของแข็งที่ขยายตัว , ซม.
H <sub>ls</sub>	=	ความสูงของสเลอรี่เมื่อไม่มีก๊าซผ่าน , ซม.
k	=	ค่าการนำความร้อน , จูล (ม.วินาที.เคลวิน)
k <sub>L</sub>	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในของเหลว , ซม./วินาที
k <sub>S</sub>	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวกับของแข็ง , ซม./วินาที
L	=	ความยาวของชั้นทราย , ซม.
ΔP	=	ความดันลด กรัม.นน./ตร.ซม. หรือ ซม.ปรอท
P <sub>1</sub>	=	ความดันของก๊าซขาเข้า , ซม.ปรอท หรือ บรรยากาศ
P <sub>2</sub>	=	ความดันของก๊าซขาออก , ซม.ปรอท หรือ บรรยากาศ
P <sub>M</sub>	=	ความดันที่เครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์ , บรรยากาศ

$P_{out}$	=	ความดันของก๊าซขาออกที่ 1 บรรยากาศ , บรรยากาศ
$P_R$	=	ความดันของก๊าซที่เตาปฏิกรณ์เคมี , บรรยากาศ
$P_r$	=	พาราคันัม เบอร์ = $\frac{\mu C_p}{k}$
$P_{STP}$	=	ความดันของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน = 1 บรรยากาศ
$Q$	=	อัตราการไหลของก๊าซผ่านมาโนมิเตอร์ , ลบ.ชม./วินาที
$Re$	=	เรโนลด์ันัม เบอร์ = $\frac{U_{Go} d_s \rho}{\mu}$
$Sc$	=	ชมิคันัม เบอร์ = $\frac{\mu}{\rho D}$
$Sh$	=	เชอร์วูดันัม เบอร์ = $\frac{k_s d_s}{D}$
$St$	=	สแตนคันัม เบอร์ = $\frac{h}{\rho C_p U_{Go}}$
$T_M$	=	อุณหภูมิของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์ , เคลวิน
$T_R$	=	อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์เคมี , เคลวิน
$T_{STP}$	=	อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน = 273 เคลวิน
$U_o$	=	ความเร็วซูเปอร์ของของไหล , ชม./วินาที
$U_G$	=	ความเร็วซูเปอร์ที่เฉลี่ยของก๊าซ , ชม./วินาที
$U_{Go}$	=	ความเร็วซูเปอร์ที่เฉลี่ยของก๊าซขาเข้า , ชม./วินาที
$V_1$	=	ปริมาตรของก๊าซขาเข้า , ลบ.ชม.
$V_2$	=	ปริมาตรของก๊าซขาออก , ลบ.ชม.
$V_G$	=	ปริมาตรโมลของก๊าซ , ลบ.ชม./โมล
$V_M$	=	อัตราการไหลของก๊าซผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์ , ลบ.ชม./วินาที
$V_{OUT}$	=	อัตราการไหลของก๊าซขาออกที่ 1 บรรยากาศ , ลบ.ชม./วินาที
$V_R$	=	อัตราการไหลของก๊าซผ่านเตาปฏิกรณ์เคมี , ลบ.ชม./วินาที
$V_{STP}$	=	อัตราการไหลของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน , ลบ.ชม./วินาที
$\epsilon_G$	=	สัดส่วนก๊าซไฮลอป
$\epsilon_m$	=	เศษส่วนที่ว่าง
$\rho_L$	=	ความหนาแน่นของของเหลว , กรัม/ลบ.ชม.
$\rho_{LS}$	=	ความหนาแน่นของของเหลวและของแข็ง , กรัม/ลบ.ชม.

- $\mu$  = ความหนืดของของไหล ปาสคาล.วินาที หรือ กรัม/(ซม.วินาที)
- $\mu_L$  = ความหนืดของของเหลว , เซนติพอยด์
- $\nu$  = ความหนืดคิเนมาติก , ซม.<sup>2</sup>/วินาที
- $\beta, K$  = ค่าคงที่