

ดีไอโตรเจนชั้นของแก๊สปิโตรเลียมเหลวเพื่อผลิตโอเลฟินส์



นาย นพดล สายะเสวี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-324-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013070

I10296451

DEHYDROGENATION OF LPG TO OLEFIN



Mr. Noppadoln Sayasaevee

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Program of Petrochemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-568-324-8



หัวข้อวิทยานิพนธ์ ดีไอโตรเจนเนชั่นของแก๊สปิโตรเลียมเหลวเพื่อผลิตโอเลฟินส์
โดย นายเนตล สายะเสวี
สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ อรรถยุทธิ)

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

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัทพรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

บทคัดย่อ : ดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปิโตรเลียมเหลวเพื่อผลิตโอเลฟินส์ (DEHYDROGENATION OF LPG TO OLEFIN) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, 137 หน้า.

งานวิจัยนี้ เป็นการทำให้ดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปิโตรเลียมเหลว โดยมีอัตราส่วนของโพรมีเทนต่อบิวเทน เท่ากับ 70:30 ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมีร้อยละของธาตุพลาคินีม 0.75, ร้อยละของธาตุดีบุก 0.5 บนตัวรองรับอะลูมินา โดยวิธีเคลือบฝัง (impregnation) ศึกษาปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมชนิดเดียวและแก๊สปิโตรเลียมกับสารทำให้เจือจางคือไนโตรเจนและไฮโดรเจนตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลซึ่งมีผลในช่วงอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการทดลอง พบว่าสารทำให้เจือจางมีผลทำให้ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลมีมากขึ้นโดยไนโตรเจนมีผลมากกว่าไฮโดรเจน สำหรับไนโตรเจนยังมีผลทำให้ปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันเกิดมากขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ได้นอกจากโอเลฟินส์ที่ต้องการคือโพรมีเทนและบิวเทนแล้วยังมีโค้กเกิดขึ้นด้วย การใช้ไฮโดรเจนในปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันช่วยป้องกันการเกิดโค้กทำให้อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยายาวนานขึ้น

การเปรียบเทียบปริมาณโอเลฟินส์ที่ต้องการต่อหน่วยของแก๊สปิโตรเลียมที่เปลี่ยนไปพบว่าระบบของแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับไฮโดรเจนมีความได้เปรียบที่สุด เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนปริมาณไฮโดรเจนที่ใช้ในระบบสังเกตได้ว่า ปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 60 โดยปริมาตร เริ่มป้องกันการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

การศึกษากิจกรรมของอุณหภูมิในช่วง $450-650^{\circ}\text{C}$ ความเร็วเชิงสเปซคงที่เท่ากับ 7.49×10^4 ชม.⁻¹ พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่า 600°C ทำให้เกิดแก๊สมีเทนและอีเทนมากขึ้นและเป็นผลพลอยได้ที่สำคัญ และอุณหภูมิคงที่ 550°C การใช้ความเร็วเชิงสเปซค่าทำให้อัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาสูง การเลือกเกิดของโอเลฟินส์น้อยลงบ้าง แต่เมื่อพิจารณาถึงผลได้ของโอเลฟินส์ที่ต้องการแล้ว ควรเลือกความเร็วเชิงสเปซค่าในช่วงการทดลองนี้.

ภาควิชา ปิโตรเคมี
สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อผู้จัดทำ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

๒

NOPPADOLN SAYASAEVEE : DEHYDROGENATION OF LPG TO OLEFIN. THESIS
ADVISOR : ASSO. PROF.PIYASARN PRASERTHDAM,Dr.Ing. 137 PP.

This study concerns the catalytic dehydrogenation of 70:30 propane-butane LPG using a catalyst containing 0.75 percent platinum, 0.5 percent tin impregnated on alumina. Dehydrogenation reactions were conducted with LPG vapors and LPG vapors with either nitrogen or hydrogen. In addition cracking reactions were studied for the temperatures of the dehydrogenation reactions and indicate that diluent gases increases cracking with nitrogen being more influential than hydrogen in promoting cracking. However nitrogen also increases dehydrogenation but in addition to desired olefins propylene and butylene, coke are also formed. The use of hydrogen in dehydrogenation inhibit coke formation and increases catalyst life.

In terms of olefins production per unit of LPG converted the LPG-hydrogen feed yields the best results at hydrogen concentrations above 60 volume percents.

A study of the influence of temperatures in the range 450-650°C and at a space velocity of $7.49 \times 10^4 \text{ hr}^{-1}$, indicates that at temperatures above 600°C methane and ethane formation becomes important. At a temperature of 550°C with low space velocities high conversion is reached and the production of olefins decreases somewhat. But with the regards to need olefins production the space velocity should be maintained low for the experimental system used.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี.....
ปีการศึกษา 253๐.....

ลายมือชื่อนิสิต นพดล นิตะ/สว.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Dr. Piyasarn Prasertdam*

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม เป็นอย่างมากในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยชี้แนะ ขอขอบคุณ คุณกอบบุญ หล่อทองคำ ที่ให้คำปรึกษาเสมือนหนึ่งอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นอกเหนือจากนี้วิทยานิพนธ์ เรื่องนี้ยังได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือน้อย่างดีจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ คุณอัจฉรา แสงอริยะวิเศษ, คุณเนาวรรณ ศรีรัตนประสิทธิ์ , บริษัทเอสโซ่ สแตนดาร์ด และบริษัทโรงกลั่นน้ำมันไทย ในการสนับสนุนแก๊สมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ ขอขอบคุณ บริษัท บางกอกกล๊าส ในการสนับสนุนวัสดุฉนวน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆในห้องปฏิบัติการคตาไลซิสทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและจะขาดเสียมิได้คือ บิดา-มารดา ผู้สนับสนุนกำลังทรัพย์และกำลังใจจากพี่น้องๆ ทุกคน

แนบล สายะ เสวี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
รายการตารางประกอบ.....	ช
รายการรูปประกอบ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของโอเลฟินส์.....	1
1.2 สถานการณ์ปิโตรเคมี.....	2
1.3 โครงสร้างอุตสาหกรรมปิโตรเคมี.....	4
1.4 การใช้ประโยชน์ของโพรพิลีน และ บิวทิลีน.....	6
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2. ดีไฮโดรเจนเนชัน.....	11
2.1 การทำดีไฮโดรเจนเนชันและเทอร์โมไดนามิกส์ของปฏิกิริยา.....	11
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	22
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาพลาสติกเม.....	26
2.4 การเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
2.5 กระบวนการดีไฮโดรเจนเนชัน.....	40
3. การแตกสลายโมเลกุล.....	46
3.1 ลักษณะของปฏิกิริยาทั่วไป.....	47
3.2 การทำการแตกโมเลกุลของโพรเพนด้วยความร้อน.....	48

3.3	การทำการแตกโมเลกุลของบิวเทนด้วยความร้อน.....	52
3.4	การทำการแตกโมเลกุลของไอโซบิวเทนด้วยความร้อน..	56
4.	วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	60
4.1	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	60
4.2	เครื่องมือทำการทดสอบปฏิกิริยา.....	64
4.3	สภาวะการทดลอง.....	70
4.4	ผลการทดลอง.....	72
5.	วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....	101
5.1	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	101
5.2	สรุปผลการทดลอง.....	104
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	107
	เอกสารอ้างอิง.....	108
	ภาคผนวก	
ก.	ตารางธาตุ.....	115
ข.	คุณสมบัติต่างๆของแก๊สปิโตรเลียมเหลว.....	116
ค.	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชัน.....	124
ง.	ตัวอย่างการคำนวณ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	125
จ.	ตัวอย่างการคำนวณความเร็วเชิงสเปซ.....	127
ฉ.	ตัวอย่างการคำนวณร้อยละของการเลือกเกิดแก๊ส ไฮโดรคาร์บอนและผลได้ของผลิตภัณฑ์.....	128
ช.	ไดอะแกรมแก๊สในการทดลองจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี	130

	หน้า
ช. รูปสแกนนิ่งอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	132
ณ. การคำนวณเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาของระบบแก๊สไฮโดรเจนเหลวกับ ระบบแก๊สไฮโดรเจนเหลว.....	133
ประวัติ.....	137



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงชนิด โครงสร้างและจุดเดือดของบิวทิลีน	7
2.1	แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำดีไอโตรเจนเนชัน สำหรับอัตรา การเปลี่ยน ที่ต้องการ.....	14
2.2	แสดงค่าร้อยละของการเปลี่ยนของปฏิกิริยา กับ ค่า K/P.....	15
2.3	แสดงค่าร้อยละของการเปลี่ยนของปฏิกิริยา กับ ค่า K/P ²	16
2.4	แสดงธาตุในตารางธาตุที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับปฏิกิริยา ที่มีไอโตรเจนมาเกี่ยวข้อง.....	23
2.5	แสดงสารที่เป็นพิษต่อปฏิกิริยาที่สำคัญ.....	28
2.6	แสดงปฏิกิริยาของคาร์บอน และการเกิดโคกบนโลหะ.....	29
2.7	แสดงวิธีป้องกันพื้นฐานสำหรับการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา....	32
2.8	แสดงคุณสมบัติบางประการของคาร์บอนต่างๆ.....	34
3.1	แสดงผลภัณฑ์ที่ได้จากสิ่งป้อนต่างๆ.....	46
3.2	แสดงความเข้มข้นของแรดดิคัลอิสระที่ทางออกของเครื่อง ปฏิกรณ์เคมีในการแตกโมเลกุลของอีเทน และ โพรเพน.....	48
3.3	แสดงรูปแบบทางจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการแตกตัวของ โพรเพน และข้อมูลของอัตราเร็วของปฏิกิริยา.....	50
3.4	แสดงกลไกของการแตกตัวของนอร์มัลบิวเทน.....	55
4.1	แสดงข้อมูลของตัวรองรับอะลูมินา NHK 3.....	60
4.2	แสดงสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารของเครื่องแก๊ส โครมาโตกราฟี.....	69
4.3	แสดงสภาวะการทดสอบปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลและปฏิกิริยา ดีไอโตรเจนเนชัน.....	70
4.4	แสดงสภาวะการทดสอบหาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วเชิงสเปซ ในการทำดีไอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไอโตรเจน....	71
4.5	แสดงผลของการทดสอบปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของแก๊สปีโตรเลียม, แก๊สปีโตรเลียมกับไนโตรเจน และแก๊สปีโตรเลียมกับไอโตรเจน...	73

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	แสดงผลการทดสอบปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียม, แก๊สปีโตรเลียมกับไนโตรเจน และแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน	74
4.7	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียม ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	76
4.8	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียมและ ไนโตรเจน(20:80) ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	77
4.9	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียมกับ ไฮโดรเจน (20:80) ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	78
4.10	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียมกับ ไฮโดรเจน (40:60) ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	79
4.11	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียมกับ ไฮโดรเจน (50:50) ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	80
4.12	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้แก๊สปีโตรเลียมกับ ไฮโดรเจน (60:40) ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน.....	81
4.13	เปรียบเทียบปริมาณของโคิกบนตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้สาร ทำให้เจือจางต่าง ๆ กัน.....	91
4.14	เปรียบเทียบปริมาณผลได้ของโคิกของทั้งสามระบบจากการทำสมดุล คาร์บอน.....	91
4.15	แสดงการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการทำปฏิกิริยา ดิโอโตรเจนเนชันเมื่อใช้ร้อยละของไฮโดรเจนต่าง ๆ กัน.....	92
4.16	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิ ของการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน ของแก๊สปีโตรเลียมและไฮโดรเจน (20:80).....	96
4.17	แสดงอิทธิพลของความเร็วเชิงสเปซที่มีต่อปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชัน ของแก๊สปีโตรเลียมและไฮโดรเจน (20:80).....	97
5.1	เปรียบเทียบการแตกโมเลกุลและดีโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียม, แก๊สปีโตรเลียมกับไนโตรเจน และแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน...	102

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.1	แสดงธาตุในตารางธาตุ.....	115
ข.1	แสดงคุณสมบัติทั่วไปของ โพร เพน และ บิว เทน.....	117
ข.2	แสดงค่าคงที่ในการหาค่าความจุความร้อนของแก๊ส.....	118
ข.3	สรุปการดูดกลืนของสาร โอ เลนินส์ และ ออกซิ เจน เบน โลหะต่างๆ.....	123
ค.1	แสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาดีไฮโดร เจเนชันของแก๊ส.....	124
ณ.1	แสดงเวลาที่ทำงานในแต่ละรอบของระบบแก๊สปีโตร เลียมอย่างเดี่ยวเปรียบเทียบกับเวลาทำงานของระบบแก๊สปีโตร เลียมกับไฮโดร เจนในช่วงเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่	หน้า
1.1 / แสดงการลั่งเข้าและลั่งออก สารปิโตรเคมี จากเอทิลีน และ โพรพิลีน.....	3
1.2 / แสดงโครงสร้างอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย.....	6
1.3 / แสดงการใช้ประโยชน์โพรพิลีนในการผลิตสารอื่น.....	7
1.4 แสดงการใช้บิวทีนในการลั่งเคราะห์สารอื่น.....	8
1.5 แสดงการใช้ไอโซบิวทีนในการลั่งเคราะห์สารอื่น.....	8
2.1 แสดงสมคูลของการทำดีไฮโดรเจเนชันของพาราฟินเป็น โอลิฟินส์ ความดันรวมของระบบเท่ากับ 1 บรรยากาศ.....	13
2.2 แสดงการทำดีไฮโดรเจเนชันของพาราฟิน ไปเป็นโอลิฟินส์ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ.....	19
2.3 เปรียบเทียบความว่องไวของโลหะออกไซด์ต่างๆ สำหรับ ปฏิกิริยาที่มีไฮโดรเจเนมาเกี่ยวข้อง.....	25
2.4 แสดงกลไกการลั่งน้ำมันฐาน 4 แบบ ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	31
2.5 แสดงขั้นตอนการเกิดโค้กโดยทั่วๆไป.....	34
2.6 แสดงขั้นตอนในการเกิดลั่นใยของคาร์บอน เมื่อมีอนุภาคเหล็ก และพลาตินัม อยู่บนตัวรองรับ.....	37
2.7 แสดงกระบวนการโอสิเฟล็กซ์ของบริษัท ยูโอพี (UOP Oleflex Process).....	41
2.8 แสดงส่วนของกระบวนการโอสิเฟล็กซ์ซึ่งตั้งตัวเร่งปฏิกิริยา ออกมารีเจเนอเรต อย่างต่อเนื่อง.....	42
2.9 แสดงกระบวนการคาโตฟิน (Catofin).....	43
2.10 แสดงกระบวนการของบริษัท นิลิปส์ปิโตรเลียม(STAR PROCESS)	44
3.1 แสดงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุล ของนอร์มัลบิวเทน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	52
3.2 แสดงอัตราการสลายตัวของบิวเทน เป็นฟังก์ชัน กับระดับของ ออกซิเจน ในตัวทำปฏิกิริยาที่ 535 °ซ.....	56

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.3	แสดงค่าคงที่ของปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ของไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	59
4.1	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเคลือบฝังสารละลายของโลหะบนตัวรองรับ.....	62
4.2	แสดงตัวไฟฟ้า (Carbolite) ที่ใช้ในการแคลไซด์.....	63
4.3	แสดงเตาและท่อควอตซ์ ที่ใช้ในการวัดวาล์ว.....	64
4.4	แสดงเครื่องมือ ที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยา.....	66
4.5	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมเหลว เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	82
4.6	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + N ₂ (20:80) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	82
4.7	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + H ₂ (20:80) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	83
4.8	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + H ₂ (40:60) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	83
4.9	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + H ₂ (50:50) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	84
4.10	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + H ₂ (60:40) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	84
4.11	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมเหลว เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	85
4.12	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + N ₂ (20:80) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	85
4.13	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของ LPG + H ₂ (20:80) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	86

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของ LPG + H ₂ (4๐:6๐) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	86
4.15	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของ LPG + H ₂ (5๐:5๐) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	87
4.16	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของ LPG + H ₂ (6๐:4๐) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	87
4.17	แสดงร้อยละของอัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมเหลวกับสารทำให้เจือจาง เมื่อเวลาเปลี่ยนไป	88
4.18	แสดงการกระจายของผลิตภัณฑ์ไอโตรคาร์บอนในปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมเหลว เมื่อเวลาเปลี่ยนไป	88
4.19	แสดงการกระจายของผลิตภัณฑ์ไอโตรคาร์บอนในปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไนโตรเจน(2๐:8๐) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	89
4.20	แสดงการกระจายของผลิตภัณฑ์ไอโตรคาร์บอนในปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไอโตรเจน(2๐:8๐) เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	89
4.21	แสดงปริมาณไดคิกในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 55๐ °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 5.2 x 10 ⁴ ซม. ⁻¹ ของทั้งสามระบบ.....	90
4.22	แสดงร้อยละของอัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมเหลว เมื่อใช้ร้อยละของไอโตรเจนต่างกัน....	93
4.23	แสดงร้อยละของอัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไอโตรเจน เมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	93
4.24	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของ LPG + H ₂ โดยมีปริมาณไอโตรเจนต่างกัน.....	94
4.25	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในการทำปฏิกิริยาดิโอโตรเจนเนชันของ LPG + H ₂ โดยมีปริมาณไอโตรเจนต่างกัน.....	94

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.26	แสดงร้อยละของอัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	98
4.27	แสดงร้อยละของอัตราการเปลี่ยนของปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่อความเร็วเชิงสเปซเปลี่ยนไป.	98
4.28	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	99
4.29	แสดงร้อยละของการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่อความเร็วเชิงสเปซเปลี่ยนไป.....	99
4.30	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป.....	100
4.31	แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาดีไฮโดรเจเนชันของแก๊สปีโตรเลียมกับไฮโดรเจน เมื่อความเร็วเชิงสเปซเปลี่ยนไป.....	100
ช.1	แสดงความดันไอของแก๊สปีโตรเลียมเหลว.....	116
ช.2	แสดงไดอะแกรม PVT ของโพรเพน.....	119
ช.3	กราฟแสดงค่าความหนืดของไอของโอเลฟินส์เบา.....	119
ช.4	แผนภูมิแสดงค่าคอมเพรสซิบิลิตีแฟกเตอร์.....	120
ช.5	กราฟแสดงค่าความร้อนจำเพาะของไอของไฮโดรคาร์บอน.....	121
ช.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนของการดูดซับของแก๊ส O_2, N_2, C_2H_2, NH_3 และ H_2 บนโลหะที่ถูกรีดิวส์.....	122
ช.1	แสดงไดอะแกรมของแก๊สชีวทินจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี..	130
ช.2	แสดงไดอะแกรมของแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบาไม่เกิน 6 คาร์บอนอะตอม	131
ช.1	แสดงรูปสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปของ Pt-Sn/ Al_2O_3 ก่อนทำปฏิกิริยา (กำลังขยาย 3500 เท่า).....	132

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ช.2	แสดงรูปสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปของ Pt-Sn/Al ₂ O ₃ หลังทำปฏิกิริยา และเกิดโคลิก (กำลังขยาย 2000 เท่า).....	132
ฅ.1	แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการทำปฏิกิริยาของระบบแก๊สปิโตรเลียมในหนึ่งรอบของการทำปฏิกิริยา เมื่อระบบของแก๊สปิโตรเลียมกับไฮโดรเจนทำงานในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	136



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย