

ผลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่อการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

นาย สุรศักดิ์ สิรินันทผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-882-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 2050 8852

**EFFECTS OF HYDROCARBON GASES ON SOLUBILITY
OF CARBON DIOXIDE IN WATER**

MR. SURASAK SIRINANTAPOL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-882-4


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่อการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ
โดย นายสุรศักดิ์ สิรินันทดล
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุณา
ที่ปรึกษาร่วม คุณ สุราษ อินทาม่า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

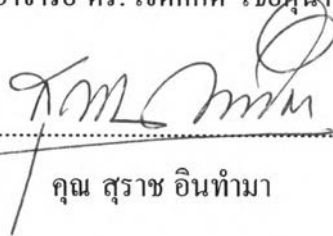
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



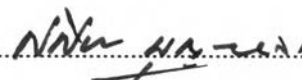
..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)




..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุณา)



..... ที่ปรึกษาร่วม
(คุณ สุราษ อินทาม่า)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร บุญหลง)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรศักดิ์ สิรินันท์พล : ผลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่อการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ
(EFFECTS OF HYDROCARBON GASES ON SOLUBILITY OF CARBON DIOXIDE IN
WATER) อ.ที่ปรึกษา : ดร. เจตศักดิ์ ไชยคุนา, 90 หน้า. ISBN 974-632-882-4

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ ก๊าซผสมระหว่างไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรคาร์บอน ก๊าซผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ใช้ก๊าซธรรมชาติที่มีสัดส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และสารไฮโดรคาร์บอน อิ่มตัวจากมีเทนถึงเฮกเซนรวมกัน 85 เปอร์เซ็นต์ การทดลองทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ ที่ความดันในช่วง 25-600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิในช่วง 10 ถึง 30 องศาเซลเซียส ในระบบทวิภาค ไตรภาค และพหุภาค ในระบบพหุภาค มีการศึกษาถึงผลการเปลี่ยน L/V ของระบบจาก 1.964 ถึง 23.29 สัดส่วนโดยโมล

จากผลการทดลองพบว่า ในระบบทวิภาค ค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปตามกฎของเฮนรี และค่าคงที่ของเฮนรีที่ 10 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5.0×10^{-5} (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)⁻¹ และที่ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3.2×10^{-5} (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)⁻¹ ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิอย่างเดี่ยวไม่ขึ้นกับความดัน ในระบบไตรภาค ค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงไปประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยเทียบกับระบบทวิภาคที่ความดันย่อยและอุณหภูมิของระบบเท่ากัน ในระบบพหุภาค ค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ในน้ำลดลงไป 27.35 และ 36.81 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 30 และ 10 องศาเซลเซียส ผลของ L/V ปรากฏว่า เมื่อลดค่า L/V จาก 23.29 เป็น 1.964 ค่าการละลายเพิ่มขึ้นจาก 1.331×10^{-3} เป็น 2.425×10^{-3} โมลเปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 82.19 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C317999 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT

KEY WORD: HYDROCARBON/ GASES/ SOLUBILITY/ CARBON DIOXIDE/ WATER

SURASAK SIRINANTAPOL : EFFECTS OF HYDROCARBON GASES ON SOLUBILITY OF CARBON DIOXIDE IN WATER. THESIS ADVISOR :

JIRDSAK TSCHEIKUNA, Ph.D. 90 pp. ISBN 974-632-882-4

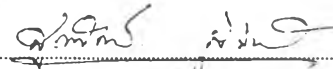
In this research, solubility of carbon dioxide in water was studied. The gas systems consist of pure carbon dioxide, a mixture of carbon dioxide and nitrogen and a mixture of carbon dioxide and hydrocarbon gases. The mixture of carbon dioxide and hydrocarbon gases is an actual natural gas composes of approximately 15% carbondioxide and 85% paraffin hydrocarbon from methane through heptane. The experiments were conducted in a batch reactor at pressure, temperature, and L/V ratio, ranging from 25 to 600 psig, 10 to 30 °C and 1.964 to 23.29 by mole consequently.

Experimental results showed that, solubility of carbon dioxide in water followed Henry's law and the Henry constant depended on temperature but did not depend on pressure, at temperature 10 °C and 20 °C the Henry constant were $5.0 \times 10^{-5} \text{ (psig)}^{-1}$ and $3.2 \times 10^{-5} \text{ (psig)}^{-1}$ respectively. Solubility in water of carbon dioxide in a mixture of CO₂ and N₂ decreased approximately 45% compared with pure CO₂ system at the same partial pressure and same temperature. In a mixture of CO₂ and hydrocarbon, solubility of carbon dioxide in water decreased about 27.35% and 36.81% at temperature 30 °C and 10 °C consequently, for varied L/V ratio from 23.29 to 1.964, the solubility increased from $1.331 \times 10^{-3} \%$ to $2.425 \times 10^{-3} \%$ by mole and 82.19% increasing.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..........

กิติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในระหว่างปี 1993-1995 ได้มีผู้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำขึ้นที่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ็ดศักดิ์ ไชยคุนา ที่กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะและชี้แนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้มาอย่างต่อเนื่องตลอดมา

ขอขอบคุณการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยที่กรุณาให้ใช้ตัวอย่างก๊าซธรรมชาติในการวิจัยนี้ และยังวิเคราะห์ สารตัวอย่างให้โดยไม่คิดมูลค่า

ขอขอบคุณบริษัทลิกวิดคาร์บอนิก ประเทศไทย จำกัด ที่กรุณาให้ข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนทางวิจัย

ขอขอบคุณที่ปรึกษา ร่วม คุณสุรราช อินทามา ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางในการวิจัย

ขอขอบคุณคุณพรชัย เครือกาญจนา คุณโชคชัย จิวราษฎร์อำนาจ ที่ช่วยตรวจพิมพ์ และจัดรูปเล่มของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณแม่ แม่ พี่น้องที่ช่วยสนับสนุนให้การทำวิทยานิพนธ์ เป็นไปด้วยดี และสามารถจัดทำเป็นรูปเล่มได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎี.....	5
3. การวิจัย.....	23
4. ผลการวิจัย.....	32
5. สรุปและวิจารณ์ผล.....	64
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	70
ก. ตัวอย่างการคำนวณ.....	71
ข. การสร้างกราฟด้วยวิธี Least Square.....	75
ค. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและสัดส่วน โมลของคาร์บอน ไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงปริมาตรการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคของน้ำ..... 14
2.2	แสดงค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำและในน้ำเกลือ..... 15
2.3	แสดงสภาพละลายได้ของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ..... 16
3.1	องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย..... 24
4.1	แสดงผลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 32
4.2	ผลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันข้อย 0 - 250 PSIG โดยมีก๊าซในโตรเจนเป็นตัวปรับสมดุลความดันที่ 450 PSIG..... 36
4.3	ข้อมูลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีไฮโดรคาร์บอนผสมอยู่ในวัฏภาคของของเหลว..... 40
4.4	ข้อมูลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อมีไฮโดรคาร์บอนผสมอยู่ในวัฏภาคของไอ..... 41
4.5	ข้อมูลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปรับค่า L/V ของระบบให้อยู่ระหว่าง 1.964 ถึง 23.29 ในวัฏภาคของของเหลว ที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG..... 46
4.6	ข้อมูลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปรับค่า L/V ของระบบให้อยู่ระหว่าง 1.964 ถึง 23.29 ในวัฏภาคของไอ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG..... 48
4.7	แสดงผลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวมเมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของของเหลว ที่อุณหภูมิ 10 °ซ..... 52
4.8	แสดงผลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวมเมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของของเหลว ที่อุณหภูมิ 20 °ซ..... 52

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงผลการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวม เมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของ ของเหลว ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	53
4.10 แสดงผลสัดส่วนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวม เมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของไอ ที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	54
4.11 แสดงผลสัดส่วนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวม เมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของไอ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ.....	54
4.12 แสดงผลสัดส่วนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CH ₄ , ไฮโดรคาร์บอนรวม เมื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ความดัน 400 ถึง 500 PSIG ในวัฏภาคของไอ ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	55

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงผังการต่อเครื่องมือทดลอง.....	25
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การละลายของ CO ₂ ในน้ำกับความดัน ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 °ซ	33
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ CO ₂ ในน้ำกับความดัน ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 °ซ	34
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและสัดส่วน โมลของคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคของของเหลวเปรียบเทียบกับผลงานของ J.H. Matous, J. Sobr, J.P. Novak และ J. Pick [8].....	35
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ CO ₂ สัดส่วน โมลของ N ₂ กับความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	37
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ CO ₂ สัดส่วน โมลของ N ₂ กับความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 20 °ซ	37
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ CO ₂ สัดส่วน โมลของ N ₂ กับ ความดัน ในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 10 °ซ	38
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ CO ₂ สัดส่วน โมลของ N ₂ กับ ความดัน ในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °ซ 38.....	38
4.8 กราฟเปรียบเทียบการละลายของคาร์บอน ไดออกไซด์ในน้ำ ระหว่างระบบ ไตรภาคและทวิภาค.....	39
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของ CO ₂ กับความดันรวมของระบบที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ ในวัฏภาคของของเหลว.....	41
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของ CH ₄ กับความดันรวมของระบบที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ ในวัฏภาคของของเหลว.....	42
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของ C ₂ กับความดันรวมของระบบที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ ในวัฏภาคของของเหลว.....	42
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของผลรวมไฮโดรคาร์บอนกับความดันรวมของระบบที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ ในวัฏภาคของของเหลว.....	43

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ.....	43
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CH ₄ และความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ.....	44
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ C ₂ ⁺ และความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ.....	44
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของผลรวมไฮโดรคาร์บอนและความดันในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 °ซ.....	45
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลรวมไฮโดรคาร์บอน ที่ความดันต่างๆ ในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	45
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลรวมไฮโดรคาร์บอน ที่ความดันต่างๆ ในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	46
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันย่อยและสัดส่วนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ.....	47
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์กับ L/V ของระบบในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	48
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของ CH ₄ , C ₂ ⁺ และไฮโดรคาร์บอนรวม กับ L/V ของระบบในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	49
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์กับ L/V ของระบบในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	49
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของ CH ₄ , C ₂ ⁺ และไฮโดรคาร์บอนรวม กับ L/V ของระบบในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	50
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรคาร์บอนรวม ที่ค่า L/V ต่างๆในวัฏภาคของของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	50

รูปที่	หน้า
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนรวมที่ค่า L/V ต่างๆ ในวัฏภาคของไอที่อุณหภูมิ 20 °ซ และความดัน 450 PSIG.....	51
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 400 PSIG.....	56
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 450 PSIG.....	56
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 500 PSIG.....	57
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ ของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 400 PSIG ที่อุณหภูมิ 20 °ซ.....	57
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ ของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 450 PSIG ที่อุณหภูมิ 20 °ซ.....	58
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ ของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 400 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	58
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ ของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 450 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	59
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ ของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ ที่ความดัน 500 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	59

รูปที่	หน้า
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 400 PSIG ที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	60
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 450 PSIG ที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	60
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 500 PSIG ที่อุณหภูมิ 10 °ซ.....	61
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 400 PSIG ที่อุณหภูมิ 20 °ซ.....	61
4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 450 PSIG ที่อุณหภูมิ 20 °ซ.....	62
4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 400 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	62
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 450 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	63
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ CO ₂ , CH ₄ , และไฮโดรคาร์บอนรวม กับจำนวนรอบของน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ความดัน 500 PSIG ที่อุณหภูมิ 30 °ซ.....	63
5.1 แสดงผังเครื่องมือทำการวิจัยในระบบต่อเนื่อง.....	68