การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต

นางสาวศศิธร สรรพ่อค้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-6435-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22459522

CO-LIQUEFACTION OF COAL AND PLASTIC MIXTURES IN SUPERCRITICAL WATER

Miss Sasithorn Sunphorka

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-6435-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต
โดย	นางสาวศศิธร สรรพ่อค้า
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....รองคณบดีฝ่ายบริหารรักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทร)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

ศศิธร สรรพ่อค้า : การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต (CO-LIQUEFACTION OF COAL AND PLASIC MIXTURES IN SUPERCRITICAL WATER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ศ.ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ, 114 หน้า. ISBN 974-17-6435-9.

การศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินลิกไนต์และพลาสติกผสมประกอบด้วยพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน ในอัตราส่วน 27/25/35/13 โดยน้ำหนัก ในน้ำภาวะเหนือวิกฤตกระทำภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาด 250 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ อัตราส่วนน้ำต่อสารตั้งต้นและอัตราส่วนถ่านหินต่อพลาสติกผสมต่อร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละผลได้ของเหลวและองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ เพื่อระบุความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนและผลได้ของเหลว สำหรับการสลายตัวของพลาสติกผสมพบว่ามีเพียงอุณหภูมิเท่านั้นที่มีผลต่อผลได้ของเหลวอย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ร้อยละผลได้ของเหลวสูงสุดคือ 66% ที่ 450 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนน้ำต่อพลาสติกผสม 2:1 สำหรับการศึกษาการแปรรูปร่วมพบว่าปัจจัยทั้งสามปัจจัยมีผลต่อผลได้ของเหลวแต่อุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนอย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ร้อยละผลได้ของเหลวสูงสุดคือ 50% ที่ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำต่อสารตั้งต้น 6:1 และร้อยละพลาสติกผสม 70 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์สัดส่วนตามการแจกแจงจุดเดือดโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟีจำลองการกลั่น พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและอัตราส่วนของน้ำต่อสารตั้งต้น

การปรับปรุงเครื่องปฏิกรณ์โดยต่อเติมส่วนควบแน่นที่วาล์วแก๊สขาออกทำให้ร้อยละของเหลวเพิ่มขึ้น สำหรับผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ไอร์ออน (III) ซัลไฟด์ และนิกเกิลโมลิบดินัมพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองช่วยลดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2548.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772494023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CO-LIQUEFACTION / COAL / PLASTIC MIXTURES / SUPERCRITICAL WATER

SASITHORN SUNPHORKA : CO-LIQUEFACTION OF COAL AND PLASTIC MIXTURES IN SUPERCRITICAL WATER. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SOMKIAT NGAMPRASERTSITH, Dr. de l' INPT., THESIS CO-ADVISOR: PROF. PATTARAPAN PRASASSARAKICH, PhD. 114 PP. ISBN 974 -17-6435 -9

Co-liquefaction of lignite and plastic mixtures composed of high-density polyethylene (HDPE), low-density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP) and polystyrene (PS) at ratio of 27/25/35/13 by weight in supercritical water was studied in a 250-ml batch reactor. The experiments were carried out to investigate the effects of temperature, water/feedstock ratio and coal/ plastic mixtures ratio on conversion, liquid yield and oil distribution. The two-level factorial design was used to estimate the significant variables affecting on conversion and liquid yield. For plastic mixture cracking experiments, the results indicated that only temperature had a significant effect on liquid yield and the %liquid yield reached 66% at optimum condition of 450°C and water/ plastic mixtures ratio of 2/1. For co-liquefaction of coal and plastic mixtures, the results indicated that all variables had effects on liquid yield but temperature did not had significant effect on conversion. The %liquid yield reached 50% at optimum condition of 450°C, water/feedstock ratio of 6/1 and 70% plastic content in feedstock. The distillation characteristic of oil products was analyzed by simulated distillation gas chromatography and the oil composition depended on temperature and water/feedstock ratio.

The batch reactor was also modified by connecting the condenser at outlet gas valve, %liquid yield was increased. The effect of Fe_2S_3 and Ni/Mo catalysts on conversion and liquid yield was also investigated, the temperature of co-liquefaction could be reduced.

Department.....Chemical Technology..... Student's signature.....

Field of study.....Chemical Technology..... Advisor's signature.....

Academic year...2005..... Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

งานวิจัยเรื่อง "การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุน จากโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิงภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี รวมถึงทุนบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร และอาจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ คำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจจนกระทั่งทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และ ให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 4

2.1 ถ่านหิน..... 4

2.2 วิธีการพัฒนาการใช้ถ่านหินในปัจจุบัน..... 10

2.3 พลาสติก..... 15

2.4 ขยะพลาสติก..... 18

2.5 น้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 18

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 32

3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... 35

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง..... 35

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี..... 36

3.3 การดำเนินการวิจัย..... 37

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 40

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 44

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น..... 44

4.2 การสกัดถ่านหินด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 45

4.3 ผลของชนิดของพลาสติกในการศึกษาการสลายตัวของพลาสติกและการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกให้เป็นของเหลว..... 47

4.4 การสลายตัวของพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต... 52

หน้า

4.5 การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 58
4.6 การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 75
4.7 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วย GC/MS..... 78
4.8 การสลายตัวของพลาสติกผสมและการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมในน้ำภาวะเหนือวิกฤต ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการต่อเติมส่วนของการควบแน่น..... 80
4.9 การเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนรวมและร้อยละผลได้ของเหลวกับงานวิจัยอื่น..... 81
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....84
5.1 สรุปผลการทดลอง.....84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....86

รายการอ้างอิง.....87

ภาคผนวก.....92
ภาคผนวก ก การคำนวณและข้อมูลการทดลอง.....93
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติถ่านหิน.....100
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลว.....107
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สโดยแก๊สโครมาโทกราฟ.....109
ภาคผนวก จ ภาวะในการทดลอง.....110
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....112
ภาคผนวก ช การวิเคราะห์การแจกแจงของผลิตภัณฑ์..... 113

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....114

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา	6
2.2	กระบวนการผลิตของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.3	การประยุกต์ใช้น้ำภาวะเหนือวิกฤต	19
2.4	ผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากไฮโดรไลซิสในน้ำภาวะเหนือวิกฤต	24
2.5	รวมผลของน้ำสำหรับปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ในน้ำภาวะเหนือวิกฤต	31
3.1	ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา ของการทดลองเบื้องต้นสำหรับศึกษาการสลายตัวของพลาสติกผสม	37
3.2	ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา ของการออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสม	37
3.3	การทดลองเบื้องต้นของการสลายตัวของพลาสติกผสม	38
3.4	การออกแบบแบบ 2^3 แฟกทอเรียล ของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสม	38
4.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณและแบบแยกธาตุของถ่านหินและพลาสติกผสมเริ่มต้น	45
4.2	ผลการทดลองเบื้องต้นการสกัดถ่านหิน	46
4.3	ร้อยละการเปลี่ยนรวมและร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว สำหรับการทดลองเบื้องต้นของการสลายตัวของพลาสติกผสม	53
4.4	ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสม	59
4.5ก	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมสำหรับร้อยละการเปลี่ยน	61
4.5ข	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมสำหรับร้อยละผลได้ของเหลว	61
4.6	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของกากของแข็ง	68
4.7	ผลการส่งเสริมกันแบบทวีคูณของร้อยละการเปลี่ยน	72
4.8	ผลการส่งเสริมกันแบบทวีคูณของร้อยละผลได้ของเหลว	72
4.9	การเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนรวมและร้อยละผลได้ของเหลวของงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยนี้	83

ตาราง หน้า

ง1 ข้อมูลและภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ.....109
จ1 ภาวะในการทดลองการสกัดถ่านหินด้วยน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....110
จ2 ภาวะในการทดลองการสลายตัวของพลาสติกผสมในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....110
จ3 ภาวะในการทดลองการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลว ในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....111
ฉ1ก ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินและ พลาสติกผสมจากการคำนวณสำหรับร้อยละการเปลี่ยน.....112
ฉ1ข ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินและ พลาสติกผสมจากการคำนวณสำหรับร้อยละผลได้ของเหลว.....112

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 โมเลกุลสมมติของถ่านหิน 5

2.2 ถ่านหินลิกไนต์ จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดลำปาง.....7

2.3 กระบวนการสำหรับการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน.....12

2.4 ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศ ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1999 ถึง ค.ศ.2008.....16

2.5 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน, PE.....16

2.6 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน ,PP.....17

2.7 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน, PS.....17

2.8 การผลิตขยะบ้านเรือนต่อครัวเรือน.....18

2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์.....19

2.10 จำนวนพันธะไฮโดรเจนต่อโมเลกุลน้ำ.....21

2.11 สมบัติของน้ำบริสุทธิ์ที่ 250 บาร์.....22

2.12 ผลของความหนาแน่นของน้ำต่อการเปลี่ยนของผลได้ของเมทานอลจากการไพโรไลส์ของ guaiacol ที่ 383 องศาเซลเซียส.....25

2.13 ค่าการเปลี่ยนของ methoxynaphthalene ใน NaCl และน้ำภาวะเหนือวิกฤต ที่ 0.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (วงกลม) 0.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (สี่เหลี่ยม) และ 0.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (สามเหลี่ยม).....25

2.14 ผลของความดันที่มีต่อค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการออกซิไดซ์ CO ในน้ำ ที่ 570 องศาเซลเซียส.....27

2.15 ค่าคงที่อัตราการสลายตัวของเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสในน้ำอุณหภูมิสูงและน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....30

3.1 เครื่องปฏิกรณ์ Parr Reactor Model 4843.....35

4.1 Thermo gravimetric analysis สำหรับพลาสติกแต่ละชนิด.....47

4.2ก ผลของชนิดของพลาสติกต่อร้อยละการเปลี่ยนและร้อยละผลได้ของเหลว.....49

4.2ข ผลของชนิดของพลาสติกต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว..... 49

ภาพประกอบ หน้า

4.3ก ผลของชนิดของพลาสติกต่อร้อยละการเปลี่ยนและร้อยละผลได้ของเหลว..... 51
4.3ข ผลของชนิดของพลาสติกต่อร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว..... 51
4.4 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อพลาสติกผสมและอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว..... 53
4.5 ผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการสลายตัวของพลาสติกผสม..... 54
4.6 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อพลาสติกผสม..... 55
4.7 กลไกการเกิดไพโรไลซิสของแบบจำลองของพอลิพรอพิลีน..... 56
4.8 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สสำหรับกระบวนการสลายตัวของพลาสติกผสม..... 58
4.9ก ความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผลสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมสำหรับร้อยละการเปลี่ยน.....60
4.9ข ความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผลสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมสำหรับร้อยละผลได้ของเหลว.....60
4.10ก ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อถ่านหินและพลาสติกผสมและร้อยละพลาสติกผสมต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....62
4.10ข ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อถ่านหินและพลาสติกผสมและร้อยละพลาสติกผสมต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว ที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส.....62
4.11 ผลของอุณหภูมิต่อการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสม.....63
4.12ก ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อถ่านหินต่อร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์.....65
4.12ข ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อถ่านหินต่อร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว..... 65
4.13ก ผลของร้อยละโดยน้ำหนักของพลาสติกผสมต่อร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์.....67
4.13ข ผลของร้อยละโดยน้ำหนักของพลาสติกผสมต่อร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว.....67

ภาพประกอบ หน้า

4.14 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสม.....69
4.15 แบบจำลองขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....73
4.16ก ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนและร้อยละผลได้ของเหลว.....77
4.16ข ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว.....77
4.17ก GC/MS โครมาโทแกรมขององค์ประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์ของเหลวสำหรับการสลายตัวของพลาสติกผสม..... 79
4.17ข GC/MS โครมาโทแกรมขององค์ประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์ของเหลวสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลว..... 79
4.18 เครื่องปฏิกรณ์หลังต่อเติมส่วนควบแน่นและส่วนเก็บของเหลว..... 80
4.19ก ผลการต่อเติมส่วนการควบแน่นให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนและร้อยละผลได้ของเหลว..... 82
4.19ข ผลการต่อเติมส่วนการควบแน่นให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ที่มีร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว.....82
ค1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมการวิเคราะห์น้ำมันดิบจาก Simulated Distillation Gas Chromatograph 107
ค2 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดของน้ำมันดิบจาก Simulated Distillation Gas Chromatograph. 108
ช1ก ผลของอัตราส่วนของน้ำต่อถ่านหินและพลาสติกผสมและร้อยละพลาสติกผสมต่อการแจกแจงของผลิตภัณฑ์รวม ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....113
ช1ข ผลของอัตราส่วนของน้ำต่อถ่านหินและพลาสติกผสมและร้อยละพลาสติกผสมต่อการแจกแจงของผลิตภัณฑ์รวม ที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส.....113