

การกำจัดกำมะถันจากถ่านหินโดยไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ

นายจักรชัย ธนศรีสุข



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-433-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SULPHUR REMOVAL FROM COAL BY LOW TEMPERATURE PYROLYSIS



Mr. Chatchai Thanasrisuk

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology**

Department of Chemical Technology

Graduate School

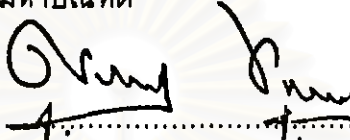
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-433-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดกำมะถันในถ่านหินโดยไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ
โดย นายฉัตรชัย ธนศรีสุข
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

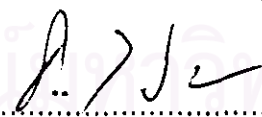

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ใสสุวรรณ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตรสานต์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ฉัตรชัย ธนศรีสุข : การกำจัดกำมะถันในถ่านหินโดยไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ (SULPHUR REMOVAL FROM COAL BY LOW TEMPERATURE PYROLYSIS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. กัญจนานุณยเกียรติ, 90 หน้า. ISBN 974-639-433-9.

ทดลองไพโรไลสถ่านหินลิกไนต์ที่มีกำมะถันร้อยละ 3.77 (เมื่อไม่คิดความชื้น) โดยเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนในบรรยากาศไนโตรเจนและไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิสุดท้าย 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10, 20 และ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที ประสิทธิภาพในการกำจัดกำมะถันอยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึง 60 ในช่วงอุณหภูมิ 600 ถึง 700 องศาเซลเซียส ไพโรไลซิสที่อัตราการให้ความร้อนสูงกว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดกำมะถันมากกว่า การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบกำมะถันแสดงว่าบรรยากาศไฮโดรเจนสามารถกำจัดกำมะถันในถ่านหินได้ดีกว่า การสูญเสียน้ำหนักโดยสำคัญของถ่านหินระหว่าง ไพโรไลซิสเกิดขึ้น 3 ช่วงหลัก ประกอบด้วย การสลายตัวของความชื้น ไฮโดรคาร์บอนเบา และสารประกอบอะโรแมติก เป็นส่วนใหญ่ สามารถคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นโดยแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยสำหรับบรรยากาศไนโตรเจนมีค่า 48.46, 144.71 และ 238.05 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ สำหรับบรรยากาศไฮโดรเจนมีค่า 48.80, 157.73 และ 237.25 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมี เทคโนโลยี
สาขาวิชา เคมี เทคโนโลยี
ปีการศึกษา ๒๕๔๑

ลายมือชื่อนิติกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3970343423 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD:

COAL / PYROLYSIS / DESULPHURIZATION / KINETICS

CHATCHAI THANASRISUK : SULPHUR REMOVAL FROM COAL BY
LOWTEMPERATURE PYROLYSIS. THESIS ADVISOR : ASSIST. KUNCHANA

BUNYAKIAT, 90 pp. ISBN 974-639-433-9.

Lignite coal containing 3.77wt%, db. of sulphur was pyrolysed in a thermogravimetric analyser under nitrogen and hydrogen stream at atmospheric pressure and temperature up to 900 °C, with heating rates of 10, 20 and 40 °C/min. Between 40 and 60 % of total sulphur, which includes organic sulphur, was assessed for final temperature of 600-700 °C. Rapid pyrolysis char was more efficient for desulphurization than slow heating pyrolysis char. The changes in the total and forms of sulphur that were determined by chemical analysis indicated that more sulphur was removed in pyrolysis under hydrogen. The global mass loss during coal pyrolysis was modeled by a combination of the volatile evolutions of three independent parallel lumps, which are attributed to the decomposition of moisture, light hydrocarbons and aromatic compounds, mainly. The decomposition of each lump was characterized by a single reaction, first order with respect to the amount of volatile yet to evolve. For nitrogen stream, the activation energies are 48.46, 144.71 and 238.05 KJ/mol, respectively and for hydrogen stream, the activation energies are 48.80, 157.73 and 237.25 KJ/mol, respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา.....๒๕๔๑.....

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.กัญญา บุญเกียรติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำตักเตือน และช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และช่วยซ่อมแซมและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยจนสามารถดำเนินการได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำมาโดยตลอด

งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับทุนการศึกษาจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสภาวิจัยแห่งชาติ

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชาย ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	3
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 วรรณสารปริทัศน์	4
2.1 ด้านหิน	4
2.1.1 โครงสร้างอินทรีย์	5
2.1.2 สารประกอบแร่ธาตุ	5
2.2 การจำแนกด้านหิน	6
2.3 การวิเคราะห์ด้านหิน	8
2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ	8
2.3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	10
2.3.3 การทดลองเพิ่มเติม	10
2.4 กำมะถันในด้านหิน	10
2.4.1 กำมะถันอินทรีย์	10
2.4.2 กำมะถันอินทรีย์	12
2.5 การกำจัดกำมะถันในด้านหิน	12
2.6 ไพโรไลซิส	14
2.7 การกำจัดกำมะถันในด้านหินโดยไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ	17
2.8 การศึกษาจลนพลศาสตร์ระหว่างไพโรไลซิสด้านหิน	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.9.1 ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ	21
2.9.2 ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง	24
2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ	24
3 การดำเนินงานทดลอง	26
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.1.1 อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างถ่านหิน	26
3.1.2 อุปกรณ์ไพโรไลซิส	26
3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	29
3.4 วิธีทดลอง	29
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	34
4.1 การวิเคราะห์ถ่านหินและกำมะถันในถ่านหิน	34
4.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านชาร์เมื่อไพโรไลสในบรรยากาศไนโตรเจน	35
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็ง	35
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันรวม	37
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ	38
4.3 ผลการวิเคราะห์ถ่านชาร์เมื่อไพโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน	42
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็ง	42
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันรวม	43
4.3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ	45
4.4 การศึกษาและวิเคราะห์เทอร์โมแกรม	47
4.5 จลนพลศาสตร์ของการสูญเสียน้ำหนักของถ่านหิน	61
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	65
รายการอ้างอิง	68
ภาคผนวก	71

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ก	71
ภาคผนวก ข	79
ภาคผนวก ค	82
ประวัติผู้เขียน	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 พื้นที่การผลิตถ่านหินในประเทศไทยในปัจจุบัน	1
1.2 อัตราการผลิตถ่านหินในประเทศไทย (2521-2540)	2
2.1 การจำแนกถ่านหินตามศักดิ์	8
2.2 ปฏิกริยาที่อาจเกิดขึ้นของกำมะถันอนินทรีย์ระหว่างไพโรไลซิสถ่านหิน	18
2.3 ปฏิกริยาที่อาจเกิดขึ้นของกำมะถันอินทรีย์ระหว่างไพโรไลซิสถ่านหิน	19
3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหินเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติ	32
4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินแม่เมาะแบบประมาณ	34
4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินแม่เมาะแบบแยกธาตุ	35
4.3 ผลการวิเคราะห์กำมะถันรวมและรูปแบบกำมะถันตัวอย่างถ่านหินแม่เมาะ.....	35
4.4 ร้อยละปริมาณกำมะถันรวมและร้อยละการกำจัดกำมะถันรวม เมื่อไพโรไลสที่อัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิต่าง ๆ	37
4.5 ร้อยละกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ ในถ่านซาร์ที่ได้จากไพโรไลสที่ อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	39
4.6 ร้อยละการกำจัดกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ จากไพโรไลสที่อุณหภูมิ และอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	40
4.7 ร้อยละปริมาณกำมะถันรวมและร้อยละการกำจัดกำมะถันรวมเมื่อ ไฮโดรไพโรไลสที่อัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิต่าง ๆ	44
4.8 ร้อยละกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ ในถ่านซาร์ที่ได้จากไฮโดรไพโรไลส ที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	46
4.9 ร้อยละการกำจัดกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ จากไฮโดรไพโรไลสที่อุณหภูมิ และอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	46
4.10 อุณหภูมิซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยสำคัญ (T_{max}) ระหว่างไพโรไลสถ่านหินที่อัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ ในบรรยากาศ ไนโตรเจนและไฮโดรเจน	61
4.11 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกริยาอันดับหนึ่งเมื่อไพโรไลส ถ่านหินที่อัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ ในบรรยากาศไนโตรเจนและไฮโดรเจน ...	62

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างถ่านหิน	5
2.2 สมมติฐานโครงสร้างโมเลกุลของถ่านหิน	6
2.3 กระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน	14
2.4 สมมติฐานการแตกออกของโมเลกุลถ่านหินระหว่างไพโรไลซิส	15
2.5 ขั้นตอนในกระบวนการไพโรไลซิส	16
2.6 ขั้นตอนในกระบวนการไฮโดรไพโรไลซิส	17
3.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อน ได้แก่ simultaneous DTA and thermobalance ,temperature controller และ x-y plotter ตามลำดับ	27
3.2 การวางครุซีเบิลบนแกนชั่งน้ำหนัก	27
3.3 อุปกรณ์ในการควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส	28
3.4 อุปกรณ์ในการทดสอบอัตราการไหลของแก๊ส	28
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	30
3.6 ชุดการทดลอง	31
4.1 น้ำหนักของถ่านชาร์หลังจากไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	36
4.2 ปริมาณกำมะถันรวมในถ่านชาร์หลังจากไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	38
4.3 การสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน	41
4.4 ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านชาร์หลังจากไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	41
4.5 น้ำหนักของถ่านชาร์หลังจากไฮโดรไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	42
4.6 ปริมาณกำมะถันรวมในถ่านชาร์หลังจากไฮโดรไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	43
4.7 ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านชาร์หลังจากไฮโดรไพโรไลสที่อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	49
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	50
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	51
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	52
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	53
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลต์ในบรรยากาศในโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	55
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	56
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	57
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	58
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	59
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การสูญเสียน้ำหนัก (w/w_0) และอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลา (dm/dt) กับเวลา เมื่อโฟโรไลสในบรรยากาศไฮโดรเจน ช่วงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน (η) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[H/(T_{max})^2]$ กับ $1/T_{max}$ เมื่อไฟโรไลต์ ในบรรยากาศไฮโดรเจน ที่อัตราการให้ความร้อน (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	63
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[H/(T_{max})^2]$ กับ $1/T_{max}$ เมื่อไฟโรไลต์ ในบรรยากาศไฮโดรเจน ที่อัตราการให้ความร้อน (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 40 องศาเซลเซียสต่อนาที	64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย