

การบ่งความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหินในรูปของค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก



น.ส. วลีลิกา คงเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-576-707-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016991

T 16210102

Combustibility Assessment of Coals via a Weighted Mean Activation Energy

Miss Vallika Kongcharoen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-576-707-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบ่งความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหินในรูปของค่าพลังงานกระตุ้น  
เฉลี่ยทางน้ำหนัก


โดย น.ส. วัลลิกา คงเจริญ

ภาควิชา เคมีเทคนิค


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ

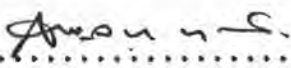



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

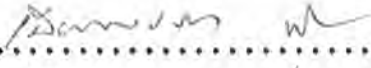
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ)

  
.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสวรรณ)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรณ ทักคร)



วัลลิกา คงเจริญ : การประเมินความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหินในรูปของค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (COMBUSTIBILITY ASSESSMENT OF COALS VIA A WEIGHTED MEAN ACTIVATION ENERGY) อ.ที่ปรึกษา : รศ.กัญจนา บุญเกียรติ, 161 หน้า ISBN 974-576-707-7

ในการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ควรทราบถึงความว่องไวของเชื้อเพลิงเพื่อจะทำการนำปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงในการใช้งานระดับอุตสาหกรรมได้ หรือใช้เลือกเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกว่า งานวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหินในเทอมของ ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Mean Activation Energy,  $E_m$ ) และอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Peak Temperature, PT) โดยทำการทดลองการเผาไหม้ของถ่านหิน 10 ตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหยได้ และค่าความร้อนของถ่านหินอยู่ในช่วง 22.13-78.08 , 7.36-44.03 เปอร์เซ็นต์ และ 2,798-7,018 แคลอรีต่อกรัมตามลำดับ ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา 25-1200 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะของอากาศ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางอุณหภูมิและความร้อน (Simultaneous DTA and Thermogravimetric Analyser) ถ่านหินที่ใช้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร ปริมาณ  $20 \pm 0.5$  มิลลิกรัมต่อครั้ง โดยเพิ่มอัตราการให้ความร้อนจาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT เพิ่มขึ้นในช่วง 317-494, 355-595 และ 380-635 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักลดลงอยู่ในช่วง 30.30-91.44, 29.23-60.22 และ 18.71-60.20 กิโลจูลต่อโมลตามลำดับ และพบว่า  $E_m$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารระเหยได้ลดลง ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของถ่านหินเพิ่มขึ้น ที่อัตราการให้ความร้อนเดียวกันพบว่าค่า  $E_m$  สัมพันธ์กับ PT โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า  $E_m$  เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหินแทน PT ได้ และสามารถใช้จ่ายแก่ถ่านหินออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการเผาไหม้สูง ( $E_m$  อยู่ในช่วง 29.83-48.05 กิโลจูลต่อโมล) ปานกลาง ( $E_m$  อยู่ในช่วง 42.37-74.18 กิโลจูลต่อโมล) และต่ำ ( $E_m$  อยู่ในช่วง 58.31-88.10 กิโลจูลต่อโมล)

ภาควิชา ..... เคมี เทคนิค .....  
สาขาวิชา ..... เคมี เทคนิค .....  
ปีการศึกษา ..... 2533 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... *วัลลิกา คงเจริญ* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *กัญจนา บุญเกียรติ* .....

VALLIKA KONGCHAROEN : COMBUSTIBILITY ASSESSMENT OF COALS VIA A  
WEIGHTED MEAN ACTIVATION ENERGY. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.  
KUNCHANA BUNYAKIAT, 161 pp. ISBN 974-576-707-7

In this study, reactivity of coals was determined in terms of weighted mean activation energy,  $E_m$  and burning profile peak temperature, PT. Ten samples of coal with fixed carbon, volatile matter and heating value in the range of 22.13-78.98 %, 7.36-44.03 % and 2,798-7,018 cal/g were examined as part of coal characterization programme. Coal combustion experiments were carried out in a simultaneous differential thermal and thermogravimetric analyser over the temperature range 25 - 1200 degree celcius and air flow rate at 75 ml/min., employing coal sizes smaller than 75 micrometer. Sample sizes were  $20.0 \pm 0.5$  mg. with varying heating rate at 2, 10, 20 degree celcius per min.

Results were as follows : with increasing heating rate from 2, 10 and 20 degree celcius per min., peak temperature increased from 317-454, 355-595 to 380-635 degree celcius but their activation energies decreased in the range of 30.30-91.44, 29.23-60.22 and 18.71-60.20 kJ/mol, respectively.  $E_m$  also increased with decreasing volatile matter, but with increasing fixed carbon and heating value. At the same heating rate, it was found that both  $E_m$  and PT can be used to predict reactivity of coal. From the studies, Thai coals can be classified according to their reactivity employing  $E_m$  values into three groups, i.e., highly reactive ( $E_m$  29.63-48.05 kJ/mol), moderately reactive ( $E_m$  42.37-74.18 kJ/mol) and non reactive ( $E_m$  58.31-88.10 kJ/mol)

ภาควิชา .....เคมีเทคนิค.....  
สาขาวิชา .....เคมีเทคนิค.....  
ปีการศึกษา ...๒๕๕๓.....

ลายมือชื่อนิสิต ..... *Vallika* .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *Kunchana* .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาช่วย .....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ กัญจน บุษยเกียรติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือการวิจัยเป็นอย่างดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, บริษัทแพร์ลีกไนต์, บริษัทลานนา ลิกไนต์, บริษัทสยามแกรไฟต์และบริษัทเอเชียลิกไนต์ ที่กรุณาให้ตัวอย่างถ่านหินเพื่อทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณธีรยุทธ์ บุญโชติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างอุปกรณ์ช่วยในการเก็บ ข้อมูล ขอขอบคุณข้าราชการภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอบคุณผู้อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่เป็นกำลังใจสนับสนุน ช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุน เสมอมาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

วัลลิกา คงเจริญ



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 แหล่งกำเนิดในประเทศไทย.....	4
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย.....	6
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 ถ่านหินและการจำแนกถ่านหิน.....	7
2.2 การวิเคราะห์ถ่านหิน.....	8
2.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน.....	13
2.4 การนำไปใช้.....	16
2.5 Differential Thermogravimetric Analysis.....	21
2.6 ปฏิกริยาทางด้านจลนพลศาสตร์โดย Thermogravimetry.....	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
3. การดำเนินการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	42
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	45
3.4 วิธีทดลอง.....	45
4. ผลการทดลอง	
4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณตาม ASTM เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน.....	49
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินและคักดีของถ่านหิน.....	50
4.3 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบแยกธาตุ.....	51
4.4 ผลการวิเคราะห์การแตก่วนของถ่านหิน.....	52

บทที่	หน้า
4.5 ผลการวิเคราะห์ Burning Profile ของถ่านหิน	
ก. อิทธิพลของค่าความร้อน.....	60
ข. อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อน.....	65
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหิน	
ก. อิทธิพลของค่าความร้อน.....	79
ข. อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อน .....	81
4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, $E_m$ กับอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, $PT$ ของถ่านหินทั้ง 10 แห่ง..	81
5. วิจัยสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบประมาณ.....	85
5.2 ผลการคำนวณหาค่าที่ดีของถ่านหินจากการวิเคราะห์โดยประมาณและจากค่าความร้อน.....	86
5.3 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณตาม ASTM D 3173-3175 เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน.....	86
5.4 ผลการวิเคราะห์การแตกร่วนของถ่านหิน.....	89
5.5 ผลการวิเคราะห์ Burning Profile.....	90
5.6 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก.....	93
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	100
เอกสารอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก	
ก. วิธีวิเคราะห์ต่างๆ.....	106
ข. ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบแยกธาตุโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.....	113
ค. ตัวอย่างการคำนวณ.....	114
ง. ตัวอย่างโครมาโตแกรมการวิเคราะห์แบบประมาณด้วยเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน.....	123
จ. โครมาโตแกรมการหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก.....	127
ฉ. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในการหาค่าพลังงานกระตุ้น.....	157
ประวัติผู้เขียน.....	161





## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	อัตราการผลิตถ่านหินในประเทศ (2521-2530).....	1
1.2	การผลิตและความต้องการใช้ถ่านหิน.....	2
1.3	การคาดการณ์การใช้ถ่านหิน.....	3
1.4	แหล่งถ่านหินและปริมาณสำรองในประเทศไทย.....	5
2.1	การจัดแบ่งถ่านหินตามคักดิ์ โดยวิธี ASTM D-388.....	8
2.2	คุณสมบัติของลิกไนต์บางแหล่งในประเทศไทย.....	12
2.3	การวิเคราะห์ทางความร้อน.....	13
2.4	คุณสมบัติต่างๆของพิกของถ่านหินแหล่งต่างๆ.....	19
2.5	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ เปรียบเทียบระหว่างการทดลองตาม มาตรฐานอังกฤษ (BS) กับเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (TG).....	28
2.6	ช่วงที่สามารถยอมรับได้ของมาตรฐานอังกฤษ.....	28
2.7	ผลการสูญเสียน้ำหนัก.....	31
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_m$ กับ Peak Temperature.....	40
3.1	การเตรียมตัวอย่างถ่านหินที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....	46
4.1	ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ ระหว่างวิธี ASTM กับ การวิเคราะห์ทางความร้อน.....	49
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและคักดิ์ของถ่านหิน.....	50
4.3	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินต่างๆโดยละเอียด ตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมเถ้า... ..	51
4.4	ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การแตก่วนของถ่านหิน.....	52
4.5	ผลข้อมูลจาก Burning Profile ของถ่านหิน.....	58
4.6	ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, $E_m$ ของถ่านหินจากแหล่งต่างๆ....	77
4.7	ค่า $E_m$ และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที).....	82
4.8	ค่า $E_m$ และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที).....	83
4.9	ค่า $E_m$ และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที).....	84

ตารางที่		หน้า
5.1	ช่วงที่สามารถยอมรับได้ของมาตรฐานอเมริกัน (ASTM).....	87
ค.1	ตัวอย่างผลการทดลองหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก (แหล่ง หนองหญ้าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที)....	120



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การผลิตถ่านหินและการใช้ประโยชน์.....2
1.2	ที่ตั้งถ่านหินในประเทศไทย.....4
2.1	การเกิดถ่านหินขณะถ่านหินเกิดการเผาไหม้.....10
2.2	ผลของความร้อนที่มีต่อสารอินทรีย์ในถ่านหิน.....10
2.3	แผนภูมิของระบบวิเคราะห์ทางความร้อนทั่วไป.....14
2.4	แผนภูมิของระบบ Thermogravimetric Analyzer.....15
2.5	ส่วนประกอบของเครื่อง Thermomechanical Analyzer.....16
2.6	กราฟ DTA หัวชนิดของถ่านหิน จัดโดย Glass.....18
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของถ่านหินกับอุณหภูมิสูงสุดในการสลายตัว.....20
2.8	ผลของอัตราการให้ความร้อนต่อถ่านหิน.....20
2.9	Burning Profile ของถ่านหินบิทูมินัส.....21
2.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ระหว่าง TG กับ DTG.....22
2.11	กราฟ TG/DTG.....28
2.12	กราฟ TG ใช้บรรยากาศอากาศ.....28
2.13	กราฟ TG บรรยากาศออกซิเจน.....29
2.14	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง.....30
2.15	Main Peak และ Secondary Peak.....32
2.16	กราฟเปรียบเทียบ ระหว่าง Burning Profile กับ Surface Area Profile.....32
2.17	กราฟการกระจายน้ำหนักและอุณหภูมิของตัวอย่าง.....33
2.18	กราฟ TG/DTA ในบรรยากาศของอากาศ.....34
2.19	กราฟแสดงผลของอุณหภูมิต่อ DTA.....35
2.20	Burning Profile ของถ่านหิน.....36
2.21	Burning Profile ของถ่านหินลิกไนต์.....37
2.22	Burning Profile ถ่านหินแหล่งต่างๆ.....37
2.23	กราฟของ DTG ของถ่านหินที่มีศักย์ต่ำ.....38
2.24	กราฟของ DTG ของถ่านหินที่มีศักย์สูง.....38
2.25	Arrhenius plot จากการเผาไหม้ของถ่านหิน.....39
2.26	$E_u$ กับ PT ของเชื้อเพลิงแข็ง 22 ตัวอย่าง.....41

3.1	ชุดเครื่องวิเคราะห์ทางอนุกรมวิธานและความร้อน.....	43
3.2	รูปแสดงการวางครุชีเบิ้ลบนแกนซึ่งน้ำหนัก.....	43
3.3	ชุดเครื่องวิเคราะห์การแตกร่วนของถ่านหิน.....	44
3.4	รูปแสดงภายในของ Iron Jar.....	44
4.1	Burning Profile ถ่านหินแหล่งนาด้วงที่อัตราการให้ความร้อนต่างกัน.....	53
4.2	Burning Profile ถ่านหินแหล่งหนองหญ้าปล้องที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	53
4.3	Burning Profile ถ่านหินแหล่งบ้านป่าคาที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	54
4.4	Burning Profile ถ่านหินแหล่งบ้านปูที่อัตราการให้ความร้อนต่างกัน.....	54
4.5	Burning Profile ถ่านหินแหล่งบางปูด้าที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	55
4.6	Burning Profile ถ่านหินแหล่งกระบี่ที่อัตราการให้ความร้อนต่างกัน.....	55
4.7	Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 1 ที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	56
4.8	Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 2 ที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	56
4.9	Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 3 ที่อัตราการให้ความร้อน ต่างกัน.....	57
4.10	Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ Stockpile ที่อัตราการให้ ความร้อนต่างกัน.....	57
4.11	อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่าง แห้ง ไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	61
4.12	อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่าง แห้ง ไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	61
4.13	อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่าง แห้ง ไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	62
4.14	อนุกรมวิธานที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	62

4.15	อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	63
4.16	อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	63
4.17	อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	64
4.18	อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	64
4.19	อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	65
4.20	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งนาตัง.....	67
4.21	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งหนองหญ้าปล้อง.....	68
4.22	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบ้านป่าคา.....	69
4.23	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบ้านปู.....	70
4.24	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบางปูดำ.....	71
4.25	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งกระบี่.....	72
4.26	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 1.....	73
4.27	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 2.....	74
4.28	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ 3.....	75
4.29	Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ stockpile.....	76
4.30	ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	79
4.31	ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	80

4.32	ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที.....	80
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, $E_m$ กับ อุณหภูมิที่มี อัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที .....	82
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, $E_m$ กับ อุณหภูมิที่มี อัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	83
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, $E_m$ กับ อุณหภูมิที่มี อัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	84
5.1	Burning profile ของแหล่งบ้านปูครั้งที่ 1 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	90
5.2	อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด (PT) ของถ่านหินแต่ละแหล่งเทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2, 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	91
5.3	PT กับ VM/FC ของถ่านหินแหล่งต่างๆที่อัตราการให้ความร้อนต่างกัน....	92
5.4	โครมาโตแกรมของแหล่งกระบี่ครั้งที่ 1 อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	93
5.5	โครมาโตแกรมของแหล่งกระบี่ครั้งที่ 1 อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	94
5.6	$E_m$ กับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ของถ่านหินแหล่งต่างๆ ที่ อัตราการให้ความร้อน 2, 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	96
5.7	$E_m$ กับ VM/FC ของถ่านหินแหล่งต่างๆ ที่อัตราการให้ความร้อน 2, 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	97
5.8	PT กับ $E_m$ ของถ่านหินแหล่งต่างๆ ที่อัตราการให้ความร้อน 2, 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที.....	99
ค.1	Arrhenius plot แหล่งห้วยป่าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียส ต่อนาที ครั้งที่ 1.....	121
ค.2	โครมาโตแกรมการหาค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก แหล่งหนองห้วยป่าปล้อง อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ครั้งที่ 1.....	122