

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์  
ของเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น



นายสิทธิศักดิ์ อุปวิวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-099-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018532

๒๕๓๕

**Study on the Factors Affecting Reaction and Products of  
an Updraft Pyrolysis Furnace**



**MR. SITTISAK UPARIVONG**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Environmental Engineering**

**Graduate school**

**Chulalongkorn University**

**1992**

**ISBN 974-581-099-1**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์  
ของเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น

โดย

นายสิทธิศักดิ์ อุปวิวงศ์

ภาควิชา

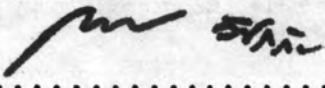
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์




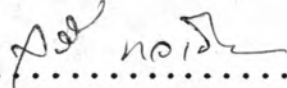
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเขียว)

  
.....กรรมการ  
(ดร.แสงสันต์ พานิช)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สิทธิศักดิ์ อูปรวิงศ์ : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ของเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น (STUDY ON THE FACTORS AFFECTING REACTION AND PRODUCTS OF AN UPDRAFT PYROLYSIS FURNACE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์, 150 หน้า. ISBN 974-581-099-1

เตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น เป็นเตาขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเตา อันได้แก่ ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเพื่อการกลั่นสลายชีวมวลโดยความร้อนให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ของก๊าซ น้ำมัน และถ่าน โดยปฏิกิริยารีดักชันเพื่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จากผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้แกลบเป็นวัตถุดิบ จะสามารถผลิตก๊าซที่มีค่าความร้อน 1,340 กิโลจูลต่อกรัมได้ประมาณ 19.9 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตของเหลวทาร์ได้ 18.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปสกัดเอาน้ำมันทาร์ที่มีค่าความร้อน 5,540 กิโลจูลต่อกรัมได้ประมาณ 3.15 เปอร์เซ็นต์ และผลิตถ่านแกลบมีค่าความร้อน 4,620 กิโลจูลต่อกรัมได้ประมาณ 61.8 เปอร์เซ็นต์

ในกรณีใช้ขี้เลื่อยอัดเป็นวัสดุทดลอง สามารถที่จะผลิตก๊าซที่มีค่าความร้อน 1,908 กิโลจูลต่อกรัมได้ประมาณ 30.1 เปอร์เซ็นต์ สกัดน้ำมันทาร์มีค่าความร้อน 6,870 กิโลจูลต่อกรัม ได้ประมาณ 10.8 เปอร์เซ็นต์ และผลิตถ่านเลื่อยอัดมีค่าความร้อน 5,540 กิโลจูลต่อกรัมได้ประมาณ 33.9 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 700°C. โดยกำหนดระยะเวลาเก็บกักถ่านนาน 90 นาที จะพบว่าถ่านขี้เลื่อยอัดถูกใช้ไปในปฏิกิริยารีดักชันประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และถูกใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ โดยการให้น้ำเพื่อให้ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับถ่านคาร์บอนนั้น สามารถช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ 31.35 เปอร์เซ็นต์ หรือทำให้ค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นประมาณ 18.23 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการให้น้ำ 10 มล. ต่อนาที

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....

SITTISAK UPARIVONG : STUDY ON THE FACTORS AFFECTING REACTION AND PRODUCTS OF AN UPDRAFT PYROLYSIS FURNACE.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUTHIRAK SUJARITTANONTA,  
Ph.D. 150 PP. ISBN 974-581-099-1



A lab-scale updraft biomass pyrolysis furnace was utilized for determination of chemical reactions in the furnace including destruction of biomass by pyrolytic reaction produces gas, oil and charcoal, reduction reaction producing fuel gas and hydrolysis reaction increasing the efficiency of fuel gas production. The results of the experiment indicated that using rice husk as raw material, the gas production was 19.9 percent by volume having calorific value of 1,340 cal/g. About 18.3 percent of liquid tar was produced and about 3.15% of oil tar having 5,540 cal/g can extracted. About 61.8% of charcoal having calorific value of 4,620 cal/g was also produced.

In case of using bark pellet as raw material, production of gas having calorific value of 1,908 cal/g was 30.1 percent. About 10.8 percent of oil tar having calorific value of 6,870 cal/g was extracted. About 33.9 percent of bark pellet charcoal having calorific value of 5,540 cal/g was produced. At temperature of 700°C and 90 minute retention time, it was found that about 7-8 percent by weight of bark pellet charcoal was used in reduction reaction and about 4-5 percent by weight was used in hydrolysis reaction. By feeding steam into furnace at 10 ml/min causing hydrolysis reaction increased fuel gas production by 31.35 percent and increased gas calorific value about 18.23 percent.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
ปีการศึกษา ..... 2534 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.สุภัทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ทั้งในด้านการวิจัย และในเรื่องส่วนตัวมาด้วยดีตลอด จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.พัชรี ทอวิจิตร ในความกรุณาให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับด้านการวิจัย รวมทั้งขอขอบพระคุณ ท่านคณาจารย์ ข้าราชการ ลูกจ้าง ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ตลอดช่วงการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ในรุ่นทุกท่าน สำหรับมิตรจิตที่ติดต่อกันมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบส่วนคุณความดีที่มีในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ แต่บิดามารดาผู้มีพระคุณอันใหญ่หลวง ตลอดจนญาติพี่น้อง ที่ช่วยเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



ซี

## สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ซี
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ท
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	5
1.2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.2.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	7
2. การแปรสภาพพลังงานจากชีวมวล.....	10
2.1 แหล่งและประเภทของชีวมวล.....	10
2.1.1 แหล่งของชีวมวล.....	10
2.1.2 ประเภทของชีวมวล.....	10
2.2 การนำชีวมวลมาใช้เพื่อเป็นพลังงาน.....	12
2.2.1 การแปรสภาพทางเคมีความร้อน.....	12
2.2.2 การแปรสภาพทางชีววิทยา.....	15
2.2.3 การแปรสภาพโดยการสกัด.....	18

บทที่	ที่ หน้า	
2.3	หลักการและกลไกการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส.....	20
2.3.1	ประเภทของกระบวนการไพโรไลซิส.....	21
2.3.2	กลไกการเกิดไพโรไลซิส.....	23
2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไพโรไลซิส.....	29
3.	เตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น.....	35
3.1	ประเภทของเตาไพโรไลซิส.....	35
3.2.1	เตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น.....	37
3.2.2	เตาไพโรไลซิสแบบไหลลง.....	37
3.2.3	เตาไพโรไลซิสแบบครอสตราฟท์.....	38
3.2	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเตาไพโรไลซิส.....	39
3.2.1	ปฏิกิริยาในชั้นท่าแห้ง.....	39
3.2.2	ปฏิกิริยาในชั้นไพโรไลซิส.....	40
3.2.3	ปฏิกิริยาในชั้นรีดักชั่น.....	42
3.2.4	ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้.....	45
3.3	วัสดุชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.3.1	แกลบ.....	47
3.3.2	ขี้เลื่อยอัด.....	50
4.	ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	53
4.1	หลักการวิจัย.....	53
4.2	องค์ประกอบของเตาไพโรไลซิส.....	54
4.3	วิธีการทดลอง.....	57
4.3.1	วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล...	57
4.3.2	วิธีเตรียมถ่านเพื่อใช้ในการทดลอง.....	58



4.3.3	วิธีตรวจสอบปฏิกิริยารีดักชัน โดยการให้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์.....	59
4.3.4	การตรวจสอบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยการให้ไอน้ำ.....	62
4.3.5	การตรวจสอบอิทธิพลขึ้นความหนาของถ่านต่อ ปฏิกิริยารีดักชัน.....	64
4.3.6	วิธีการกลั่นของเหลวทาร์และการสกัดน้ำมันทาร์.	64
4.3.7	วิธีตรวจสอบค่าความร้อนของถ่านและน้ำมันทาร์.	66
4.3.8	การสกัดสารประกอบอินทรีย์บางส่วนจากของเหลว ทาร์โดยวิธีทางเคมี.....	68
5.	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	71
5.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและขี้เถ้าอัด	71
5.2	ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของแกลบและขี้เถ้าอัด.....	72
5.3	ผลการตรวจสอบปฏิกิริยารีดักชันโดยการให้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์.....	73
5.3.1	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน...	73
5.3.2	ผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	75
5.3.3	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง.....	77
5.3.4	ผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จาก การเปลี่ยนแปลงอัตราให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..	80
5.4	ผลการตรวจสอบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยการให้ไอน้ำ...	81

5.4.1	ผลกระทบของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จาก การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อุณหภูมิ.....	82
5.4.2	ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จาก การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อุณหภูมิ.....	85
5.4.3	ผลเปรียบเทียบปริมาณและค่าความร้อนของก๊าซเชื้อ เพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้อุณหภูมิและไม่ให้อุณหภูมิ..	87
5.5	ผลการตรวจสอบปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยการเปลี่ยนแปลงชั้น ความหนาของถ่าน.....	88
5.5.1	ผลกระทบของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จาก การเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน.....	88
5.5.2	ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จาก การเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน.....	90
5.6	ผลการตรวจสอบคุณภาพของถ่านที่ได้จากการทดลอง.....	91
5.6.1	ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ซีในถ่าน.....	92
5.6.2	ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้ จากการทดลอง.....	94
5.7	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติบางส่วนของของเหลวทาร์ จากกลบและซีลอสอัด.....	94
5.7.1	ผลการกลั่นของเหลวทาร์และค่าความร้อนของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นช่วงอุณหภูมิเดียว.....	95
5.7.2	ผลการกลั่นของเหลวทาร์และค่าความร้อนของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นช่วงอุณหภูมิต่างๆ.....	97
5.8	ผลการสกัดสารประกอบอินทรีย์บางส่วนของเหลวทาร์	

บทที่	หน้า
โดยวิธีทางเคมี.....	101
6.  สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	103
6.1  บทสรุป.....	103
6.2  ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป.....	107
รายการอ้างอิง.....	108
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก.  วิธีการคำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง.....	113
ภาคผนวก ข.  ข้อมูลต่าง ๆ จากการทดลอง.....	125
ประวัติผู้เขียน.....	136

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า..... 22
2.2	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว..... 23
2.3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต. 24
2.4	กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของเซลลูโลส..... 27
2.5	กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของลิกนิน..... 28
3.1	ประเภทของเตาไพโรไลซิส..... 36
4.1	ส่วนประกอบของเตาไพโรไลซิสที่ใช้ในการทดลอง..... 55
4.2	ขั้นตอนการสกัดสารประกอบอินทรีย์จากของเหลวทาร์..... 69
5.1	แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้..... 74
5.2	ผลค่าความร้อนของก๊าซที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง ระยะเวลาทดลองต่างๆ..... 75
5.3	แสดงผลกระทบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงอัตรา การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 78
5.4	แสดงผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นในช่วง ระยะเวลาต่างๆ..... 79
5.5	ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงอัตรา การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 80
5.6	แสดงผลกระทบของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลง อัตราการให้อินน้ำ..... 82
5.7	แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงต่างๆที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลง

รูปที่	หน้า
อัตราการใช้ไอน้ำ.....	83
5.8 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ไอน้ำ.....	84
5.9 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงต่างๆที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ไอน้ำ.....	85
5.10 ผลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้ไอน้ำและไม่ให้ไอน้ำ.....	86
5.11 ผลเปรียบเทียบค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้ไอน้ำ และไม่ให้ไอน้ำ.....	87
5.12 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นถ่าน.....	90
5.13 ผลค่าความร้อนก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นถ่าน.....	91
5.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซี้ในถ่านซี้เล็กน้อยอัด หลังการทดลองปฏิกิริยารีดักชั่น.....	93
5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซี้ในถ่านแกลบ หลังการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	93
5.16 แสดงองค์ประกอบของเหลวทาร์ที่ได้จากการกลั่น.....	95
5.17 แสดงผลการกลั่นของเหลวทาร์จากแกลบ ที่ช่วงอุณหภูมิกลั่นต่างๆ..	98
5.18 แสดงผลการกลั่นของเหลวทาร์จากซี้เล็กน้อยอัด ที่ช่วงอุณหภูมิกลั่นต่างๆ.....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แร่ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ.....	48
3.2 ค่าจุดหลอมเหลวของแร่ธาตุบางชนิด.....	50
3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของซีลีเนียมที่ใช้ในการทดลอง.....	52
5.1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและซีลีเนียม.....	71
5.2 ค่าความร้อนของแกลบและซีลีเนียม.....	72
5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้หลังการทดลองปฏิกิริยา รีดักชัน.....	93
5.4 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์และของแข็งทาร์ของแกลบ	97
5.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์และของแข็งทาร์ ของซีลีเนียม.....	97
5.6 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์ของแกลบ ที่ได้จากการกลั่น ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ.....	100
5.7 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์ของซีลีเนียม ที่ได้จากการ กลั่น ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ.....	101
5.8 ผลการสกัดสารประกอบอินทรีย์บางส่วนจากของเหลวทาร์ของ ซีลีเนียม โดยวิธีทางเคมี.....	102