ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้

นางสาว นฤมล ชูบัวทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CHEMICAL COMPOSITION OF BIOMASS ON PYROLYSIS AND COMBUSTION

Miss Narumon Choobuathong

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500495

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้
โดย	นางสาว นฤมล ชูบัวทอง
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นพิดา หิญชีระนันทน์)

นฤมล ชูบัวทอง : ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้ (EFFECTS OF CHEMICAL COMPOSITION OF BIOMASS ON PYROLYSIS AND COMBUSTION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ประพันธ์ คูชลธารา, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ. ดร. เลอสรวง เมฆสุต, 109 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมี (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ในชีวมวล 7 ชนิดต่อพฤติกรรมการสลายตัวในไพโรไลซิสและการเผาไหม้ และหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปริมาณน้ำหนักที่เหลือที่ได้จากการสลายตัวทางความร้อนโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) พบว่า ชีวมวลต่างชนิดกันจะมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วยจึงทำให้มีค่าการสลายตัวทางความร้อนที่ต่างกัน โดยองค์ประกอบที่เป็นเฮมิเซลลูโลสสลายตัวได้ง่ายที่สุด รองลงมา คือ เซลลูโลส ส่วนลิกนินสลายตัวยากที่สุด โดยชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินสูงทำให้อัตราการสลายในไพโรไลซิสช้ากว่าชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินต่ำ องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อพฤติกรรมสลายตัวด้วยความร้อนในกระบวนการไพโรไลซิส คือ ลิกนินเทียบกับปริมาณรวมของลิกนินกับเซลลูโลส โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมการสลายตัวในกระบวนการไพโรไลซิสจากชีวมวลชนิดอื่นได้ นอกจากนี้พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลมีอันตรกิริยาระหว่างกัน โดยเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินมีผลต่อพฤติกรรมการสลายตัวของเซลลูโลส แต่เฮมิเซลลูโลสกับลิกนินมีผลต่อการสลายตัวระหว่างกันน้อยมาก ส่วนพฤติกรรมการสลายตัวของชีวมวลในกระบวนการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของชาร์ที่เกิดขึ้น

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....นฤมล ชูบัวทอง.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872328623: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CHEMICAL COMPOSITION / PYROLYSIS / COMBUSTION / BIOMASS

NARUMON CHOOBUATHONG : EFFECTS OF CHEMICAL COMPOSITION OF BIOMASS ON PYROLYSIS AND COMBUSTION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. LURSUANG MEKASUT, Dr. Ing., 109 pp.

In present study, the influence of chemical composition (cellulose hemicellulose and lignin) on pyrolysis and combustion behavior of several types of biomass was investigated. The relationship between chemical composition and residual fraction was determined using TGA technique. The results showed that each type of biomass samples contains different chemical compositions which have different molecular structure, resulting in different residual fraction value. Among these three components, hemicellulose is the easiest one to be pyrolyzed, while lignin is the most difficult one. Biomass with higher lignin content was observed to have slower pyrolysis rate. In addition, the pyrolysis was found to correspond to the lignin fraction based on the total amount of lignin and cellulose. This paper established a linear relation which can be used to evaluate the pyrolysis behavior of various types of biomass. Both lignin and hemicellulose used in the experiments could affect the pyrolysis characteristic of cellulose, while they did not show any interaction with each other. The combustion characteristics for actual biomass significantly depend on the char morphology.

Department:.....Chemical Technology..... Student's Signature.....Narumon.....

Field of Study:....Chemical Technology..... Advisor's Signature.....Prapan Kuchontha.....

Academic Year...2007..... Co-advisor's Signature.....L.M.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยดีตลอดมารวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิง ภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี ทุนหน่วยปฏิบัติการวิจัยการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีและทุนอุดหนุนโครงการวิจัยหรือค้นคว้าเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ อาจารย์ ดร.นพิดา หิญชีระนันทน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการอำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือในการทดลองและห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจอย่างดีและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... 5

2 ทฤษฎี..... 6

2.1 ชีวมวล..... 6

2.2 หลักการแปรรูปชีวมวล..... 19

2.3 กระบวนการไพโรไลซิส..... 20

2.4 กระบวนการเผาไหม้..... 29

2.5 การศึกษาทางจลนพลศาสตร์ของกระบวนการไพโรไลซิส..... 32

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 36

3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... 40

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง..... 40

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี..... 41

3.3 วิธีการทดลอง..... 42

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 46

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้..... 46

4.2 สมบัติเบื้องต้นของชีวมวล..... 47

4.3 การสลายตัวทางความร้อนในกระบวนการไพโรไลซิส..... 50

บทที่ หน้า

4.4 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสามองค์ประกอบหลักทางเคมีกับปริมาณน้ำหนักที่เหลือโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ..... 57

4.5 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสององค์ประกอบหลักทางเคมีกับค่าน้ำหนักที่เหลือในกระบวนไพโรไลซิส..... 58

4.6 อันตรกิริยาขององค์ประกอบทางเคมีทั้ง 3 ชนิด..... 62

4.7 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของชีวมวล..... 73

4.8 การสลายตัวทางความร้อนในกระบวนการเผาไหม้..... 78

4.9 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีกับน้ำหนักที่เหลือจากกระบวนเผาไหม้..... 81

4.10 ผลของลักษณะโครงสร้างซาร์ต่อพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนในกระบวนการเผาไหม้..... 83

5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 86

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 86

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 89

รายการอ้างอิง..... 90

ภาคผนวก..... 94

ภาคผนวก ก..... 95

ภาคผนวก ข..... 97

ภาคผนวก ค..... 99

ภาคผนวก ง..... 102

ภาคผนวก จ..... 104

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 109

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	การประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, ปีเพาะปลูก 2546/47	8
4.1	สัญลักษณ์ของชีวมวลสังเคราะห์	47
4.2	การวิเคราะห์ตัวอย่างแบบประมาณของชีวมวล 7 ชนิดและองค์ประกอบทางเคมี	48
4.3	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของชีวมวล 7 ชนิด	49
4.4	ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินของชีวมวล 7 ชนิด	50
4.5	สรุปผลของพฤติกรรมการสลายทางความร้อนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน	51
4.6	สรุปผลของพฤติกรรมการสลายทางความร้อนของชีวมวล 7 ชนิด	55
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และค่าน้ำหนักที่เหลือ	57
4.8	ค่าพลังงานกระตุ้น (E) และปัจจัยความถี่ (k_0) ของเซลลูโลส ลิกนิน และเซลลูโลสต่อลิกนิน (1:3) ที่ร้อยละการเปลี่ยนแปลงต่างๆ	76
4.9	ค่าพลังงานกระตุ้น (E) และปัจจัยความถี่ (k_0) ของขี้เลื่อยและกะลาปาล์มที่ conversion ต่างๆ	77
ง1	ปริมาณของ NDF เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวล 7 ชนิด	102
จ1	ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของเซลลูโลส	106
จ2	ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของลิกนิน	106
จ3	ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของเซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3	107
จ4	ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของขี้เลื่อย	107
จ5	ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของกะลาปาล์ม	108

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	ส่วนประกอบในผนังเซลล์พืช	13
2.2	องค์ประกอบในเซลล์พืช	13
2.3	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสและลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส	14
2.4	กลุ่มไมโครไฟบริลที่เรียงตัวขนานกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและภาพตัดตามยาวของไมโครไฟบริล	15
2.5	หน่วยย่อยของเฮมิเซลลูโลส	16
2.6	ลักษณะโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	16
2.7	หน่วยย่อยของลิกนิน	17
2.8	ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน	18
2.9	การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล	20
2.10	กลไกไพโรไลซิสของเซลลูโลสที่อุณหภูมิต่ำ	22
2.11	กลไกไพโรไลซิสของเซลลูโลสที่อุณหภูมิปานกลาง	23
2.12	กลไกไพโรไลซิสของเซลลูโลสที่อุณหภูมิสูง	23
2.13	กลไกไพโรไลซิสของลิกนิน	24
2.14	แผนภูมิกลไกกระบวนการไพโรไลซิสของเสียที่เป็นของแข็ง	33
3.1	เครื่อง Thermogravimetric/Differential Thermal Analyzer	41
3.2	อัตราส่วนระหว่างปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ในชีวมวลสังเคราะห์	43
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีของชีวมวล	44
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก(TG) และอัตราการสูญเสียน้ำหนัก(DTG) กับอุณหภูมิของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน	51
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวล 7 ชนิดในกระบวนการไพโรไลซิส	53
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่เหลือกับปริมาณองค์ประกอบผสมระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส	59
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่เหลือกับปริมาณองค์ประกอบผสมระหว่างเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส	60

ภาพประกอบ หน้า

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่เหลือกับปริมาณองค์ประกอบผสมระหว่างเซลลูโลสกับลิกนิน 61

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของส่วนประกอบผสมระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับลิกนิน ในอัตราส่วนต่างๆ..... 64

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวลสังเคราะห์ระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆ..... 65

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวลสังเคราะห์ระหว่างเซลลูโลสกับลิกนิน ในอัตราส่วนต่างๆ 67

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผสมแต่ละคู่ต่ออุณหภูมิของการสลายตัวที่มีค่า conversion ร้อยละ 50 69

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวลสังเคราะห์ระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในอัตราส่วนต่างๆ..... 71

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ v/v* กับอุณหภูมิของเซลลูโลส..... 74

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(a/T^2)$ กับ 1/T ที่ v/v* ต่างๆ ของเซลลูโลส..... 75

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในกระบวนการเผาไหม้..... 78

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวล 7 ชนิดในกระบวนการเผาไหม้ ได้แก่ (ก) ซังข้าวโพด (ข) แกลบ (ค) ยูคาร์ลิปตัส (ง) ขี้เลื่อย (จ) ชานอ้อย (ฉ) กะลาปาล์ม (ช) กะลามะพร้าว..... 79

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่เหลือกับปริมาณขององค์ประกอบผสมระหว่างเซลลูโลสกับลิกนินในกระบวนการเผาไหม้ 82

4.16 ลักษณะพื้นผิวขององค์ประกอบทางเคมีและตัวอย่างชีวมวลก่อนไพโรไลซิส..... 83

4.17 ลักษณะพื้นผิวของขององค์ประกอบทางเคมีและตัวอย่างชีวมวลหลังไพโรไลซิส..... 84

จ1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ v/v* กับอุณหภูมิที่อัตราให้ความร้อน 5 10 และ 20 เคลวิลต่อนาทีของ (ก) ลิกนิน (ข) เซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3 (ค) ขี้เลื่อย (ง) กะลาปาล์ม 104

จ2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(a/T^2)$ กับ 1/T ที่ v/v* ต่างๆ ของ (ก) ลิกนิน (ข) เซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3 (ค) ขี้เลื่อย (ง) กะลาปาล์ม..... 105