ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242251

การวิเคราะห์ปัจจัยของการแปลงไม้ไผ่ให้เป็นกลูโคสโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดเชื่อจางและการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์

ณัฐิดา จันทอน

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2553

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242251

การวิเคราะห์ปัจจัยของการแปลงไม้ไผ่ให้เป็นกลูโคสโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดเจือจาง และการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์

ณัฐิดา จันหอม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2553

การวิเคราะห์ปัจจัยของการแปลงไม้ไผ่ให้เป็นกลูโคสโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดเจือจาง และการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์

ณัฐิดา จันหอม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เดช ดำรงศักดิ์

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. นคร ทิพยาวงศ์

.....กรรมการ
อาจารย์ ดร. ณัฐนี วรยศ

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูรัตน์ ธารารักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รองศาสตราจารย์ ดร. นคร ทิพยาวงศ์

18 ตุลาคม 2553

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก รศ. ดร. นคร ทิพยาวงศ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้มอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. เดช ดำรงศักดิ์ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ แนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐนี วรยศ และ ผศ. ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ. อภิญญา ผลิโกมล และอาจารย์ ดร. นพกาญจน์ รัตนกิจ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิจัยที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และศูนย์ปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้สถานที่และสิ่งอำนวยความในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนอุดหนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้สถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกตลอดจนเงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ สาขาวิศวกรรมพลังงาน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำที่ดีในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบูชาคุณ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุด เป็นผู้ให้กำเนิด ให้การศึกษาที่ดีแก่ลูก คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้านการเรียนและการดำเนินชีวิต

ขอบูชาคุณ ครูอาจารย์ ที่ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน จนกระทั่งมีสติปัญญาและความรู้ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและศึกษาต่อจนถึงระดับปัจจุบันนี้

สุดท้ายหากวิทยานิพนธ์เรื่องนี้มีความดีใด ๆ ผู้เขียนขอยกความดีให้แก่ผู้มีพระคุณดังที่ได้กล่าวมา แต่หากมีส่วนหนึ่งส่วนใดบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอกราบอภัย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์ต่อทุกท่านที่สนใจ ตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสต่อไป

ณัฐิดา จันหอม

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ปัจจัยของการแปลงไม้ไผ่ให้เป็นกลูโคสโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดเจือจางและการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์
ผู้เขียน	นางสาวณัฐิดา จันหอม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. นคร ทิพยาวงศ์

บทคัดย่อ

242251

พลังงานจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสนับว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เนื่องจากสามารถแปรสภาพให้เป็นเป็นพลังงานเชื้อเพลิงเอทานอลได้ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดน้ำตาลกลูโคสของหน่อไม้และไม้ไผ่ ที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเอทานอล วัตถุดิบไม้ไผ่ที่นำมาศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ หน่อไม้ ไม้ไผ่อ่อน (ความสูงน้อยกว่า 7 เมตร) และไม้ไผ่แก่ (ความสูง 7 เมตรขึ้นไป)โดยทำการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางและการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี ซึ่งกระบวนการปรับสภาพทำที่อุณหภูมิคงที่คือ 140 องศาเซสเซียส ความเข้มข้นของกรด 0.4, 0.6, 1.0, 1.4 และ 1.6 % w/w และเวลา 45,60,90,120 และ135 นาที ส่วนกระบวนการไฮโดรไลซิสใช้เอนไซม์เซลลูเลสและเบต้ากลูโคซิเดส ที่ pH 4.8 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการหมุน 150 รอบต่อวินาที เวลาที่ใช้คือ 12, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยนำหลักการออกแบบทางวิศวกรรมที่เรียกว่า การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง ซึ่งใช้การออกแบบส่วนประสมกลางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดน้ำตาลกลูโคส

จากการศึกษาการออกแบบส่วนประสมกลางในกระบวนการปรับสภาพพบว่า ปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปัจจัยทั้งความเข้มกรดและเวลา ซึ่งวัตถุดิบที่ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุดคือหน่อไม้ ไม้ไผ่อ่อน และไม่ไผ่แก่ ตามลำดับ กล่าวคือหน่อไม้ที่ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุดคือ 34.50 mg/ml (135 นาที, 1.0 %w/w) ไม้ไผ่อ่อนได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุดคือ 25.83 mg/ml (120 นาที, 1.4 %w/w) และไม้ไผ่แก่ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุดคือ

242251

17.88 mg/ml (135 นาที, 1.0 %w/w) ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลไซโลสพบว่าวัตถุดิบที่ให้ปริมาณมากที่สุดคือ ไม้ไผ่อ่อน ไม้ไผ่แก่ และหน่อไม้ ตามลำดับ กล่าวคือไม้ไผ่อ่อนได้ปริมาณไซโลสมากที่สุดคือ 16.91 mg/ml (90 นาที, 1.6 %w/w) ไม้ไผ่แก่ได้ปริมาณไซโลสมากที่สุดคือ 11.66 mg/ml (90 นาที, 1.0 %w/w) และหน่อไม้ได้ปริมาณไซโลสมากที่สุดคือ 9.42 mg/ml (90 นาที, 1.6 %w/w) ตามลำดับ และจากการศึกษาจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์พบว่าผลมีความสอดคล้องกับกระบวนการปรับสภาพ คือสภาวะที่ได้ปริมาณน้ำตาลน้อยจากการปรับสภาพด้วยกรดเจือจาง เมื่อผ่านขั้นตอนการไฮโดรไลซิสทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางทำให้การทำงานของเอนไซม์ดีขึ้นและทั้งนี้เอนไซม์จะสามารถทำงานได้ดีขึ้นเมื่อมีการปรับสภาพในระดับความรุนแรงที่เหมาะสมต่อวัตถุดิบนั้น

Thesis Title	Parametric Analysis of Bamboo Conversion into Glucose by Dilute Acid Treatment and Enzymatic Hydrolysis
Author	Miss. Nuttida Chanhom
Degree	Master of Engineering (Energy Engineering)
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Nakorn Tippayawong

Abstract

242251

Lignocellulosic biomass is an important alternative energy source to be utilized for ethanol production. In this work, bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*) was used as biomass feedstock. There were bamboo shoot, young bamboo less than 7 m height and mature bamboo with height over 7 m was used. Pretreatment was carried out with dilute sulfuric acid concentrations between 0.4, 0.6, 1.0, 1.4 and 1.6% w/w, and residence time between 45, 60, 90, 120 and 135 min at stable temperature of 140 °C. Prehydrolyzate was later analyzed for total sugars by high performance liquid chromatography. Water insoluble solids obtained were hydrolysed with cellulase *(Trichoderma reesei)* and β-glucosidase (Novozyme 188) at pH 4.8, 50 °C and resident time between 12, 48, 72 hr. The experimental design by central composite design and response surface methodology were used to determine optimum condition for total reducing sugar yield.

For pretreatment process, it was found that maximum glucose yield was obtained from bamboo shoot at 34.50 mg/ml (135 min, 1.0 %w/w). Yong bamboo gave obtained yield of 25.83 mg/ml (120 min, 1.4 %w/w) and mature bamboo of 17.88 mg/ml (135 min, 1.0 %w/w), respectively. Maximum xylose yields were obtained from young bamboo at 16.91 mg/ml (90 min, 1.6 %w/w), mature bamboo at 11.66 mg/ml (90 min, 1.0 %w/w) and bamboo shoot at 9.42 mg/ml (90 min, 1.6 %w/w), respectively. For enzymatic hydrolysis process, it was found that increasing

242251

yield was obtained with increasing acid concentration and residence time. Similar trend was observed for yield of enzymatic hydrolysis and yield of pretreatment at the same conditions. The results showed dilute acid pretreatment can support enzymatic hydrolysis. Effects of pretreatment severity and high consistency of enzymatic hydrolysis greatly increased the sugar concentrations after the process.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.5 ขอบเขตการศึกษา	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	9
2.1 วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	9
2.1.1 ไม้ไผ่	9
2.1.2 องค์ประกอบของวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	10
2.1.2.1 เซลลูโลส	10
2.1.2.2 เฮมิเซลลูโลส	12
2.1.2.3 ลิกนิน	13
2.2 กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาล	14
2.2.1 การปรับสภาพวัตถุดิบ	14
2.2.1.1 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ	15
2.2.1.2 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ	16
2.2.1.3 การปรับสภาพวิธีการทางชีวภาพ	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1.4 การปรับสภาพวิธีทางเคมี 17
2.2.2 ระดับความรุนแรงการปรับสภาพ 18
2.2.3 การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ 19
2.2.3.1 เอนไซม์ 20
2.2.3.2 กลไกการทำงานของเอนไซม์ 21
2.2.3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ 24
2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำตาลด้วยวิธี HPLC 25
2.3.1 ทฤษฎี HPLC 25
2.3.2 ส่วนประกอบ HPLC 30
2.4 การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง 35
2.4.1 ตัวแปร 37
2.4.2 เทคนิค RSM 37
2.4.3 การออกแบบส่วนประสมกลาง 40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 44
3.1 วัตถุดิบตั้งต้นและสารเคมี 44
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 45
3.2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง 45
3.2.2 เครื่องคัดขนาดอนุภาค 45
3.2.3 ไมโครปิเปต 46
3.2.4 เครื่องอบลมร้อน 47
3.2.5 เครื่องบด Hammer mill 47
3.2.6 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ 48
3.2.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 49
3.2.8 เครื่องกรองปั๊มสุญญากาศ 50
3.2.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด–เบส 50
3.2.10 เครื่องวัดปริมาณองค์ประกอบของน้ำตาล (HPLC) 51
3.3 ขั้นตอนการทดลองงานวิจัย 52
3.4 ขั้นตอนการออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง 55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	59
4.1 ผลขององค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	59
4.2 ผลการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยกรดเจือจาง	61
4.2.1 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการปรับสภาพหน่อไม้	61
4.2.2 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการปรับสภาพไม้ไผ่อ่อน	66
4.2.3 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการปรับสภาพไม้ไผ่แก่	71
4.3 ผลการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์	77
4.3.1 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการไฮโดรไลซิสหน่อไม้	77
4.3.2 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการไฮโดรไลซิสไม้ไผ่อ่อน	79
4.3.3 วิเคราะห์ผลของน้ำตาลหลังการไฮโดรไลซิสไม้ไผ่แก่	80
4.4 แผนภูมิของกระบวนการทั้งหมด	82
4.5 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสประเภทอื่น	84
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผล	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	86
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณสารละลาย	92
ภาคผนวก ข วิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์	94
ภาคผนวก ค การคำนวณหาปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส	95
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยการใช้ 3, 5-Dinitrosalicylic acid (DNS) Method	97
ภาคผนวก จ การเตรียมกราฟและการกรอง HPLC	99
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลอง	103
ภาคผนวก ช ผลงานทางวิชาการที่เผยแพร่	116
ประวัติผู้เขียน	126

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตาราง 1.1 สรุปสภาวะการปรับสภาพและการไฮโดรไลซิสของวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสประเภทอื่น 8
ตาราง 2.1 ค่า α , m และจำนวนครั้งของการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยต่างๆ 41
ตาราง 2.2 ช่วงของค่าระดับปัจจัย 2 และ 3 ระดับ 41
ตาราง 2.3 ระดับ 2 ปัจจัยของตัวแปรที่ศึกษา 42
ตาราง 3.1 ปัจจัยที่มีผลของการออกแบบ CCD 56
ตาราง 3.2 ค่าต่ำ-สูงและหน่วยของปัจจัย 56
ตาราง 3.3 การออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD ของหน่อไม้ 56
ตาราง 3.4 ค่าประมาณค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์การถดถอย 57
ตาราง 4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้และไม้ไผ่ 60
ตาราง 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลกลูโคสของหน่อไม้ 62
ตาราง 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของหน่อไม้ 64
ตาราง 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลกลูโคสของไม้ไผ่อ่อน 67
ตาราง 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของไม้ไผ่อ่อน 69
ตาราง 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลกลูโคสของไม้ไผ่แก่ 72
ตาราง 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณน้ำตาลไซโลสของไม้แก่ 74
ตาราง 4.8 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ได้กับวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสชนิดอื่นที่สภาวะแตกต่างกัน 84
ตาราง ง(1) ความเข้มข้นของสารละลายที่ปรับเทียบ 97
ตาราง ง(2) ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน 98
ตาราง ฉ(1) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางที่สภาวะแตกต่างกันของหน่อไม้ 104
ตาราง ฉ(2) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางที่สภาวะแตกต่างกันของไม้ไผ่อ่อน 105
ตาราง ฉ(3) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางที่สภาวะแตกต่างกันของไม้ไผ่แก่ 106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตาราง ฉ(4) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของหน่อไม้ 107
ตาราง ฉ(5) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของหน่อไม้ 108
ตาราง ฉ(6) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 72 ชั่วโมง ของหน่อไม้ 109
ตาราง ฉ(7) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของไม้ไผ่อ่อน 110
ตาราง ฉ(8) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของไม้ไผ่อ่อน 111
ตาราง ฉ(9) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 72 ชั่วโมง ของไม้ไผ่อ่อน 112
ตาราง ฉ(10) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของไม้ไผ่แก่ 113
ตาราง ฉ(11) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 48 ชั่วโมง ของไม้ไผ่แก่ 114
ตาราง ฉ(12) ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่เวลา 72 ชั่วโมง ของไม้ไผ่แก่ 115

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูป 1.1 ปริมาณการผลิตเอทานอลรายเดือนปี 2549-2552	2
รูป 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน	10
รูป 2.2 ลักษณะเซลลูโลสที่ได้มาจากพืช	11
รูป 2.3 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส	12
รูป 2.4 ลักษณะสูตรโครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส	13
รูป 2.5 โครงสร้างของลิกนิน	14
รูป 2.6 แสดงขั้นตอนการปรับสภาพของวัตถุดิบประเภทไม้เนื้อแข็ง	15
รูป 2.7 ลักษณะโมเลกุลของเอนไซม์	21
รูป 2.8 กลไกการทำงานเอนไซม์	22
รูป 2.9 ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ	23
รูป 2.10 การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ กันของสาร A, B และ C	26
รูป 2.11 การแพร่กระจายของโมเลกุลใน LC	27
รูป 2.12 แสดงถึงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อ eddy diffusion	28
รูป 2.13 ผลของช่องว่างใน packing ที่มีต่อ eddy diffusion	29
รูป 2.14 ผลของขนาดของอนุภาคต่อ mass transfer	29
รูป 2.15 แสดงการแพร่กระจายของโมเลกุลแบบ longitudinal diffusion	30
รูป 2.16 ส่วนประกอบของเครื่อง HPLC	31
รูป 2.17 ตัวอย่างพื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติ	36
รูป 2.18 ภาพ contour plot ของผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว	37
รูป 2.19 ผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นฟังชันก์เชิงส้น	39
รูป 2.20 ผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโค้ง	39
รูป 2.21 การออกแบบส่วนประสมกลาง สำหรับ n=2 และ n=3	42
รูป 3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	45
รูป 3.2 เครื่องคัดขนาดอนุภาค	46
รูป 3.3 ไมโครปิเปต	46

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป หน้า

รูป 3.4 เครื่องอบลมร้อน 47
รูป 3.5 เครื่องบด Hammer mill 48
รูป 3.5 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ 48
รูป 3.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 49
รูป 3.8 เครื่องกรองปั๊มด้วยสุญญากาศ 50
รูป 3.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – เบส 51
รูป 3.10 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) 52
รูป 3.11 ขั้นตอนการทดลองงานวิจัย 54
รูป 4.1 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของหน่อไม้ 63
รูป 4.1 (ข) ปริมาณน้ำตาลไซโลสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของหน่อไม้ 65
รูป 4.2 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของไม้ไผ่อ่อน 68
รูป 4.2 (ข) ปริมาณน้ำตาลไซโลสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของไม้ไผ่อ่อน 70
รูป 4.3 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของไม้ไผ่แก่ 73
รูป 4.3 (ข) ปริมาณน้ำตาลไซโลสหลังการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางของไม้ไผ่แก่ 75
รูป 4.4 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการไฮโดรไลซิสของหน่อไม้ 78
รูป 4.4 (ข) ปริมาณน้ำตาลไซโลสหลังการไฮโดรไลซิสของหน่อไม้ 78
รูป 4.5 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการไฮโดรไลซิสของไม้ไผ่อ่อน 79
รูป 4.5 (ข) ปริมาณน้ำตาลไซโลสหลังการไฮโดรไลซิสของไม้ไผ่อ่อน 80
รูป 4.6 (ก) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการไฮโดรไลซิสของไม้ไผ่แก่ 81
รูป 4.6 (ข) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังการไฮโดรไลซิสของไม้ไผ่แก่ 81
รูป ง (1) ค่าความเข้มข้นของกลูโคส 98

อักษรย่อและสัญลักษณ์

C	คาร์บอน
CCD	การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design)
CSF	ระดับความรุนแรง (Combined severity factor)
D.I.	น้ำที่ไม่มีประจุ Deiodize water
DNS	การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ Dinitrosalilicylic acid
EG	เอนไซม์ Endoglucanases
FPU	Filter paper unit หน่วยวัดปริมาณเอนไซม์
GC	เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี
HPLC	เครื่องโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chomatrography)
IU	International unit หน่วยวัดปริมาณเอนไซม์
k	จำนวนปัจจัย
m	จำนวนการทดลองซ้ำ
N	จำนวนการทดลองทั้งหมด
O	ออกซิเจน
OD	ค่าการดูดกลืนแสง
P	ความดัน
RSM	การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface methodology)
T	อุณหภูมิ
v	ความเร็ว
V	ปริมาตร
%v/v	ร้อยละปริมาตรต่อปริมาตร
WIS	Water insoluble solid
%w/w	ร้อยละโดยมวลต่อมวล
x	ตัวแปรของปัจจัย
β	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

α	ค่าตัวปรับแก้ของปัจจัย
ε	ค่าความผิดพลาด
y	ปริมาณผลผลิตที่ได้