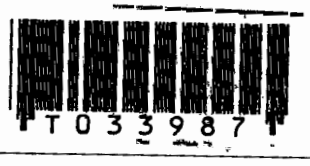
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นของการแยกสารเคมีจากฟางข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ



นางสาว ดวงใจ สุภาพิชัย
นาย วีระวัฒน์ เลิศบำรุงสุข
นาย ศรัณย์ พันธุ์วนิชกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33987
วัน, เดือน, ปี 27 ก.ย. 2542

สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Preliminary Study of the Separation of Chemicals from Rice Straw by Microwave

Miss Duangjai Supapichai
Mr. Veerawut Leardbumroongsuk
Mr.Saran Panvanichakul

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นของการแยกสารเคมีจากฟางข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

โดย นางสาว ดวงใจ สุภาพิชัย
นาย วีระวัฒน์ เลิศบำรุงสุข
นาย ศรัณย์ พันธุ์วนิชกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ประกอบ กิจไชยา

.....

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ
(อ. สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การศึกษาเบื้องต้นของการแยกสารเคมีจากฟางข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ
โดย	นางสาว ดวงใจ สุภาพิชัย
	นาย วีระวัฒน์ เลิศบำรุงสุข
	นาย ศรัณย์ พันธุ์วนิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การแยกสารเคมีจากฟางข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการปรับสภาพ เป็นเทคโนโลยีใหม่ซึ่งต่างจากวิธีดั้งเดิมที่นิยมใช้ไอน้ำความดันสูง ในงานวิจัยนี้ใช้คลื่นไมโครเวฟ ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตซ และกำลัง 3900 วัตต์ ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศในระบบต่อเนื่องในการปรับสภาพ พบว่าสารละลายที่ใช้แช่ฟางข้าว 48 ชั่วโมงก่อนการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีผลต่อการแยกสารเคมีจากฟางข้าว โดยที่ปริมาณน้ำตาลไซโลสจากเฮมิเซลลูโลสที่แยกได้จะขึ้นกับเวลาในการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ และสารละลายที่ใช้แช่ ซึ่งจะมีค่าสูงสุดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เวลาในการปรับสภาพ 40 นาที ในสารละลายที่ใช้แช่ซึ่งประกอบด้วยน้ำ กลีเซอรีน และกรดอะซิติก 47.62 47.62 และ 4.76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากเซลลูโลสหลังการย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่าการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟไม่อาจช่วยให้การแยกเกิดขึ้นได้ดีขึ้นในสารละลายที่ใช้แช่ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title The Preliminary Study of the Separation of Chemicals from Rice Straw by Microwave

By Miss Duangjai Supapichai
Mr. Veerawat Leardbumroongsuk
Mr. Saran Panvanichakul

Advisor Dr. Prakob Kitchaiya

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The separation of chemicals from rice straw by using microwave treatment is a new technology with differs from that conventional high pressure steam treatment. In this work, microwave at 2450 MHz and 3900 watts under the atmospheric pressure is used for the treatment by a continuous system and it is found that the solutions that are used for soaking rice straw for 48 hours before the microwave treatment affect the chemical separation of rice straw. The amount of xylose from hemicellulose being separated depending on the time of microwave treatment and the soaking solution ,in which, the maximum hemicellulose obtained is 5 percent by the treatment time of 40 minutes and soaking in the solution of water, glycerine, and acetic acid at 47.62, 47.62, and 4.76 percent by weight ,respectively, the amount of glucose from cellulose after the enzyme digestion is found being unaffected by microwave treatment in any soaking solutions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 มูลเหตุจูงใจและที่มาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. องค์ประกอบหลักของเซลล์พืช	4
2.1 โครงสร้างขององค์ประกอบหลักในเซลล์พืช	4
2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน	6
2.3 ประโยชน์ขององค์ประกอบหลักทั้ง 3	10
2.4 เอนไซม์เซลลูเลส	11
3. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ	14
3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไมโครเวฟ	14
3.2 สารไดอิเล็กตริก	20
4. การแยกองค์ประกอบหลักของพืช โดยวิธีการต่าง ๆ ที่มีมาก่อน	21
4.1 การปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำความดันสูง	22
4.2 การปรับสภาพโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	27
5. วิธีการทดลอง และผลการทดลอง	30
5.1 ขั้นตอนการทดลอง	30
5.2 ผลการทดลอง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุป วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 51
6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการปรับสภาพด้วยการต้มรีฟลักซ์ 51
6.2 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการปรับสภาพโดยใช้เครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 51
6.3 ข้อเสนอแนะ 54

เอกสารอ้างอิง 56
ภาคผนวก 58
ภาคผนวก ก 59
ภาคผนวก ข 62
ภาคผนวก ค 64
ภาคผนวก ง 68
ตัวอย่างการคำนวณ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านประกอบด้วย

1. ดร. ประกอบ กิจไชยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย
2. รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ
   คุณวงศกร วัชรานานันท์ ที่ช่วยสร้าง ซ่อมบำรุง ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้และออกแบบเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง และอุปการะคุณเครื่องตรวจการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ
3. อ. อรทัย สุขเจริญ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้ความอุปการะคุณสารเคมี เครื่องบ่มเอนไซม์ และข้อมูลทางชีวภาพ

จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ดวงใจ สุภาพิชัย
ศรัณย์ พันธุ์วนิชกุล
วีระวัฒน์ เลิศบำรุงสุข

16 เมษายน 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในไม้เนื้อแข็ง 5 ชนิด	6
2.2 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในไม้เนื้ออ่อน 5 ชนิด	6
3.1 ค่าไดอิเล็กตริกของสารบางชนิด	20
4.1 ตัวอย่างวิธีการในการปรับสภาพของเซลล์พืชก่อนทำการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์	21
4.2 สภาวะมาตรฐานในการระเบิดด้วยไอน้ำ	25
5.1 การเปรียบเทียบการหาปริมาณองค์ประกอบหลักในวัตถุดิบเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก	34
ข-1 อัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อโซเดียมอะซิเตทในการเตรียมอะซิเตทบัฟเฟอร์	62
ง-1 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้จากการรีฟลักซ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	68
ง-2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่แยกได้จากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	68
ง-3 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่แยกได้จากกลูโคสทั้งหมดที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	69
ง-4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำแล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)	70
ง-5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำแล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)	70
ง-6 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติก 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)	71
ง-7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติก 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)	71
ง-8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1)	72
ง-9 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2)	72
ง-10 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1)	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 73
ง-12 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 74
ง-13 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 74
ง-14 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่ในกรดอะซิติกเข้มข้น 4.76 %(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 75
ง-15 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกเข้มข้น 4.76 %(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 75
ง-16 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 76
ง-17 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 76
ง-18 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 77
ง-19 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 77
ง-20 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 78
ง-21 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 78
ง-22 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-23 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 79

ง-24 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1) 80

ง-25 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบดแช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2) 80

ง-26 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1) 81

ง-27 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 81

ง-28 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1) 82

ง-29 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92%(w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 82

ง-30 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1) 83

ง-31 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% % (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 83

ง-32 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1) 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-33 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 84

ง-34 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% % (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1) 85

ง-35 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น4.76% % (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2) 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การอยู่ร่วมกันขององค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน	2
2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบ lignocellusic ของผนังเซลล์	4
2.2 โครงสร้างของเซลลูโลสโพลีเมอร์	7
2.3 โครงสร้างผลึกและโครงสร้างอสัณฐานของเซลลูโลส	7
2.4 การจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริล 3 ชั้นในเซลลูโลส	8
2.5 องค์ประกอบของลิกนิน	9
2.6 กลไกการย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิริยาได้ในรูที่มีขนาดเล็กเกินไป และมีการยับยั้งโดยผลิตภัณฑ์กลูโคสและเซลโลไบโอส	12
2.7 ลำดับการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลสไปเป็นกลูโคส	13
3.1 อิเลกโตรแมกเนติกสเปกตรัม	14
3.2 การหมุนของไดโพลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า	16
3.3 เครื่องมือวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ	17
3.4 ด้านข้างของเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง	18
4.1 อุปกรณ์แบบปิดในการระเบิดด้วยไอน้ำของไม้	23
4.2 อุปกรณ์แบบต่อเนื่องในการระเบิดด้วยไอน้ำของไม้	24
4.3 การปรับสภาพโดยใช้คลื่นไมโครเวฟของ Azuma	27
5.1 ลำดับการแยกองค์ประกอบ และวิธีการในการแยก	32
5.2 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ	35
5.3 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ	36
5.4 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5%(w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ	37
5.5 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติก และเกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นอย่างละ 5% (w/v)แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 39

5.7 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/v) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 40

5.8 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 41

5.9 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/v) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 42

5.10 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 43

5.11 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 44

5.12 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 45

5.13 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นอย่างละ 5% (w/v)แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 46

5.14 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 47

5.15 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/v) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ(3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 48

5.16 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 49

5.17 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/v)และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 เปอร์เซ็นต์ของเฮมิเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 40 นาทีเทียบกับไม่ผ่าน 52
6.2 เปอร์เซ็นต์ของเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 40 นาทีเทียบกับไม่ผ่าน 53
ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสกับค่าการดูดกลืนแสง โดยวิธี total sugar ที่ 485 นาโนเมตร 60
ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสกับค่าการดูดกลืนแสง โดยวิธี total sugar ที่ 485 นาโนเมตร 61
ค-1 เครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 65
ค-2 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ 66
ค-3 เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ 66
ค-4 เครื่องอบแห้ง 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

c	ความเร็วแสง ($3*10^{10}$ เซนติเมตร/วินาที ในสุญญากาศ)
E	เอนไซม์เซลลูเลส
E_1	เอนไซม์ endo-1,4-β-D-glucanases ในเอนไซม์เซลลูเลส
E_2	เอนไซม์ exocellobiohydrolases ในเอนไซม์เซลลูเลส
E_3	เอนไซม์ β-D-glucosidases ในเอนไซม์เซลลูเลส
E_4	เอนไซม์ exo-1,4-β-D- glucosidases ในเอนไซม์เซลลูเลส
ESE	ส่วนที่เอนไซม์จับกับเซลลูโลสแล้วสามารถกลายไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้
ESP	ส่วนที่เอนไซม์จับกับเซลลูโลสแล้วไม่สามารถกลายไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากการยับยั้งปฏิกิริยายาโดยเซลโลไบโอสและกลูโคส
f	ความถี่ (รอบ/วินาที)
ML	ชั้นภายนอกของผนังเซลล์ของพืช (middle lamella)
P	ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิของพืช (primary wall)
S	ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิของพืช (Secondary wall)
S_1	ชั้นนอกของผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิของพืช (outer of the secondary wall)
S_2	ชั้นกลางของผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิของพืช (middle of the secondary wall)
S_3	ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิของพืชซึ่งอยู่ติดกับองค์ประกอบภายในเซลล์ (inner of the secondary wall)
λ	ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)
o	กลูโคส 1 หน่วย
oo	เซลโลไบโอส ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 มูลเหตุจูงใจและที่มาของปริญญานิพนธ์

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย ยอดอ้อย ซังและเปลือกข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว เปลือกถั่ว ต้นและใบมันสำปะหลัง ซึ่งมีเป็นปริมาณมากในประเทศไทย ยังไม่ได้รับการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า จึงมีความเหมาะสมที่จะนำวัสดุเหล่านี้มาวิจัยเพื่อแยกองค์ประกอบหลักอันได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกจากกัน เพื่อนำสารทั้งสามที่แยกได้จากเนื้อไม้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือฟางข้าว มาใช้ประโยชน์ เนื่องจากโครงสร้างของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารอินทรีย์ หากสามารถนำมาแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ออกมาก็จะได้น้ำตาลต่าง ๆ เช่น น้ำตาลกลูโคสได้จากการย่อยเซลลูโลส น้ำตาลไซโลสได้จากการย่อยเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น

องค์ประกอบของเนื้อไม้จะอยู่รวมกันในลักษณะของโพลีเมอร์ การที่จะใช้เอนไซม์เข้าไปย่อยเพื่อได้ น้ำตาลที่ต้องการไปใช้ประโยชน์นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการเข้าทำงานของเอนไซม์จะถูกปิดกั้นด้วยโมเลกุลของลิกนิน ซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่ นอกจากนี้ธรรมชาติของเนื้อไม้ที่มีความเป็นผลึกและอยู่รวมกันเป็นโพลีเมอร์จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ลดลง ดังนั้นก่อนที่จะย่อยองค์ประกอบของเนื้อไม้ได้นั้นจึงต้องมีการปรับสภาพเนื้อไม้นั้น ๆ ก่อนทำการย่อยด้วยเอนไซม์

ในการแยกองค์ประกอบของเนื้อไม้ เราสามารถเลือกวิธีการปรับสภาพเบื้องต้น (pretreatment) ได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีให้ผลที่ต่างกันไป โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสไปเป็นแบบไม่มีโครงสร้างหรือที่เรียกว่าแบบอสัณฐาน ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยโดยเอนไซม์เซลลูเลส คือทำให้ความเป็นโพลีเมอร์ของโมเลกุลลดลง เอนไซม์จึงสามารถย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น

2. เป็นการช่วยขยายช่องว่างหรือรู (pore) ในโครงสร้างของวัสดุ เพื่อช่วยให้มีขนาดใหญ่เพียงพอที่เอนไซม์เซลลูเลสสามารถเข้าไปย่อยได้สะดวก

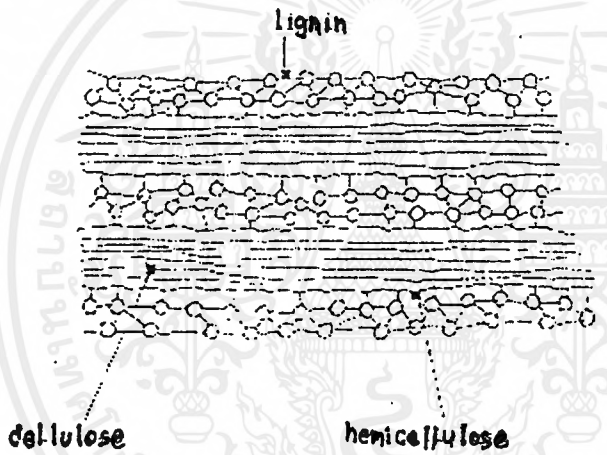
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำให้เกิดการแตกของโครงสร้างภายในของเซลล์เนื่องจากมีกรดอะซิติกเกิดขึ้น ซึ่งกรดอะซิติกจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดการแตกของโครงสร้างภายในเซลล์

4. เป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแยกเซลลูโลสโดยเอนไซม์ เนื่องจากเมื่อทำการปรับสภาพเบื้องต้นแล้ว ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสจะถูกแยกออกไป ทำให้เอนไซม์สามารถย่อยเซลลูโลสได้โดยไม่ถูกปิดกั้นด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

5. เป็นการลดการยับยั้งของเอนไซม์โดยผลิตภัณฑ์ *(Pekarovicova , 1989)*

การอยู่ร่วมกันขององค์ประกอบหลักทั้ง 3 ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1.1 เมื่อทำการปรับสภาพเนื้อไม้แล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ดีขึ้น สามารถแยกองค์ประกอบของเนื้อไม้ได้เป็นน้ำตาลต่าง ๆ นำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งวิธีในการปรับสภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการปรับสภาพด้วยการบดใช้สารเคมี ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟพลังงานสูงแบบต่อเนื่อง



รูป 1.1 การอยู่ร่วมกันขององค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Jurasek , M.L. , 1987)

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ได้เลือกวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมา 1 ชนิด คือ ฟางข้าว เพื่อเป็นตัวแทนเบื้องต้นของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ปริมาณขององค์ประกอบในฟางข้าว
2. ผลของการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อการแยกเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสออกจากฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำการศึกษาโครงงานวิจัย ได้แก่

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบของฟางข้าวและการใช้คลื่นไมโครเวฟ
2. ได้รับข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้คลื่นไมโครเวฟแบบต่อเนื่องในการแยกองค์ประกอบหลักทั้ง 3 และการปรับสภาพ
3. เป็นแนวทางแก่งานวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

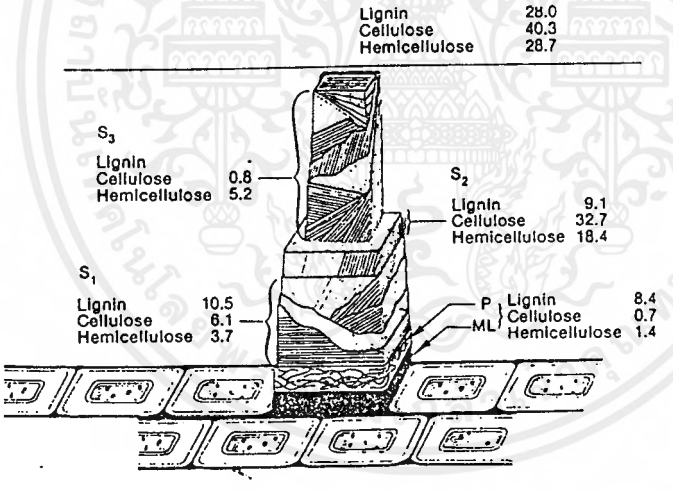
บทที่ 2

องค์ประกอบหลักของเซลล์พืช

เพื่อให้การแยกองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ของเซลล์พืชมีประสิทธิภาพดี จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาในรายละเอียดขององค์ประกอบหลักดังกล่าว ดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างขององค์ประกอบหลักในเซลล์พืช

โดยปกติสามารถแบ่งไม้ออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อน (softwoods) และไม้เนื้อแข็ง (hardwoods) ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกันไป โดยผนังเซลล์(cell wall) ของพืชประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccaride) ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน สารประกอบเพคติค (pectic substance) เป็นต้น ซึ่งแสดงองค์ประกอบไว้ตามรูป 2.1 ดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบ lignocellusic ของผนังเซลล์ (ตัวเลขข้างหลังเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบ) (Aspinall , G.O. , 1983)

ผนังเซลล์พืชประกอบด้วยโครงสร้างหลัก ๆ 3 ชั้นซ้อนกันอยู่ในองค์ประกอบที่ต่างกัน ผนังเซลล์ชั้นนอกสุดคือชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella , ML) ชั้นถัดมาคือชั้นปฐมภูมิ (primary wall, P) และชั้นในสุดคือชั้นทุติยภูมิ (secondary wall , S) โดยที่ชั้นทุติยภูมินี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย คือ S_1 S_2 และ S_3 ซึ่งแต่ละชั้นมีปริมาณองค์ประกอบหลักและความหนาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืชที่ห่อหุ้มสารภายใน (organism) กระจายตัวอยู่ชั้นต่างๆทั้งหมด ในชั้นมิดเดิลลาเมลลา บริเวณรอบเซลล์ยังประกอบด้วยลิกนินและสารประกอบเพคติค โดยความหนาแน่นของลิกนินภายในชั้นมิดเดิลลาเมลลาจะมีสูงกว่าในผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ ส่วนผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิมีความหนา 0.1-0.2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเป็นเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีสารประกอบเพคติคและเฮมิเซลลูโลสอยู่ด้วย ผนังเซลล์ชั้นทุติภูมิประกอบด้วยชั้นย่อย 3 ชั้น ได้แก่ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิส่วนนอก (outer layer of secondary wall , S_1) มีความหนา 0.1-0.3 ไมโครเมตร ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิส่วนกลาง (middle layer of the secondary wall , S_2) มีความหนา 0.1-0.5 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นผนังเซลล์ส่วนที่มีปริมาตรสูงที่สุด และผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิส่วนใน (inner of the secondary wall , S_3) มีความหนา 0.1 ไมโครเมตร

แม้ว่าในผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิจะมีความหนาแน่นของลิกนินอยู่น้อยกว่าในชั้นมิดเดิลลาเมลลา แต่เนื่องจาก มีปริมาตรที่มากกว่ามาก ปริมาณของลิกนินเกือบทั้งหมดจึงอยู่ในผนังเซลล์ชั้นนี้ ในทั้งชั้นมิดเดิลลาเมลลาและชั้นผนังเซลล์ มีการกระจายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบเพคติคที่ไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียว

องค์ประกอบต่าง ๆ อาจเปลี่ยนได้ตามชนิดของไม้ ส่วนต่าง ๆ ของไม้ (เช่น เปลือกไม้ แกนไม้ และเยื่อไม้) และความหนาแน่นของไม้ โดยส่วนใหญ่จะมีปริมาณของเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งปกติใกล้เคียงกันคือประมาณ 42 ± 2 % มีปริมาณลิกนินในไม้เนื้ออ่อน 25-35 % และไม้เนื้อแข็ง 18-25% ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งประมาณ 25-30 % ปริมาณของสารเพคติค แป้ง และขี้เถ้าในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งประมาณ 1-4 % *(Kollman mann , F.P. , 1968)* ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในไม้เนื้อแข็ง 5 ชนิด (Kollman mann , F.P.,1968)

องค์ประกอบ	ชนิดของไม้เนื้อแข็ง				
	Acer Rubrum L.	Betula Papyrifera March.	Fagus Grandifolia Ehrh.	Populus Tremuloides Michx.	Ulmus Americana L.
Cellulose	45	42	45	48	51
Lignin	24	19	22	21	24
Hemicellulose *(O-Acetyl-4-O-methyl-glucurano-xylan)*	25	35	26	24	19
Glucomanan	4	3	3	3	4
Pectin,starch,ash,etc.	2	1	4	4	2

ตารางที่ 2.2 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในไม้เนื้ออ่อน 5 ชนิด (Kollman mann , F.P. ,1968)

องค์ประกอบ	ชนิดของไม้เนื้ออ่อน				
	Abies Balsamea (L.) Mill	Picea Glauca (Moench)Voss	Pinus Strobus L.	Tsuga Canadensis (L.) Carr.	Thuja occidentalis L.
Cellulose	42	47	41	41	41
Lignin	29	27	29	33	31
Hemicellulose *(Arabino-4-O-methyl-Glucurono-xylan)*	9	13	9	7	14
Hemicellulose *(O-Acetyl-4-O-methyl-glucurano-xylan)*	18	18	18	16	12
Pectin,starch,ash,etc.	2	1	3	3	2

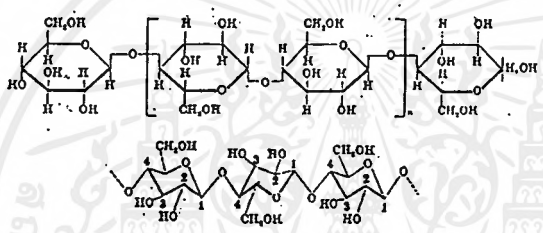
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

ในการแยกองค์ประกอบหลักทั้งสามจากฟางข้าว มีความจำเป็นต้องทราบถึงรายละเอียดขององค์ประกอบทั้งสามดังต่อไปนี้

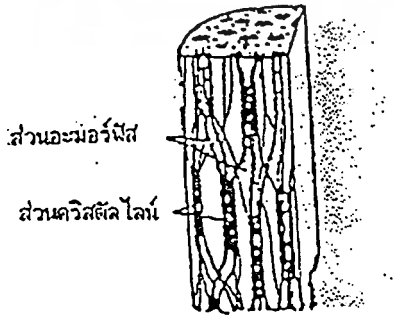
2.2.1 เซลลูโลส

เป็นสารประกอบโฮโมโพลีแซกคาไรด์ของ β-D-glucoglycan ต่อเป็นสายยาวโดยพันธะ β(1-4) glucoside ดังรูปที่ 2.2 โดยมีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 50,000-400,000 ซึ่งกลูโคสที่เป็นหน่วยย่อยมีรูปร่างโมเลกุล (conformation) คล้ายรูปเก้าอี้และมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ซึ่งส่งแรงดึงดูดต่อกันก่อให้เกิดสภาพของผลึก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลสโพลีเมอร์ (Kollman mann , F.P. , 1968)

เมื่อทำการวิเคราะห์โดยรังสีเอกซ์เรย์พบว่าโครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่ไม่มีรูปร่างแน่นอนเรียกว่าส่วนอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งในส่วนอสัณฐานเอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกริยาได้ดีกว่าเนื่องจากมีองศาความเป็นโพลีเมอร์ (degree of polymerization) ต่ำสุด

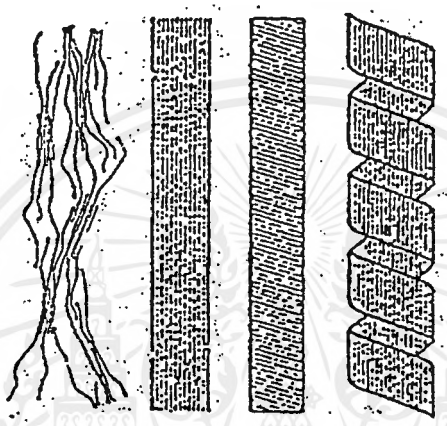


รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกและโครงสร้างอสัณฐานของเซลลูโลส (Kollman mann , F.P. , 1968)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชมีการจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลเป็น 3 ชั้นดังรูปที่ 2.4 คือ

1. โครงสร้างผลึกและโครงสร้างอสัณฐาน
2. โครงสร้างของเซลลูโลสที่มีการม้วนพับไปมา ตามแกนเส้นใยของเซลลูโลส
3. โครงสร้างของเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นริบบิ้นหนา เกิดจากการม้วนไปมาโดยตั้งฉากกับแกนของริบบิ้นซึ่งม้วนเป็นเกลียว



รูปที่ 2.4 การจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริล 3 ชั้นในเซลลูโลส (Kollman mann , F.P. , 1968)

เซลลูโลสต่างจากแป้งคือไม่สามารถละลายน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากปริมาณพันธะไฮโดรเจนที่มาก แต่สามารถละลายในสารบางชนิด เช่น กรดหรือเบส เนื่องจากสมบัติเหล่านี้เมื่อพิจารณากลูโคสซึ่งเป็นโมโนเมอร์ของมันแล้ว สามารถจำแนกประเภทได้เป็น

1. แอลฟา-กลูโคส เป็นกลูโคสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %
2. เบต้า-กลูโคส เป็นกลูโคสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %
3. แกมมา-กลูโคส เป็นกลูโคสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %

และกรดเจือจาง

จึงสามารถย่อยเซลลูโลสและทำการปรับสภาพวัสดุโดยการใช้กรด ได้แก่ กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก หรือเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนีย เอทิลลีนไดอะมีน เป็นต้น แต่การย่อยสลายโดยวิธีทางเคมีนี้จะไม่ให้ผลดีเท่ากับวิธีการใช้เอนไซม์ เนื่องจากจะได้น้ำตาลปริมาณน้อยกว่า ใช้อุณหภูมิและพลังงานสูงกว่า และได้สารอื่นปนเข้ามา เช่น ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) ของกรดจะดึงน้ำออกจากกากที่เป็นน้ำตาลโมโนแซกคาไรด์ ในเพนโตสเกิดเป็นเฟอร์ฟิวรัล (furfural) และเฮกโซสเกิดเป็นไฮดรอกซิลเมทิลเฟอร์ฟิวรัล

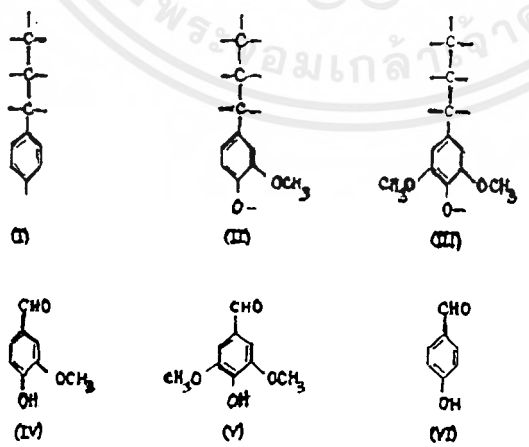
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสต่างจากเซลลูโลสคือเป็นสารประกอบเฮทเทอโรโพรีแซกคาไรด์ และมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส คือประกอบไปด้วยมวลโมเลกุลเพียง 15,000 - 22,000 แต่มีหลายชนิด ขนาดสั้น และไม่เกิดเป็นโพลีแซคคาไรด์กับเซลลูโลสและลิกนิน จึงเป็นสาเหตุทำให้สามารถแยกเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลล์พืชได้ง่าย เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และมีน้ำตาลอื่นปนอยู่ด้วย เช่น D-mannose , D-glucose , D-galactose , L-arabinose , 4-*O*-methyl-D-glucuronic acid , D-glucunonic acid ,L-rhamnose , L-fructose และ Methylate ของน้ำตาลในธรรมชาติ เป็นต้น โดยน้ำตาลส่วนมากเป็นไพราโนส (วงแหวนหกเหลี่ยม) ซึ่งเชื่อมกันโดยพันธะ 1,4-β-linkage ในปัจจุบันมีแนวโน้มว่าจะมีการแยกองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสมากขึ้น เนื่องจากแยกได้ง่ายกว่า เฮมิเซลลูโลสของไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีองค์ประกอบต่างกันดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

2.2.3 ลิกนิน

เป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูงมาก ปกคลุมอยู่ในเซลล์พืชร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรง มีองค์ประกอบที่ซับซ้อน มีหน่วยย่อยดังรูปที่ 2.5 สามารถแยกได้ดีโดยใช้ อัลคาไลน์ที่อุณหภูมิสูง เป็นสารโพลีเมอร์ในแนว 3 มิติของ Phenylpropane (I) มีพันธะที่สำคัญได้แก่ อีเทอร์ (C-O-C) และพันธะ C-C ในไม้เนื้ออ่อนแต่ละหน่วยจะประกอบด้วยฟีโนลิกออกซิเจน และ กลุ่มเมทอกซิล (II) ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งประมาณครึ่งหนึ่งจะมีกลุ่มเมทอกซิล (III) เพิ่มเข้ามา ในการแยกองค์ประกอบของไม้เนื้ออ่อนจะให้ vanillin (IV) ในกรณีของไม้เนื้อแข็งจะให้ส่วนผสมของ vanillin , syringaldehyde (V) และ *p*-hydroxybenzaldehyde (VI)



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของลิกนิน (Kollman mann , F.P. , 1968)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลักทั้งสามของเซลล์พืชจะเกิดอยู่ร่วมกัน เพื่อเป็นโครงสร้างของเซลล์พืช และทำหน้าที่เป็นเสมือนท่อลำเลียงน้ำและอาหารเพื่อทำให้เกิดการเจริญเติบโตขึ้น ทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นสารประกอบอินทรีย์ เกิดอยู่ร่วมกันในลักษณะโพลีเมอร์ขนาดใหญ่ ทำให้เป็นอุปสรรคในการนำสารแต่ละชนิดไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากไม่สามารถแยกเอาแต่ละองค์ประกอบออกจากกันได้โดยง่าย ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงวิธีการปรับสภาพเพื่อให้เอนไซม์เข้าไปย่อยได้สะดวกขึ้นโดยไม่มีอุปสรรคเนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อนของเซลล์พืช

2.3 ประโยชน์ขององค์ประกอบหลักทั้ง 3

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเพื่อนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้ในการแยกองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกจากกัน เมื่อแยกองค์ประกอบหลักต่าง ๆ ของเนื้อไม้ออกมาแล้ว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ดังต่อไปนี้

2.3.1 ประโยชน์ของเซลลูโลส

เซลลูโลสจะถูกแยกออกมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เชื้อเพลิง อาหาร สิ่งทอ ก่อสร้าง ยา และเยื่อเมมเบรนในทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกรองและการแยกเซลลูโลสอะซิเตทและเซลลูโลสเอสเทอร์

2.3.2 ประโยชน์ของไซโลสและกลูโคส

เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้ผลเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวไซโลสและกลูโคสตามลำดับ โดยตัวอย่างประโยชน์ของการนำไซโลสและกลูโคสไปใช้ ได้แก่

1. ใช้ในการเลี้ยงเซลล์ผลิตโปรตีนเซลล์เดียว
2. ใช้ในการเลี้ยงเซลล์ผลิตสารเคมีและเชื้อเพลิง เช่น เอทานอล บิวทานอล อะซิโตน
3. ใช้ในการเลี้ยงเซลล์ผลิตสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา เช่น กรดอะซิติก

2.3.3 ประโยชน์ของลิกนิน

โครงสร้างของลิกนินยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด จึงทำให้การแยกลิกนินออกจากวัสดุทำได้ยาก แต่ลิกนินก็ยังคงมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม ตัวอย่างการนำลิกนินไปใช้ เช่น

1. ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ
2. ใช้แทนฟีนอลในการผลิตเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้ในการผลิตกาว หมากฝรั่ง

4. ใช้เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์

จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียว ดังนั้นหากสามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ออกจากกันได้ โดยการปรับสภาพที่มีประสิทธิภาพดี เพื่อให้เอนไซม์สามารถเข้าไปทำงานเพื่อย่อยโครงสร้างต่าง ๆ ให้เกิดเป็นน้ำตาลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทยเป็นวัตถุดิบก็จะมีประโยชน์มากขึ้น

2.4 เอนไซม์เซลลูเลส

ในธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือชีวมวลต่าง ๆ สามารถถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีววิทยาโดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ได้มีการศึกษาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเซลลูโลสอยู่มาก เช่น Khan (1980) พบว่า *Acetivibrio Cellulolyticus* สร้างเอนไซม์เซลลูเลสขึ้นมาย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสสิก (cellulosic) ให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้

เนื่องจากองค์ประกอบหลักของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายไม่ว่าโดยกระบวนการทางเคมี หรือชีววิทยาจะเกิดเป็นน้ำตาล ซึ่งชนิดของ น้ำตาลนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบ เช่นในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสจะได้น้ำตาลออกมาหลายชนิด เช่น อะราบิโนส ไซโลส กาแลคโตส แมนโนส เป็นต้น ซึ่งต่างจากการย่อยเซลลูโลสที่จะได้น้ำตาลกลูโคสออกมาเพียงอย่างเดียว แม้ว่าการย่อยสลายด้วยกรดใช้เวลาสั้นกว่าแต่กรดที่เหลืออยู่อาจทำปฏิกิริยากับ
น้ำตาลที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำตาลสูญเสียสภาพไป ปัจจุบันจึงได้มีความพยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการหาจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์ผสมที่ย่อยได้ทั้งเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ตลอดจนหาจุลินทรีย์ที่สามารถใช้ทั้งน้ำตาลเพนโตสและเฮกโซส แล้วเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลได้ ทั้งนี้เพื่อให้การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นไปอย่างคุ้มค่า

2.4.1 ข้อมูลจำเพาะของเอนไซม์ที่ใช้ในการทดลอง

เป็นเอนไซม์ที่ได้จากการหมัก Fungi *Trichoderma Reese*. มีค่าแอกทีวิตี้ของเอนไซม์ 1500 NCU/g อุณหภูมิและพีเอช ที่เหมาะสมในการย่อยคือ 40 องศาเซลเซียส และ 4.8 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของเอนไซม์

การทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส นั้นประกอบด้วยเอนไซม์ 4 ชนิดดังนี้ *(Haigler , C.H. , 1991)*

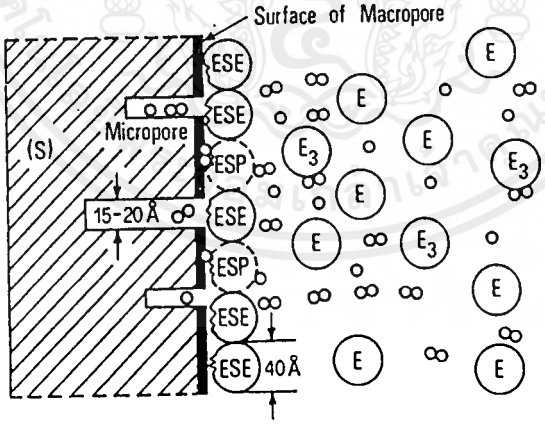
1. endo-1,4-β-D-glucanases (E_1)
2. exocellobiohydrolases (E_2),
3. β-D-glucosidases (E_3)
4. exo-1,4-β-D- glucosidases (E_4)

การทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสแสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

1. เริ่มต้นจากปฏิกิริยาไม่เป็นเนื้อเดียวเนื่องจากเซลลูโลสโมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่ละลายน้ำ เอมไซม์ E_1 และ E_2 เข้าไปจับกับเซลลูโลสที่มี 2 ลักษณะคือเป็นผลึกและไม่มีรูปร่างแน่นอน และกลายเป็นผลิตภัณฑ์เซลโลไบโอส

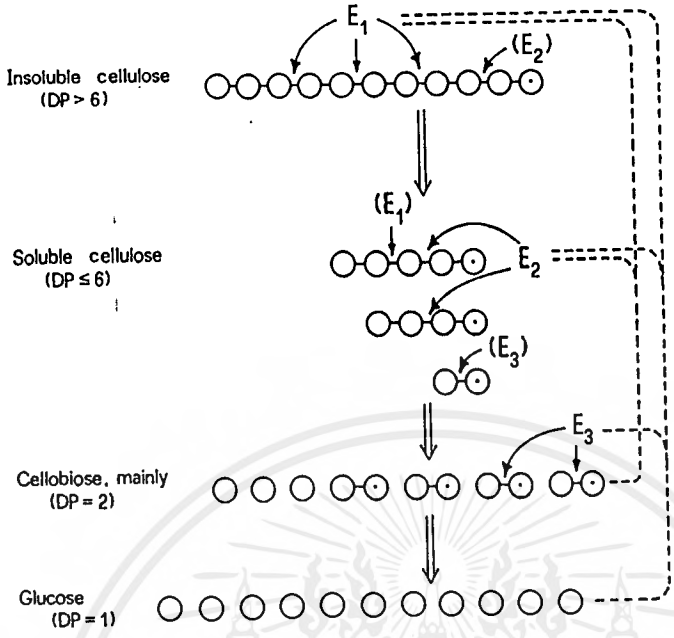
2. ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยการละลายน้ำของเอนไซม์ที่มาเกาะที่ผิวเซลลูโลส ขั้นนี้เอนไซม์ที่จับตัวกับเซลลูโลสแล้วถูกยับยั้งการทำงานโดยการจับเซลโลไบโอสที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

3. ในขั้นนี้จะเหลือเพียงเซลโลไบโอสที่มีขนาดโมเลกุล 2 หน่วยของกลูโคสจึงละลายน้ำได้เป็นปฏิกิริยาเนื้อเดียว เซลโลไบโอสถูกย่อยโดยเอนไซม์ E_3



รูปที่ 2.6 กลไกการย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิริยาได้ในรูที่มีขนาดเล็กเกินไป และมีการยับยั้งโดยผลิตภัณฑ์กลูโคสและเซลโลไบโอส (Haigler , C.H. , 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลำดับการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลสไปเป็นกลูโคส (Haigler , C.H. , 1991)

หลังจากการปรับสภาพเพื่อให้เกิดลักษณะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แล้ว เอนไซม์จะสามารถเข้าไปย่อยสลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์พืชได้ง่ายขึ้น และน้ำตาลที่ได้จากการแยกองค์ประกอบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

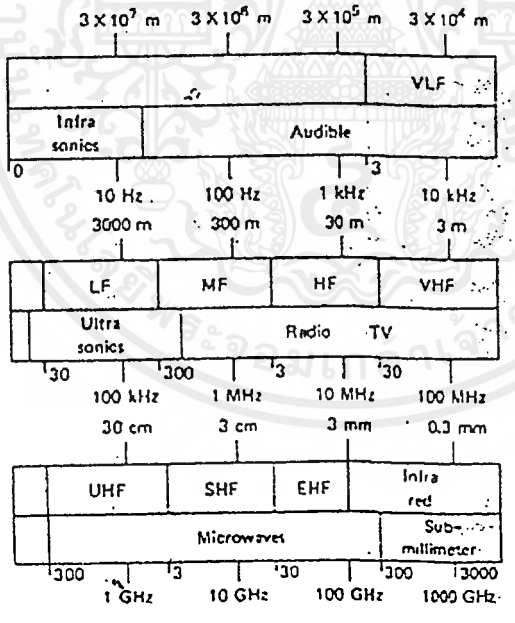
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

เพื่อจะให้การแยกองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ออกจากฟางข้าว ให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงธรรมชาติของคลื่นไมโครเวฟและการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งจะนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการทดลองดังนี้

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

3.1.1 คุณลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ (characteristic of microwave)

คลื่นไมโครเวฟจะมีสเปกตรัมของความถี่อยู่ในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz และอยู่ในช่วงความยาวคลื่น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อิเลกโตรแมกเนติกสเปกตรัม

จากรูปส่วนบนจะแสดงถึงช่วงความยาวคลื่น และส่วนล่างจะแสดงถึงช่วงของความถี่ ทั้งความยาวคลื่น และความถี่จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad ...(3.1)$$

โดยที่ λ = ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)

c = ความเร็วแสง ($3*10^{10}$ เซนติเมตร/วินาที ในสุญญากาศ)

f = ความถี่ ในหน่วย Hz (รอบ/วินาที)

โดยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะแตกต่างจากคลื่นชนิดอื่นอย่างหนึ่งคือ คลื่นไมโครเวฟ จะเป็นแบบที่มีประจุไอออไนซ์ ส่วนรังสีอื่นๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีคอสมิค จะเป็นแบบที่ไม่มีประจุไอออไนซ์

สารประเภทไดอิเล็กตริก เช่น น้ำ และสารละลายต่าง ๆ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สามารถดูดกลืนพลังงานของคลื่นไมโครเวฟได้ดี และจะทำให้เกิดการได้รับความร้อนขึ้น โดยการไปรบกวนโมเลกุลในส่วนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ ทำให้โมเลกุลเกิดมีพลังงาน นอกจากนี้สารที่มีประจุเช่น ไอออนในสารละลายก็สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดี

3.1.2 กลไกการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating mechanisms)

เมื่อคลื่นไมโครเวฟสัมผัสกับสารไดอิเล็กตริก เช่น ฟางข้าวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ จะทำให้คลื่นเกิดการกระทำระหว่างกันกับสารไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานออกมา มีผลทำให้อุณหภูมิในสารนั้นมีค่าสูงขึ้น ซึ่งในการนี้จะมีกระบวนการใหญ่ๆ 2 กระบวนการ คือ

1. ไอออนิกโพลาไรเซชัน (ionic polarization)

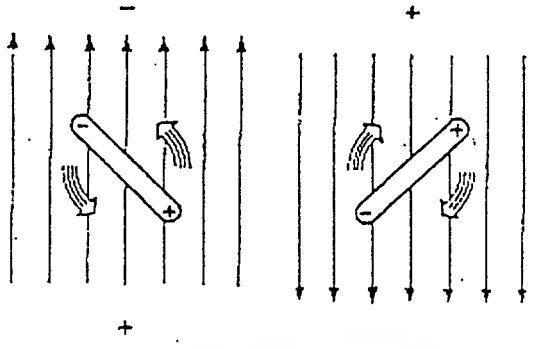
ไอออนิกโพลาไรเซชันเกิดขึ้นเมื่อ ไอออนในสารละลายเคลื่อนที่ไปในสนามไฟฟ้า ไอออนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า (electric field kinetic energy) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ไอออนที่เคลื่อนที่จะไปชนกับไอออนตัวอื่น เรื่อย ๆ จนพลังงานจลน์นั้นเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน

ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย หรือ ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ความถี่ของการชนกันของไอออนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าของพลังงานจลน์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นด้วย (ความเข้มข้น ความถี่ในการชน จะเป็นตัวแปรที่จะต้องคำนึงถึงในการเพิ่มอุณหภูมิในสารไดอิเล็กตริก)

2. การหมุนของไดโพล (dipole rotation)

วิธีการสร้างความร้อน ตามแบบการหมุนของไดโพลเป็นดังรูป 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การหมุนของไดโพลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า

จากรูปจะแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้ จะต้องสัมพันธ์กับการมีขั้วของโมเลกุลเพราะต้องอาศัยความเป็นขั้วบวกและลบ และแรงระหว่างขั้ว เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในส่วนของสนามไฟฟ้า โมเลกุล (เช่น น้ำและสารละลายที่มีขั้ว) จะเกิดการหมุนตัวเกิดขึ้นเมื่อมีการกลับขั้ว เป็นผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นเนื่องมาจากการหมุนตัวของโมเลกุล

ความมีขั้วของสนามไฟฟ้าจะขึ้นกับอัตราความถี่ของไมโครเวฟ ถ้ามีค่ามากก็จะทำให้ความเป็นขั้วสูง ทำให้เกิดการหมุนตัวอย่างเร็วและแรง ทำให้ค่าของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

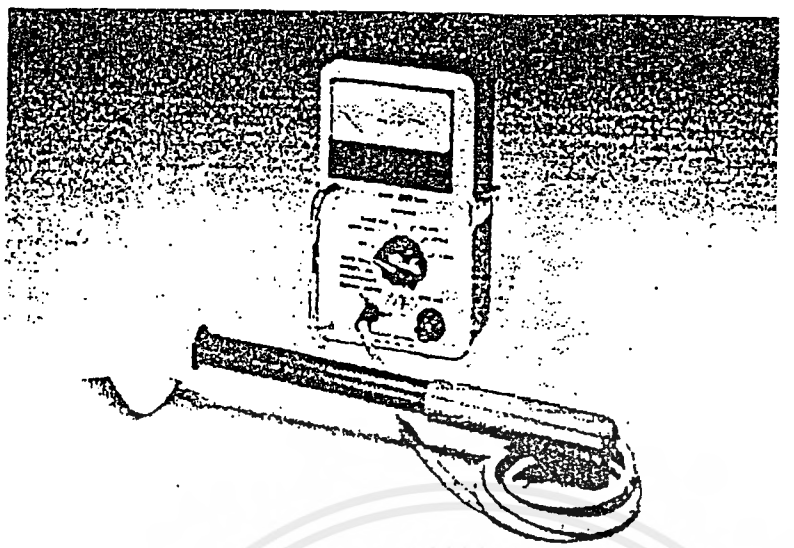
การเกิดความร้อนนั้นนอกจากขึ้นกับชนิดของสารแล้ว (ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก) ยังขึ้นกับลักษณะทางกายภาพด้วย เช่น น้ำมีค่าไดอิเล็กตริกสูง แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไปเป็นน้ำแข็งจะทำให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำมาก จนถือว่าเป็นสารพวกที่ดูดซึมคลื่นไมโครเวฟได้ต่ำ (poor microwave absorber) เนื่องจากว่าการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำแข็งในสนามไมโครเวฟ (microwave field) นั้นเป็นไปได้น้อยมาก

3.1.3 การตรวจวัดการรั่วไหล (leakage detectors)

electro magnetic leakage survey meter คือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าของพลังงานที่รั่วไหลออกมา จากเตาอบไมโครเวฟ หรืออุปกรณ์ต่างๆในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับไมโครเวฟ

วิธีการวัดจะวัดที่ 915 MHz ในช่วง 10 ไมโครวัตต์ ถึง 200 มิลลิวัตต์ /ตารางเซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ
มีระยะการวัด 3 ช่วง 0-2, 0-10 และ 0-100 มิลลิวัตต์ /ตารางเซนติเมตร

3.1.4 ขั้นตอนการออกแบบระบบไมโครเวฟ (microwave system design step by step)

ในการที่จะออกแบบเครื่องไมโครเวฟนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆอย่างประกอบเข้าด้วยกัน วิศวกรไมโครเวฟจะต้องสามารถที่จะหาระบบที่เหมาะสมในการที่จะควบคุมพลังงานที่อาจจะรั่วไหลออกมา (energy leakage) ระบบจ่ายพลังงาน (supply system) ระบบสร้างพลังงาน (magnetron) รวมทั้งจะต้องคำนึงถึงวัสดุ และตัวโครงสร้างของเครื่องในการผลิตด้วย

ก่อนที่จะทำการออกแบบเครื่องไมโครเวฟ ควรจะต้องรู้ถึงสิ่งต่อไปนี้

1. ชนิดของกระบวนการ เช่น กระบวนการอบแห้งและกระบวนการให้ความร้อน เป็นต้น
2. ลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์
   - ก. องค์ประกอบต่างๆ
   - ข. ค่าของ ไดอิเล็กตริก
   - ค. ค่าความจุความร้อน
   - ง. อุณหภูมิเริ่มต้น
   - จ. อุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการ
   - ฉ. ความชื้นเริ่มต้น
   - ช. ความชื้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33987

ช. ขนาดและรูปร่าง(รวมทั้งโครงสร้างภายใน)

3. อัตราของกระบวนการผลิต

4. อุปกรณ์ช่วยอื่นๆที่ต้องใช้ เช่น ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบน้ำหล่อเย็นและ ระบบป้องกันการรั่วไหลของไมโครเวฟ

ขั้นตอนง่ายๆในการออกแบบ

1. กำหนดค่าต่างๆ

ก. พลังงานของไมโครเวฟ

ข. อุณหภูมิ และความชื้น

ค. จำเป็นต้องมีการปรับสภาพก่อนหรือหลัง หรือไม่

2. การออกแบบ

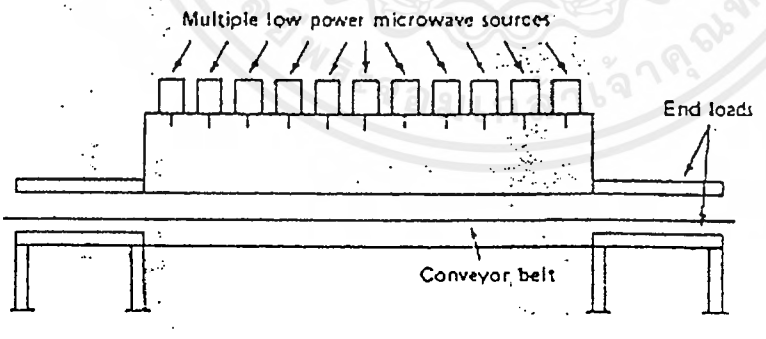
ก. ออกแบบระบบควบคุม

ข. ระบบความเย็น

ค. ระบบคลื่นไมโครเวฟ (wave guide, isolators)

ง. ระบบของแหล่งพลังงาน

จ. ระบบความปลอดภัยต่างๆ (ป้องกันการรั่วไหลของพลังงาน)



รูปที่ 3.4 ด้านข้างของเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าใช้จ่ายต่างๆที่ต้องใช้

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการสร้างเครื่องไมโครเวฟเป็นการลงทุนที่สูง แต่ถ้ามองในระยะยาวแล้ว ระบบไมโครเวฟนั้นถือว่าเป็นระบบๆหนึ่ง ที่เหมาะสมต่อกระบวนการในประเภทต่าง ๆ ในด้านของค่าใช้จ่าย เพราะว่าค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานนั้นไม่ค่อยสูงนัก

ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (capital cost) ก็คือ ค่าของอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ รวมกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และประกอบ ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า หลอดกำเนิดคลื่น และระบบควบคุม ซึ่งโดยทั่วๆไปจะประมาณ 3000 ดอลลาร์ต่อกิโลวัตต์

2. ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน (operating cost) จะรวมค่าพลังงานที่ต้องใช้ รวมกับค่าบำรุงรักษาเครื่อง

ข้อดีของระบบไมโครเวฟ

1. เวลาที่ใช้ในกระบวนการจะสั้นกว่าวิธีอื่น รวมทั้งระบบไมโครเวฟนั้นสามารถผลิต ผลิตภัณฑ์ได้ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าวิธีอื่น โดยไม่ต้องหยุดพักเครื่องเป็นระยะๆ จึงทำให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้ง่าย

2. ประสิทธิภาพสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจึงมีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นอน

3. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เพราะเป็นการทำงานที่สะอาดกว่า เมื่อเทียบกับวิธีอื่น โดยเฉพาะกับระบบที่ต้องใช้อุณหภูมิในการทำงานสูง

4. สามารถปรับปรุง เปลี่ยนแปลงไปใช้กับงานต่าง ๆ ได้หลายชนิด

5. สามารถนำไปใช้ในการปรับสภาพในการสกัด ลิกนิน เฮมิเซลูโลส เซลูโลส ได้ง่ายขึ้น

ข้อเสียของระบบไมโครเวฟ

1. ต้นทุนในการลงทุนสร้างเครื่องไมโครเวฟมีราคาสูง

2. อาจเกิดอันตรายจากการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

3.1.5 ส่วนประกอบพื้นฐาน ของเครื่องไมโครเวฟแบบตู้อบ(bacth)

เครื่องไมโครเวฟจะประกอบไปด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟที่จะสร้างความต่างศักย์ ที่จะนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ
2. the power tube หรือ เครื่องกำเนิด ที่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ไปเป็นพลังงานไมโครเวฟ
3. ส่วนที่ใช้ในการถ่ายเทพลังงานไมโครเวฟเข้าสู่เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการกระจายพลังงานให้สม่ำเสมอ
5. อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ
6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันการรั่วไหลของพลังงาน
7. ส่วนของระบบลำเลียงสาร (ถ้าเป็นแบบต่อเนื่อง)

3.2 สารไดอิเล็กตริก

สารที่สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ เรียกว่า สารไดอิเล็กตริก ซึ่งความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟนี้จะบอกโดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงแสดงว่าสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดี โดยที่สารแต่ละชนิดนั้นก็จะมีค่าของการดูดกลืนที่แตกต่างกันตามชนิดของสาร สถานะ และประจุของสารดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารบางชนิด

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
อากาศ	1.00
เทฟรอน	2.10
โพลีเอทิลีน	2.25
ไม้บัลซ่า	1.30
หิมะ	1.20
น้ำกลั่น	76.70
กรดอะซิติก	6.20
กลีเซอรีน	39.00
เมทานอล	30.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การแยกองค์ประกอบหลักของพืช โดยวิธีการต่าง ๆ ที่มีมาก่อน

องค์ประกอบพื้นฐานของไม้ คือ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยที่ผนังเซลล์ของไม้จะถูกปกคลุมด้วยลิกนิน ซึ่งลิกนินเป็นอุปสรรคในการย่อยสลายเนื่องจากมีมวลโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างที่แข็งแรง ดังนั้นการนำเซลล์พืช มาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสารป้อนให้กับกระบวนการทางเคมีจึงเป็นไปได้ยาก ถ้าไม่มีการนำเอาลิกนินออกจากเซลล์ของไม้ก่อน ดังนั้นก่อนที่เอนไซม์จะทำการไฮโดรไลซีสวัสดุที่มีองค์ประกอบจากเซลล์พืช จะต้องทำการปรับสภาพเบื้องต้นเพื่อให้สารประกอบของลิกโนเซลลูโลสิกสามารถถูกเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายขึ้น กระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็นวิธีการทางกายภาพ ทางเคมี ทางชีวภาพ หรือการนำเอากระบวนการต่าง ๆ ทั้งสามมาใช้ประกอบกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างวิธีการในการปรับสภาพของเซลล์พืช ก่อนทำการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ (Dunlop et al. , 1976)

วิธีทางกายภาพ	วิธีทางเคมี	วิธีทางชีววิทยา	การนำวิธีต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน
การใช้ไอน้ำ (steaming)	การใช้กรดไฮโดรคลอริก	การใช้เอนไซม์ (white rot)	การระเบิดโดยไอน้ำ (steam explosion)
การแผ่รังสี (radiation)	การใช้กรดซัลฟูริก	การใช้ฟังไจ (funji)	การบดที่อุณหภูมิสูง
การบด	การใช้กรดฟอสฟอริก		การใช้ไนโตรเจนไดออกไซด์ และการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่นำมาทำการปรับสภาพเบื้องต้น ต้องอยู่ในสภาพซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย คือมีขนาดเล็กเพียงพอ เช่นเป็นแผ่นไม้ขนาดเล็ก หรือเป็นผงไม้ เป็นต้น

การปรับสภาพเบื้องต้นของเซลล์พืชมีความจำเป็นที่จะต้องทำก่อนการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ เนื่องจากการทำงานของเซลลูเลสในการย่อยเซลลูโลสไม่สามารถทำได้เต็มที่ ซึ่งถูกตัวยับยั้งโดยผลทางเคมีและทางกายภาพของเซลล์พืช

เนื่องจากวิธีการทำปรับสภาพเบื้องต้นมีหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 วิธีหลัก ๆ คือ

1. การใช้ไอน้ำความดันสูง (high-pressure steaming pretreatment)
2. การใช้คลื่นไมโครเวฟ

4.1 การปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำความดันสูง (high pressure steaming pretreatment)

การปรับสภาพเบื้องต้นของไม้ได้มีการศึกษามาเป็นเวลานาน โดยวิธีที่นิยมคือการใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิสูง โดยมีชื่อเรียกว่า กระบวนการ Masonite *(Koran et.al. , 1978)* เพื่อผลิตไฟเบอร์บอร์ด ในกระบวนการนี้แผ่นไม้จะถูกบรรจุอยู่ในถังซึ่งมีความดันเรียกว่า เครื่องย่อย (digester) และผ่านไอน้ำเข้าไปเป็นเวลาสั้น ๆ ประมาณ 20 วินาทีถึง 20 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 200-270 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสูงประมาณ 14-60 kg/cm^2 จากนั้นทำให้ความดันภายในเครื่องย่อยลดลงอย่างรวดเร็วโดยการเปิดวาล์วของไอน้ำให้ความดันภายในเครื่องย่อยลดลงอยู่ที่ความดันบรรยากาศ จึงทำให้เกิดการระเบิดขึ้น ดังนั้นแผ่นไม้ที่บรรจุอยู่ในเครื่องย่อยจึงถูกแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ วิธีการในการปรับสภาพเบื้องต้นของไม้มีวิธีการแตกต่างกันไปหลายวิธีด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึง

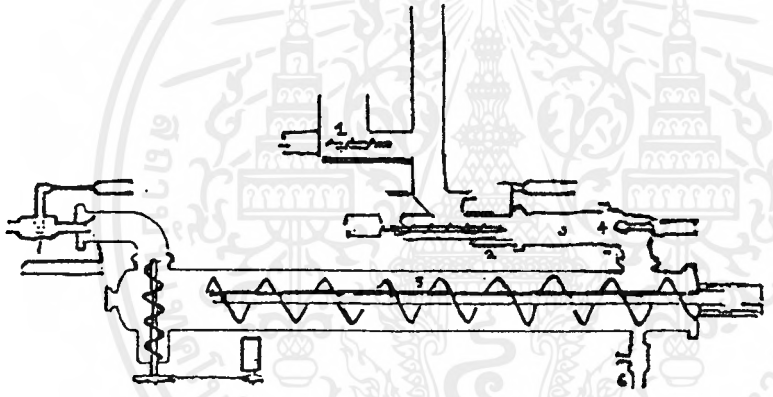
1. batch-type device
2. serial-type device

ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กระบวนการแบบปิดของไอโอเทค (batch-type device)

กระบวนการนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปี 1975 โดยบริษัทแคนาดา ดังรูปที่ 4.1 ในขั้นตอนการปรับสภาพเบื้องต้นนี้แผ่นไม้จะถูกบรรจุอยู่ในเครื่องย่อยซึ่งมีความดันสูง และมีการฉีดไอน้ำเข้ามาจากเครื่องต้มน้ำ หลังจากการปรับสภาพผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง วาล์วของไอน้ำจะถูกเปิดขึ้นทันที ทำให้เกิดการระเหยอย่างรวดเร็วของน้ำทำให้เกิดการขยายตัวของเซลล์พืชขึ้น หลังจากนั้นแผ่นไม้ที่ผ่านการ ปรับสภาพ แล้วจะถูกส่งไปเก็บไว้ยังถังเก็บโดยผ่านท่อนอซเชิล ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างของเครื่องย่อย เครื่องมือชนิดนี้แสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



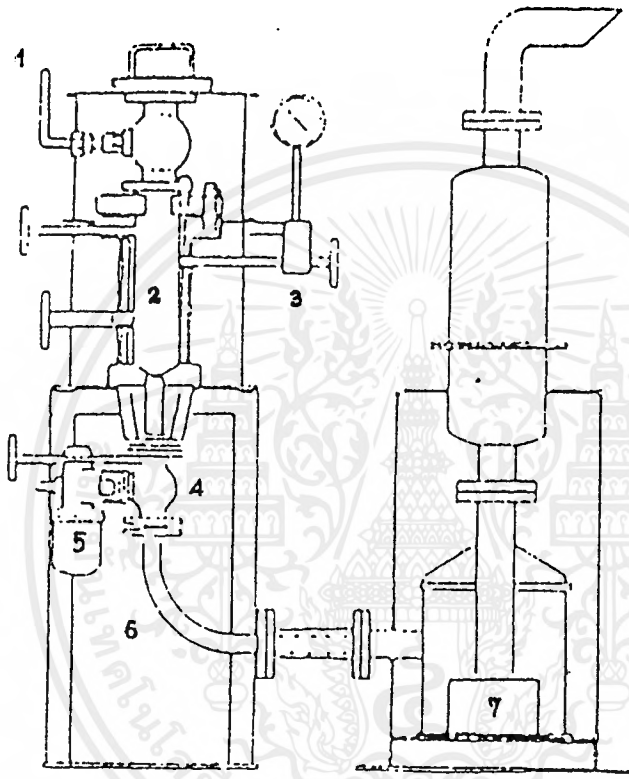
รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์แบบปิดในการระเบิดไม้ด้วยไอน้ำ

1. *วาล์วทางเข้าของวัตถุดิบ*
2. *เครื่องย่อย*
3. *วาล์วไอน้ำ*
4. *วาล์วเปา*
5. *วาล์วแม่เหล็กไฟฟ้า*
6. *นอซเซิลแบบเปา*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการแบบต่อเนื่องของสเต็ก (serial-type device)

กระบวนการนี้คิดค้นขึ้นโดยชาวแคนาดาเช่นเดียวกับกระบวนการแรก ขั้นตอนการปรับสภาพต่างกันที่อุปกรณ์นี้จะทำงานอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือชนิดนี้มีหลักการทำงานดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์แบบต่อเนื่องในการระเบิดด้วยไอน้ำของไม้

1. ทางเข้าของวัตถุดิบ
2. อุปกรณ์เพิ่มความดัน
3. ถังภายใต้ความดัน
4. เครื่องแยก
5. เครื่องย่อย
6. วาล์วไอน้ำ
7. วาล์วเป่า

แผ่นไม้จะถูกป้อนเข้าทางเครื่องป้อน (hopper) และถูกกดอัดเพื่อเพิ่มแรงดันที่ตำแหน่งที่ 3 จากนั้นจะส่งไปยังเครื่องย่อย (5) ความดันภายในเครื่องย่อยสามารถเพิ่มขึ้นได้สูงถึง 30 atm โดยที่ไอน้ำจะถูกฉีดเข้าไปทางวาล์วของไอน้ำ (6) เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดการระเบิดของแผ่นไม้ภายในเครื่องย่อยถูกควบคุมโดยความเร็วรอบของตัวสกรู เมื่อสารป้อนเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของสกรูผ่านมาจนถึง (7) ก็จะส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปยังถังเก็บต่อไป ขั้นตอนในการ ปรับสภาพ นี้จะดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง โดยวิธีการนี้สามารถผลิตได้ในอัตรา 6360 kg/h

จากการทำการทดลองปรับสภาพเบื้องต้นเซลล์พืชชนิดหนึ่ง คือ white birch ในช่วงเวลา 1-4 นาที ภายใต้ความดัน 28 kg/cm^2 พบว่าเกิดการแตกของโครงสร้างของเซลล์พืชเป็นสัดส่วนกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินกระบวนการและปริมาณลิกนินที่ถูกนำออกมาจากผนังเซลล์ เมื่อกระบวนการดำเนินไปเป็นเวลา 8 นาทีหรือมากกว่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชเพิ่มมากขึ้น ส่วนในกรณีของ Japanese larch การระเบิดของเซลล์พืชจะทำให้เซลล์พืชมีขนาดเล็กลงเป็นชิ้นเล็ก ๆ

สภาวะมาตรฐานที่ใช้ในการทำการทดลองของทั้งสองกระบวนการสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาวะมาตรฐานในการระเบิดด้วยไอน้ำ

กระบวนการ	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (kg/cm^2)
กระบวนการของไอโอเทค	0.3-1.3	210-240	38.5-52.0
กระบวนการของสเต็ก	5-20	200-210	14.8-17.6

ในการศึกษาถึงโครงสร้างของเซลล์พืชที่ผ่านการปรับสภาพ แล้วพบว่ามีการแตกของผนังเซลล์ของไม้เกิดขึ้น ลิกนินมีมวลโมเลกุลลดลง มีโครงสร้างที่อ่อนลงจากเดิมและบางส่วนของลิกนินแยกตัวออกมาจากผนังเซลล์ นอกจากนี้เฮมิเซลลูโลสยังถูกไฮโดรไลซ์อีกด้วย ลิกนินบางส่วนที่ถูกแตกสลายจะแยกตัวออกมาจากผนังเซลล์อยู่ในรูปของน้ำมันจากปรากฏการณ์นี้ทำให้โครงสร้างของเซลล์อ่อนและเปราะลง สามารถที่จะเกิดเป็นเซลลูโลสไมโครไฟบริลได้ เมื่อนำมาตรวจดูโครงสร้างของไม้หลังจากการปรับสภาพแล้วพบว่า ความกว้างของไมโครไฟบริลมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เซลลูโลสที่ได้จากทำการระเบิดด้วยไอน้ำจะมีโครงสร้างเป็นผลึกแบบที่ 1

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของเซลล์พืช มีดังนี้คือ

1. เฮมิเซลลูโลส

จากการระเบิดด้วยไอน้ำจะทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์ของเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจะถูกแตกออกเป็นส่วนที่มีมวลโมเลกุลลดลงทำให้ง่ายต่อการสกัดออกจากกันได้ ส่วนที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่จะเป็นเฮมิเซลลูโลส ทำให้สามารถเอาเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลล์พืชได้โดยการสกัดด้วยน้ำ ในขณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกนินมวลโมเลกุลเล็ก ๆ บางส่วนก็อาจละลายและถูกสกัดออกด้วยน้ำได้เช่นกัน จากการทำการศึกษาที่ความดันของการระเบิด 28 kg/cm^2 เป็นเวลา 4 นาที สารที่สกัดออกมาได้ส่วนใหญ่เป็น โมโนแซคคาไรด์ สำหรับกรณีที่เป็น white birch ส่วนที่สกัดได้ส่วนใหญ่จะเป็นไซโลส 55% ที่เหลือเป็น อะราบิโนส แรมโนส แมนโนส กาแลคโตส และกลูโคส

2. ลิกนิน

อัตราการแตกสลายของลิกนินมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแตกสลายของเฮมิเซลลูโลส ลิกนินสามารถละลายได้ในเมทานอล ดังนั้นในการสกัดลิกนินออกจากส่วนที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว สามารถทำได้โดยสกัดด้วยเมทานอล จากการศึกษาพบว่าจะมีลิกนินละลายอยู่เพิ่มมากขึ้นในเมทานอล ถ้าเพิ่มเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำ และปริมาณลิกนินที่ละลายในเมทานอลนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการทดลองที่ 28 kg/cm^2 เป็นเวลา 8 นาที นอกจากนี้มวลโมเลกุลของลิกนินจะมีค่าลดลงเมื่อทำการปรับสภาพนานขึ้น กรณีของ white birch มีมวลโมเลกุลของลิกนินลดลงอยู่ในช่วง 2200-1100 ทั้งนี้เนื่องจากมีการแตกของพันธะของโมเลกุลเกิดขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการทำ ปรับสภาพ ขึ้นเป็น 16 นาทีหรือมากกว่า พบว่าปริมาณลิกนินที่ละลายอยู่ในเมทานอลมีค่าลดลง เชื่อว่าเป็นเพราะลิกนินมวลโมเลกุลต่ำที่เกิดขึ้นระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำจะเริ่มรวมตัวกันอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นในสภาวะที่เป็นกรด

3. เซลลูโลส

หลังจากทำการระเบิดด้วยไอน้ำและสกัดเอาส่วนที่ละลายน้ำและส่วนที่ละลายในเมทานอลออกไปแล้ว จะได้เซลลูโลสเป็นเหมือนกากที่เหลือจากการสกัด และแม้ว่าความเป็นโพลีเมอร์ของเซลลูโลสจะมีค่าลดลง แต่ก็ยังไม่มีการแตกสลายลงถึงขั้นที่เป็นโมโนแซคคาไรด์เกิดขึ้น สามารถผลิตเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกลดลงได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำของแผ่นไม้ขนาดเล็ก

ในการระเบิดไม้ด้วยไอน้ำทำให้เฮมิเซลลูโลสในไม้ถูกไฮโดรไลซ์และพันธะภายในโครงสร้างของลิกนินและโพลีแซคคาไรด์ถูกแตกออก ซึ่งเป็นประโยชน์ในการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสต่อไป

พบว่าอัตราการเกิดแซคคาไรด์ของไม้เนื้ออ่อนจะต่ำกว่าไม้เนื้อแข็ง เชื่อว่าเป็นผลลัพธ์มาจากโครงสร้างของลิกนินที่มีในไม้เนื้ออ่อนจะมีมวลโมเลกุลสูงกว่าโครงสร้างของลิกนินที่มีอยู่ในไม้เนื้อแข็ง นอกจากนี้ ลิกนินในไม้เนื้ออ่อนยังสามารถรวมตัวกันได้ในสภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าลิกนินที่อยู่ในไม้เนื้อแข็ง ทำให้การแตกโมเลกุลของลิกนินในไม้เนื้ออ่อนทำได้ยากกว่าในกรณีของไม้เนื้อแข็ง

ตามปกติแล้วไม้ไม่สามารถย่อยได้สมบูรณ์ด้วยสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้องเช่น วัว ควาย แต่เมื่อทำการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อปรับสภาพ และสกัดแยกเอาลิกนินออกจากเซลล์พืชแล้ว ความสามารถในการย่อยโดยสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเซลล์พืชชนิดต่าง ๆ ก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ แล้วพบว่า มีคุณค่าทางอาหารต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

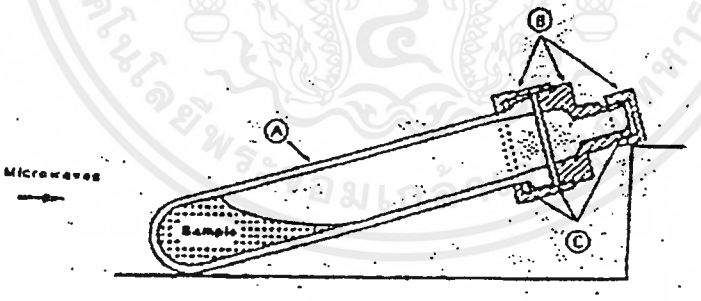
วิธีการที่จะปรับสภาพเพื่อช่วยในการไฮโดรไลซ์ของเอนไซม์โดยเปลี่ยนโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จากโพลีมอร์ไปเป็นโมโนเมอร์ของน้ำตาล ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นนั้น พบว่ามีอุปสรรคจากโครงสร้างของเซลล์พืช คือ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส ความเป็นผลึก ดีกรีของโพลีเมอไรเซชัน และพื้นที่ผิวของเซลล์พืชในการให้ เอนไซม์เข้าไปทำงาน

4.2 การปรับสภาพโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave pretreatment)

นอกจากการปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำความดันสูงแล้ว การปรับสภาพโดยคลื่นรังสีไมโครเวฟก็ได้รับความสนใจ เนื่องจากมีความยุ่งยากในการดำเนินการน้อยกว่าการระเบิดด้วยไอน้ำ ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่ทำการทดลองปรับสภาพเซลล์พืชโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแบบปิด (ทำภายในหลอดทดลอง) มีนักวิจัย 2 กลุ่มได้ทำการศึกษาไว้ คือ Azuma (1984) และ Ooshima (1986)

4.2.1 การทดลองของ Azuma , J.I. (1984)

ทำการทดลองใช้รังสีไมโครเวฟในการปรับสภาพแบบปิดลักษณะคล้ายเตาอบไมโครเวฟ โดยแช่สารตัวอย่าง ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวซึ่งทำการบดให้มีขนาด 60-80 mesh ในหลอดแก้วที่บรรจุน้ำปริมาณต่างๆ เพื่อศึกษาผลของวัสดุต่างๆ ปริมาณน้ำ เวลา และอุณหภูมิ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.3 การปรับสภาพโดยใช้คลื่นไมโครเวฟของ Azuma (1984)

Azuma และคณะได้ใช้คลื่นไมโครเวฟพลังงาน 2.4 กิโลวัตต์ ความถี่ 2,450±50 MHz ในการปรับสภาพโดยใส่วัสดุผสมน้ำปริมาณมากเกินพอลงในหลอดแก้ว 50 มิลลิลิตร ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำให้ระบบมีอุณหภูมิสูงที่ 230 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 นาที (ช่วงนี้ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก) จากนั้นทำการแยกองค์ประกอบที่มีเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่โดยใช้น้ำ ส่วนที่เหลือนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยก โดยแช่ใน 90% ไดออกเซนหรือเมทานอล 24 ชั่วโมง จะได้องค์ประกอบที่มีลิกนินเป็นส่วนใหญ่ละลายอยู่ นำไปทำให้บริสุทธิ์แล้วนำไปวิเคราะห์ จากนั้นนำส่วนที่เหลือจากการแยกโดยเมทานอลจะประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่นำไปย่อยโดยเอนไซม์เซลลูเลสจาก *Trichoderma Viride* ให้เป็นน้ำตาล โดยการใช้เอนไซม์ความเข้มข้นต่ำ 0.2% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้นสูง 10 % การวัดจะทำในรูปของมวลที่หายไป น้ำตาลรีดิวซ์ และ pH

Azuma และคณะ สรุปผลการทดลองว่า

1. ผลของการปรับสภาพด้วยไมโครเวฟต่อเฮมิเซลลูโลสจะเริ่มมีผลให้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นที่ 180-190 องศาเซลเซียสจนถึงช่วง 230 องศาเซลเซียส และลดลงที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ โดยจุดที่อุณหภูมิเหมาะสมต่อการแยกของเฮมิเซลลูโลสขึ้นกับชนิดของพืช เช่น ชานอ้อยมีค่า 227 องศาเซลเซียส

2. ผลของการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อการแยกลิกนินออกจากเซลล์พืช เริ่มต้นที่ประมาณ 180 องศาเซลเซียส พบว่าการแยกลิกนินออกให้ผลเกี่ยวข้องกับอัตราการเพิ่มขึ้นของส่วนที่ละลายน้ำ(เฮมิเซลลูโลส) ที่แยกได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำลายพันธะระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลสโดยสันนิษฐานว่าเกิดจากออโต้ไฮโดรไลซีส (autohydrolysis) ในลิกนินและเฮมิเซลลูโลสโดยมีกรดอะซิติกเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นเดียวกับวิธีการปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำ

3. ผลของโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสจะเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 230 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก

4. ผลการวัดปริมาณเซลลูโลสโดยเอนไซม์ในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์จะเริ่มต้นที่ 160 องศาเซลเซียส และสูงสุดที่ 223-228 องศาเซลเซียส ถ้าวัดในรูปของมวลที่หายไปจะปรากฏว่ามีค่าสูงสุดที่ 250 องศาเซลเซียสเนื่องจากที่ 230 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงเนื่องจากสามารถกลายไปอยู่ในรูปของเฟอร์ฟิวรัล

4.2.2 การทดลองของ H. Ooshima และคณะ (1984)

ทำการทดลองเช่นเดียวการทดลองกับ Azuma โดยวัสดุเป็นฟางข้าวและชานอ้อยที่ได้รับการบดให้มีขนาด 35 mesh โดยใช้เครื่องไมโครเวฟความถี่ 2,450 MHz เพื่อทำการวัดผลของปริมาณน้ำในระบบปิด เวลาที่ใช้ และอุณหภูมิ

Ooshima และคณะ สรุปผลการทดลองว่า

1. เมื่อทำการปรับสภาพชานอ้อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการย่อยโดยเอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จาก *Trichoderma viride.* ได้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น 1.6 เท่าจากเดิม

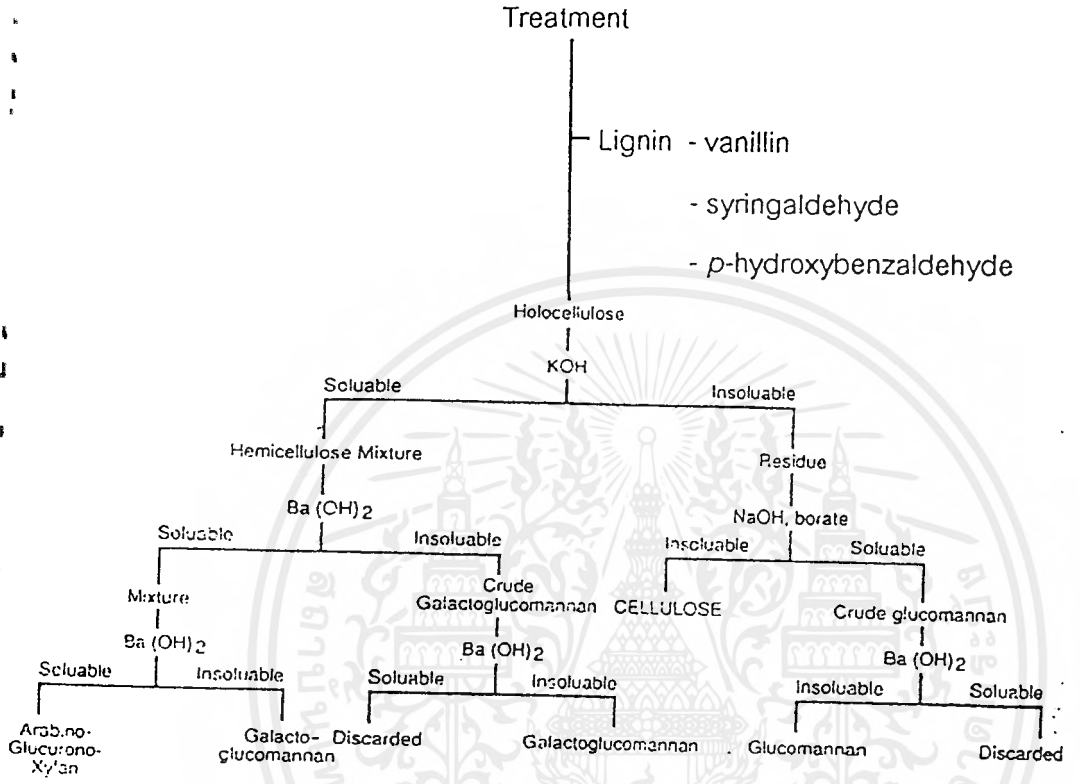
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การไฮโดรไลซิสใช้น้ำปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับปริมาตรของหลอดทดลอง ดังนั้น ปริมาณน้ำในหลอดทดลองจึงไม่มีผลต่อการปรับสภาพ (เป็นการเปลืองพลังงานของไมโครเวฟ แต่อาจมีผลในแง่การเพิ่มความดันให้ถึงจุดที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้)

3. ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 170 องศาเซลเซียสแทบไม่เกิดผลเนื่องจากการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ

4. ในการปรับสภาพที่อุณหภูมิคงที่จะมีเวลาที่เหมาะสมค่าหนึ่ง เนื่องจากเวลาที่มากเกินไปจะเกิดสารประกอบคาร์บอนไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ลำดับการแยกองค์ประกอบ และวิธีการในการแยก (Lewin , M. , 1991)

5.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสที่มีอยู่ในฟางข้าว

สกัดเฮมิเซลลูโลสออกโดยสารละลายอะซิติก-ไนตริก นำไปย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และทำปฏิกิริยาเป็นเฟอร์ฟิวรัลโดยฟีนอลและกรดซัลฟูริกเข้มข้น แล้วนำไปวัดความเข้มข้น

1. ชั่งน้ำหนักแห้งของวัสดุที่แน่นอน

2. เติมสารละลายกรดอะซิติก-ไนตริก (ภาคผนวก ข-1) แล้วนำไปรีฟลักซ์ 30 นาที เพื่อแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออก

3. ล้างตะกอนหลายๆครั้งและกรองตะกอนออก วัดน้ำหนักแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

4. นำตะกอนไปเติมกรดซัลฟูริก 67 % ลงไป 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารจากข้อ 4 มา 1 มิลลิลิตร เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

6. นำสารละลายที่เจือจางแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 5 มิลลิลิตร

7. นำสารตัวอย่างจากข้อ 6. 1 มิลลิลิตร เติมฟีนอล 5 % 1 มิลลิลิตรและกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 5 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยการจุ่มลงในน้ำแข็ง

8. นำไปหาความเข้มข้นโดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐาน

5.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

สกัดเฮมิเซลลูโลสออกโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไปทำปฏิกิริยาเป็นเฟอร์ฟิวรัลโดยกรดซัลฟูริกและกรดซัลฟูริกเข้มข้น นำไปวัดความเข้มข้น

1. ชั่งน้ำหนักแห้งของวัสดุที่แน่นอน

2. เติม 10 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 มิลลิลิตร ต้มที่ 100 ° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. นำสารละลายในข้อ 2 มาวิเคราะห์น้ำตาลโดยวิธี total sugar ตามข้อ 5.1.3

5.1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธี total sugar (วัฒนาชัย ปาลบ้านเกล็ด,2536)

วิธีการนี้จะวัดน้ำตาลได้ประมาณ 1-100 ไมโครกรัม และเป็นวิธีการที่รวดเร็วที่จะใช้วิเคราะห์หาปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดอย่างไม่เฉพาะเจาะจง ไม่ว่าน้ำตาลนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์ หรือน้ำตาลนิวทรัล ทั้งชนิดที่เป็นโมโนแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ ก็สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้ สารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ สารละลายฟีนอล 5% (w/v) กรดซัลฟูริกเข้มข้น 96% (w/v)

วิธีการทดลอง

1. นำสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล จำนวน 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง

2. เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตรลงในสารตัวอย่างในข้อ 1 เขย่าให้เข้ากัน

3. เติมกรดซัลฟูริก 5 มิลลิลิตรลงในสารละลายในข้อ 2 เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที

4. นำสารละลายในข้อ 3 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร เทียบกับแบลงก์ (แบลงก์ที่ใช้เป็นน้ำเปล่า แต่ในกรณีที่ฟางข้าวแช่ในกลีเซอรีนจะใช้แบลงก์เป็นกลีเซอรีนความเข้มข้น 4% (w/w))

5. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบหลักในฟางข้าว เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับปริมาณองค์ประกอบหลักของไม้เนื้ออ่อนชนิดอื่น ๆ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้าแล้ว *(Kollman mann , 1968)* และส่วนที่เป็นผลที่ได้จากการนำฟางข้าวไปผ่านคลื่นไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลอง มีดังต่อไปนี้ คือ

5.2.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบหลักของฟางข้าว

การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทั้งหลัก 3 ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกองค์ประกอบของการปรับสภาพและการย่อยสลาย แสดงดังข้อมูลดิบในภาคผนวก ง ตารางที่ ง-1 และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในไม้เนื้ออ่อนทั่วไปเป็นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบการหาปริมาณองค์ประกอบหลักในวัตถุดิบเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

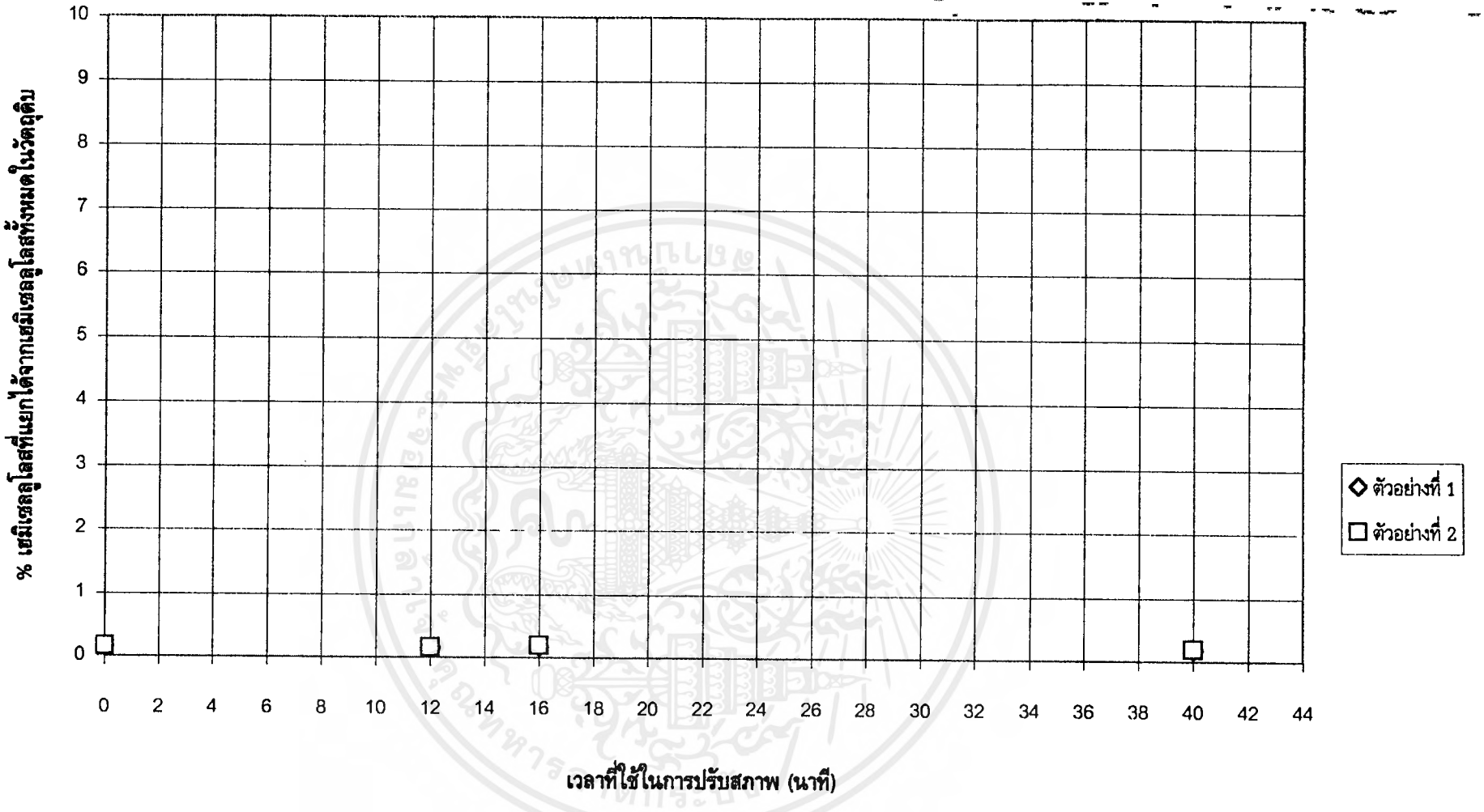
การหาองค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสต่อองค์ประกอบทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์ของเฮมิเซลลูโลสต่อองค์ประกอบทั้งหมด
เปอร์เซ็นต์ในไม้เนื้ออ่อนทั่วไป	42±2	25-35
เปอร์เซ็นต์ในฟางข้าวที่ได้จากการทดลอง	44	33.8

ส่วนที่เหลือเป็นลิกนิน และสารอื่นๆปริมาณเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานทั่วไปและผลการทดลองอยู่ในช่วงที่เชื่อถือได้

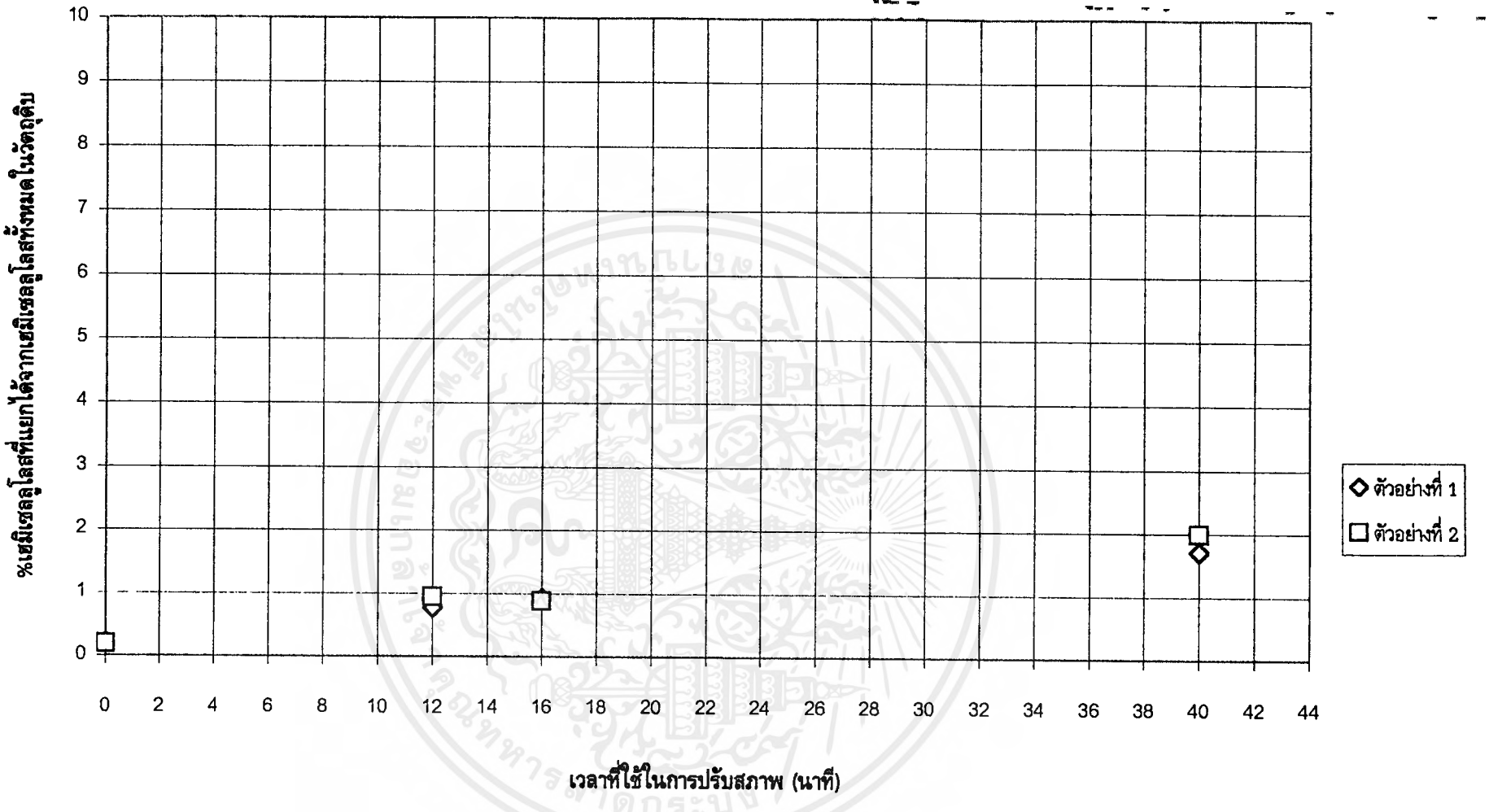
5.2.2 ผลการหาปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่แยกได้จากฟางข้าว เมื่อผ่านคลื่นไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ

ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเมื่อนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังภาคผนวก ง เมื่อนำมาพลอตเป็นกราฟระหว่างปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (โดยที่เวลาที่ 0 นาที หมายถึงฟางข้าวที่แช่ในสารละลายเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ผ่านเครื่องไมโครเวฟ) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.2 -5.17

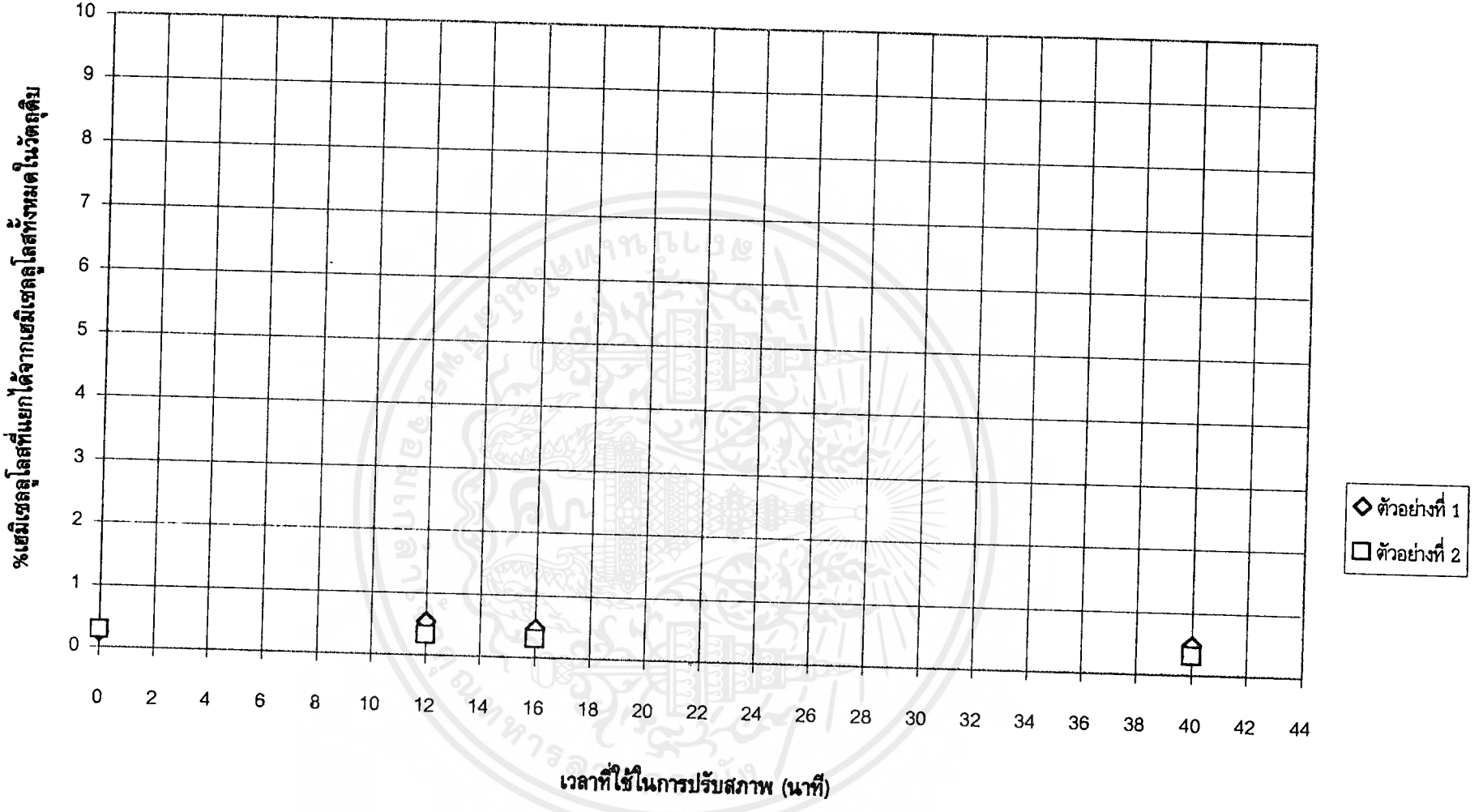
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



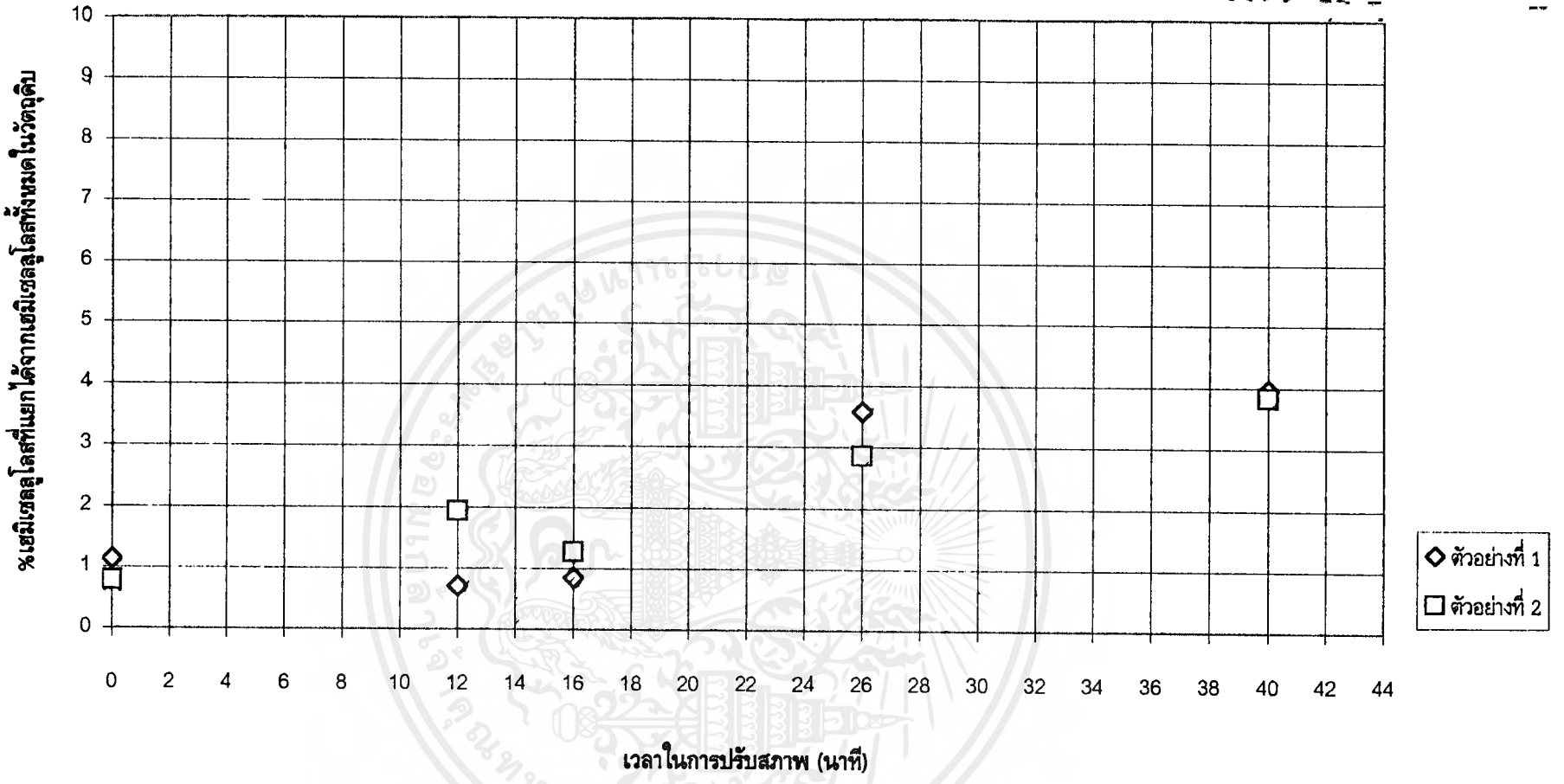
รูปที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



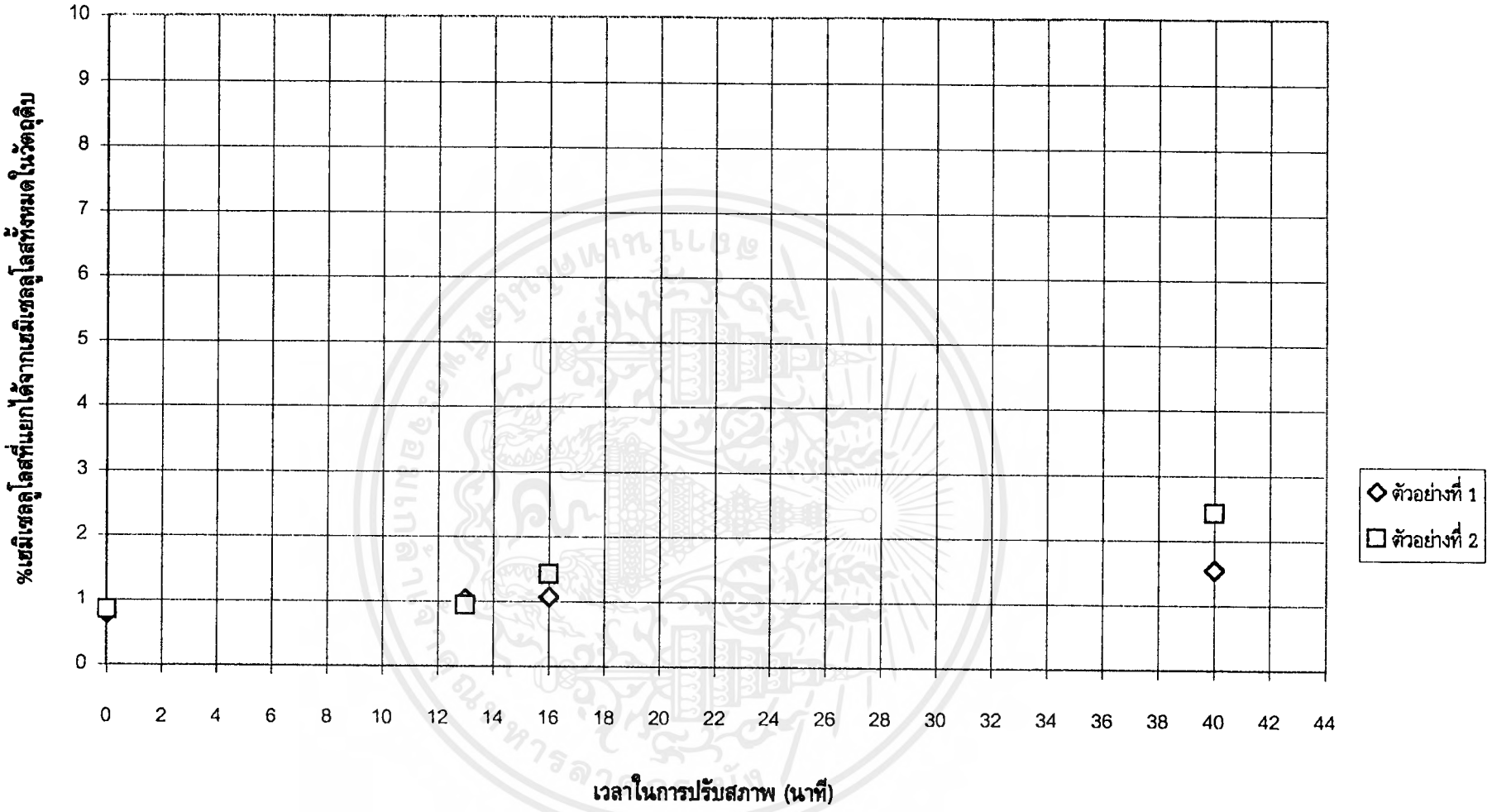
รูปที่ 5.3 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



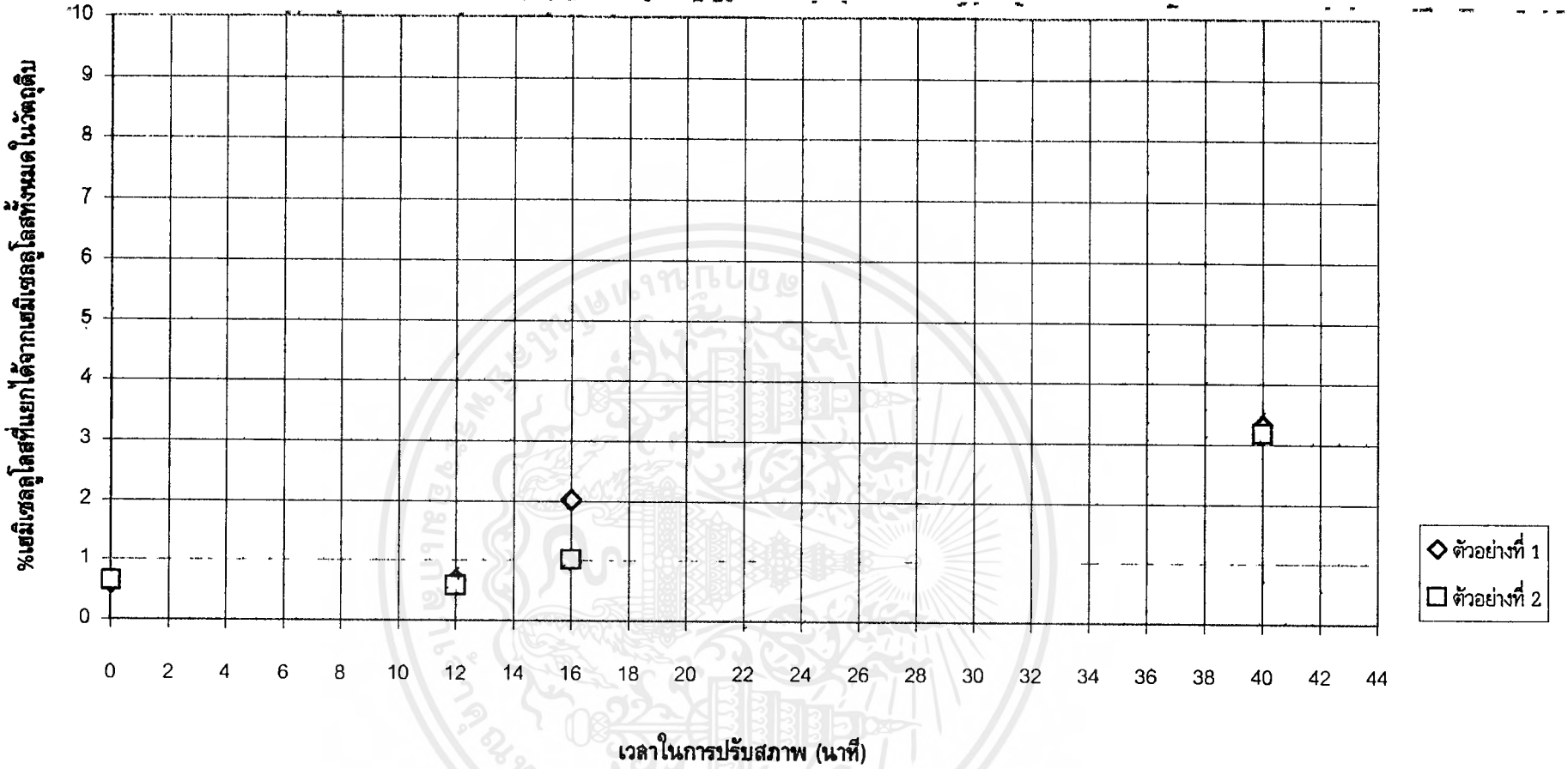
รูปที่ 5.4 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5%(w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



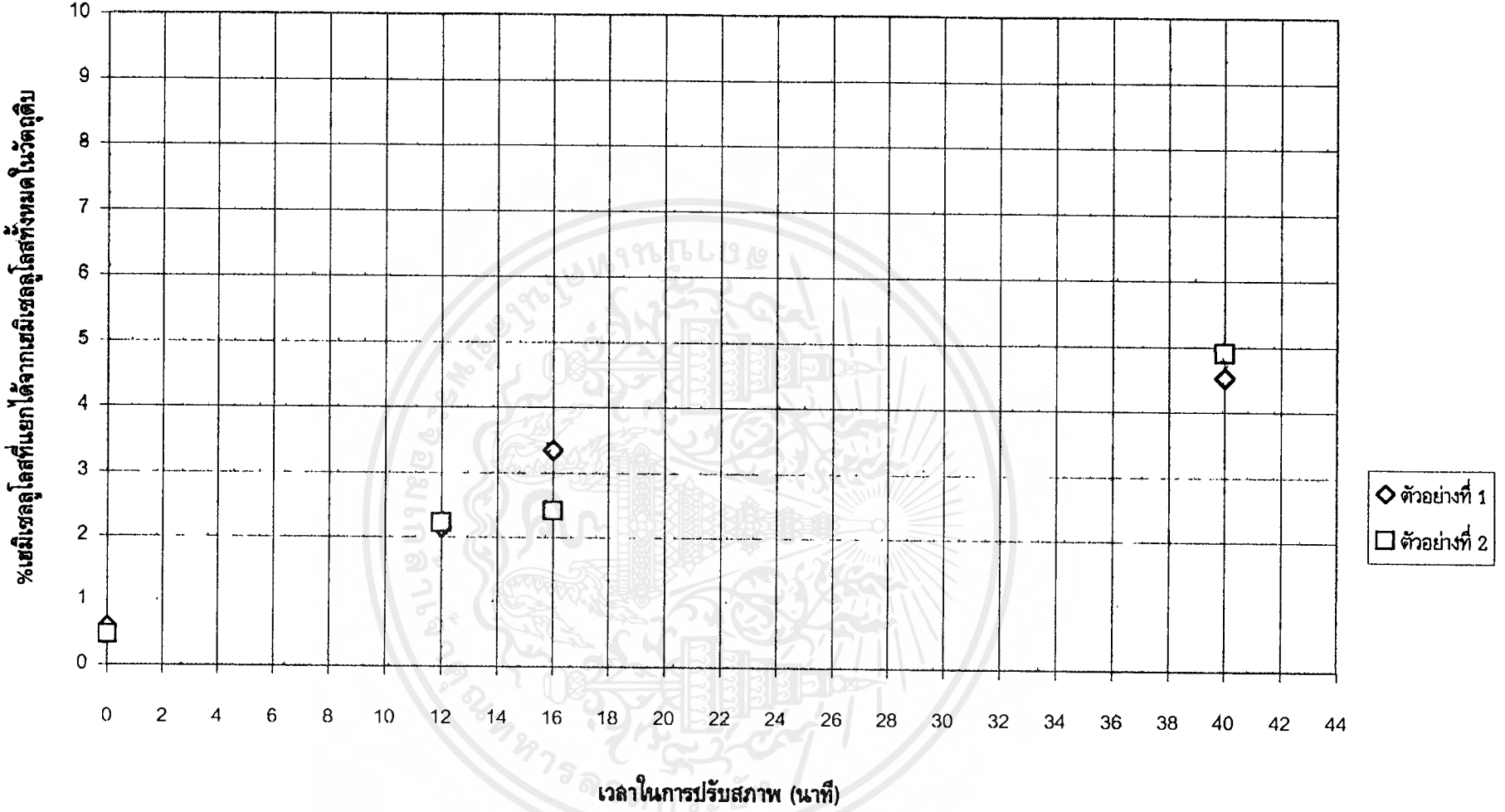
รูปที่ 5.5 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้นและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



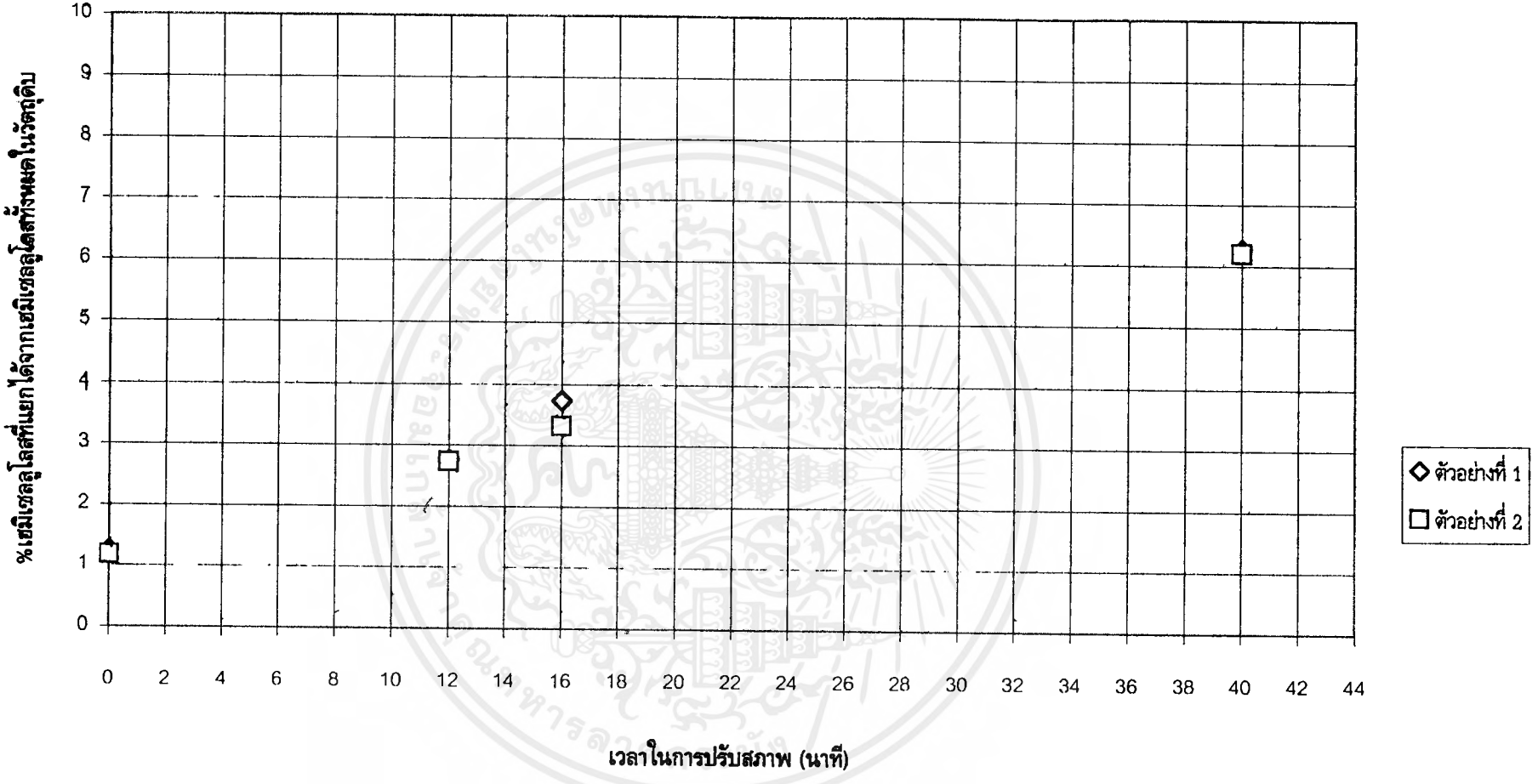
รูปที่ 5.6 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



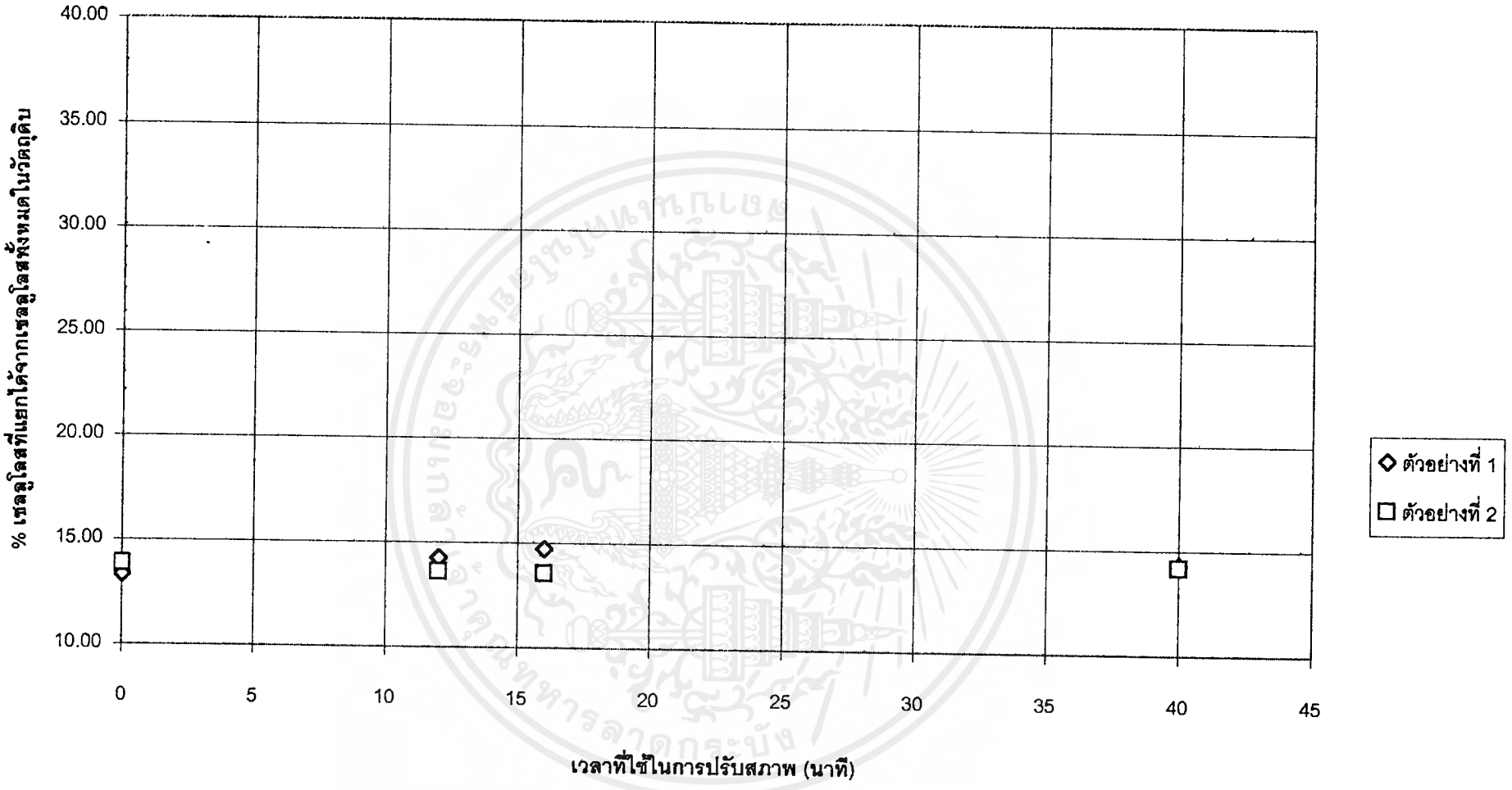
รูปที่ 5.7 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



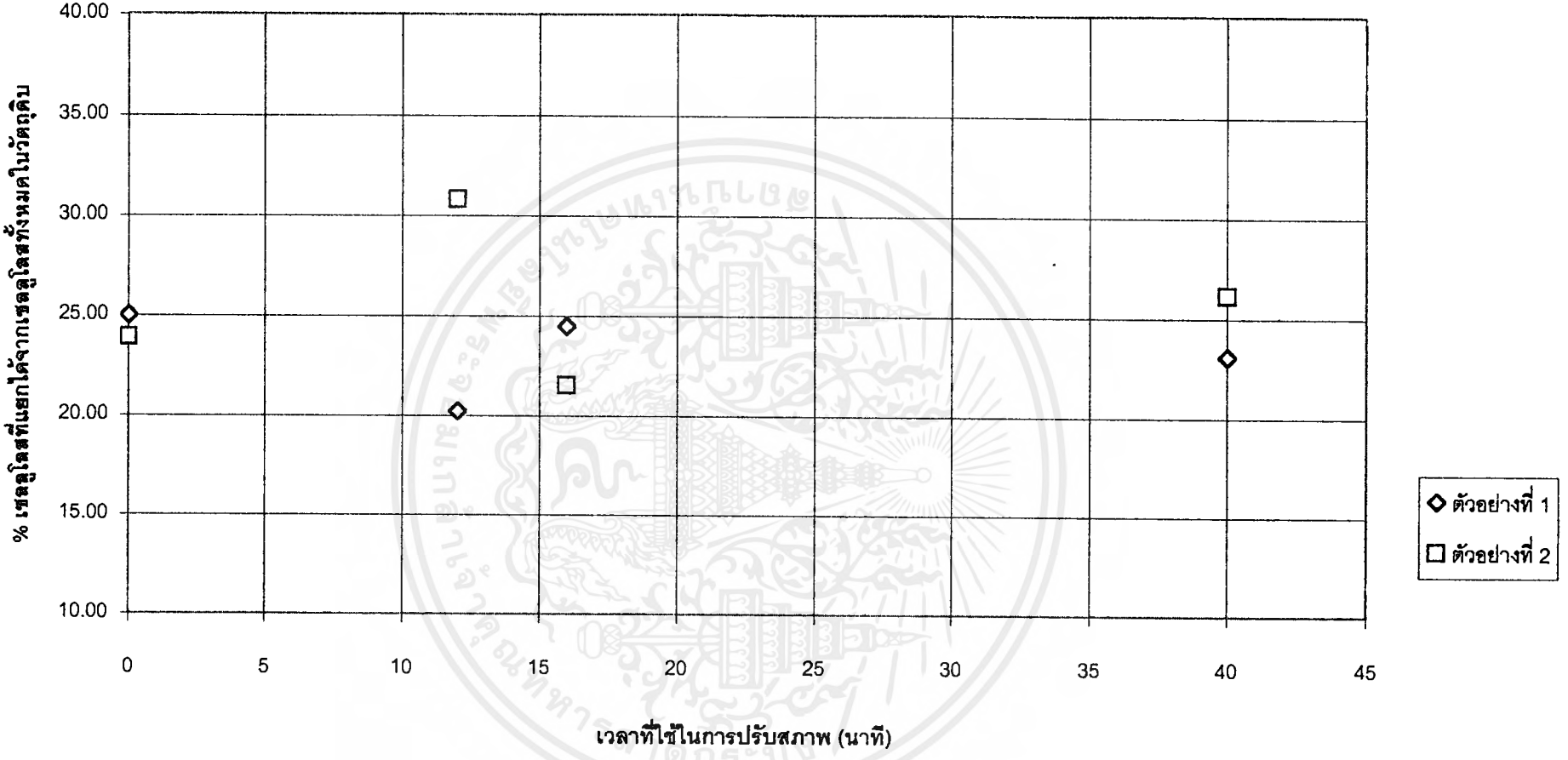
รูปที่ 5.8 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



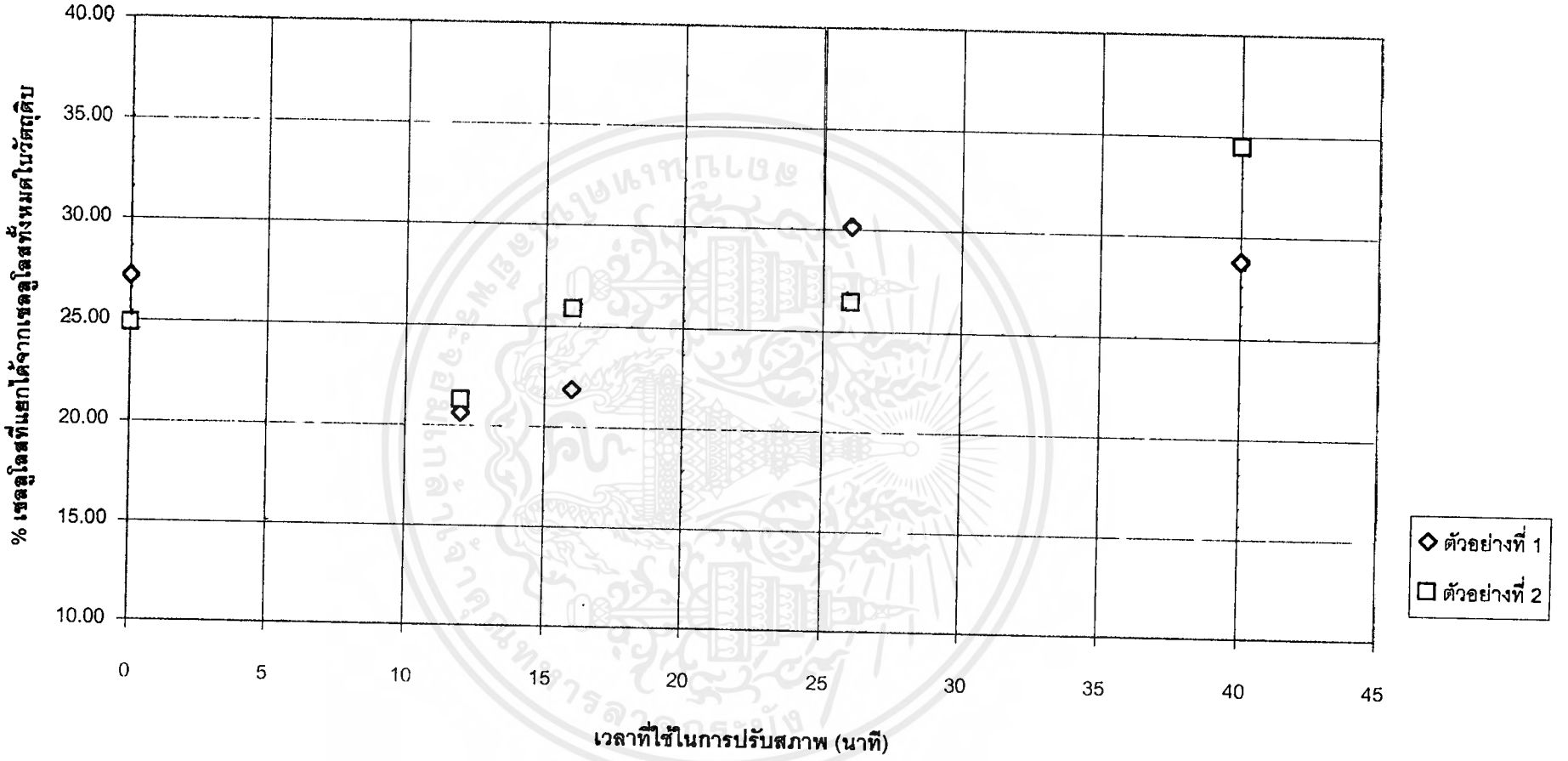
รูปที่ 5.9 เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีน ความเข้มข้น 47.62% (w/w)แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ



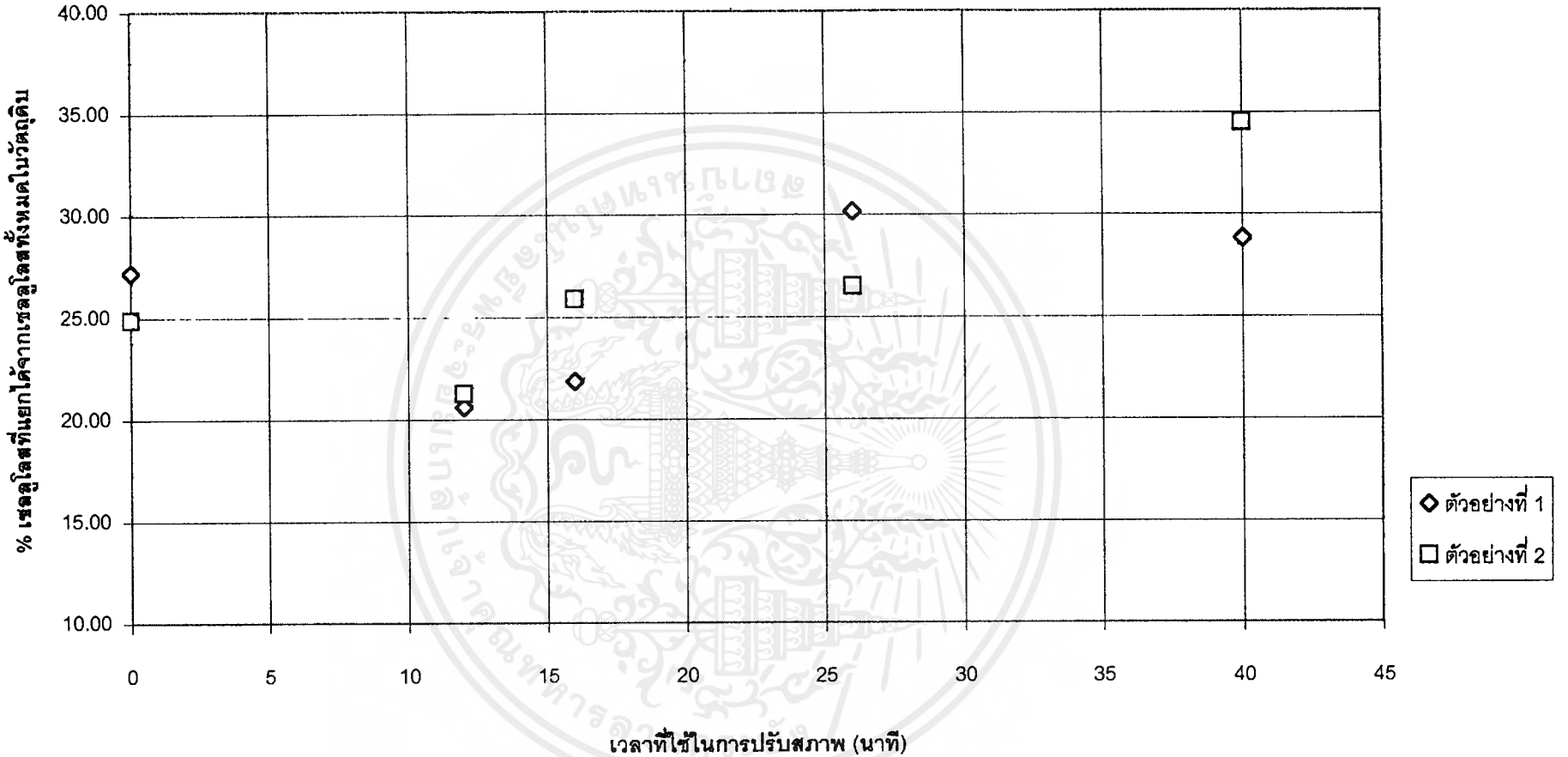
รูปที่ 5-10 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



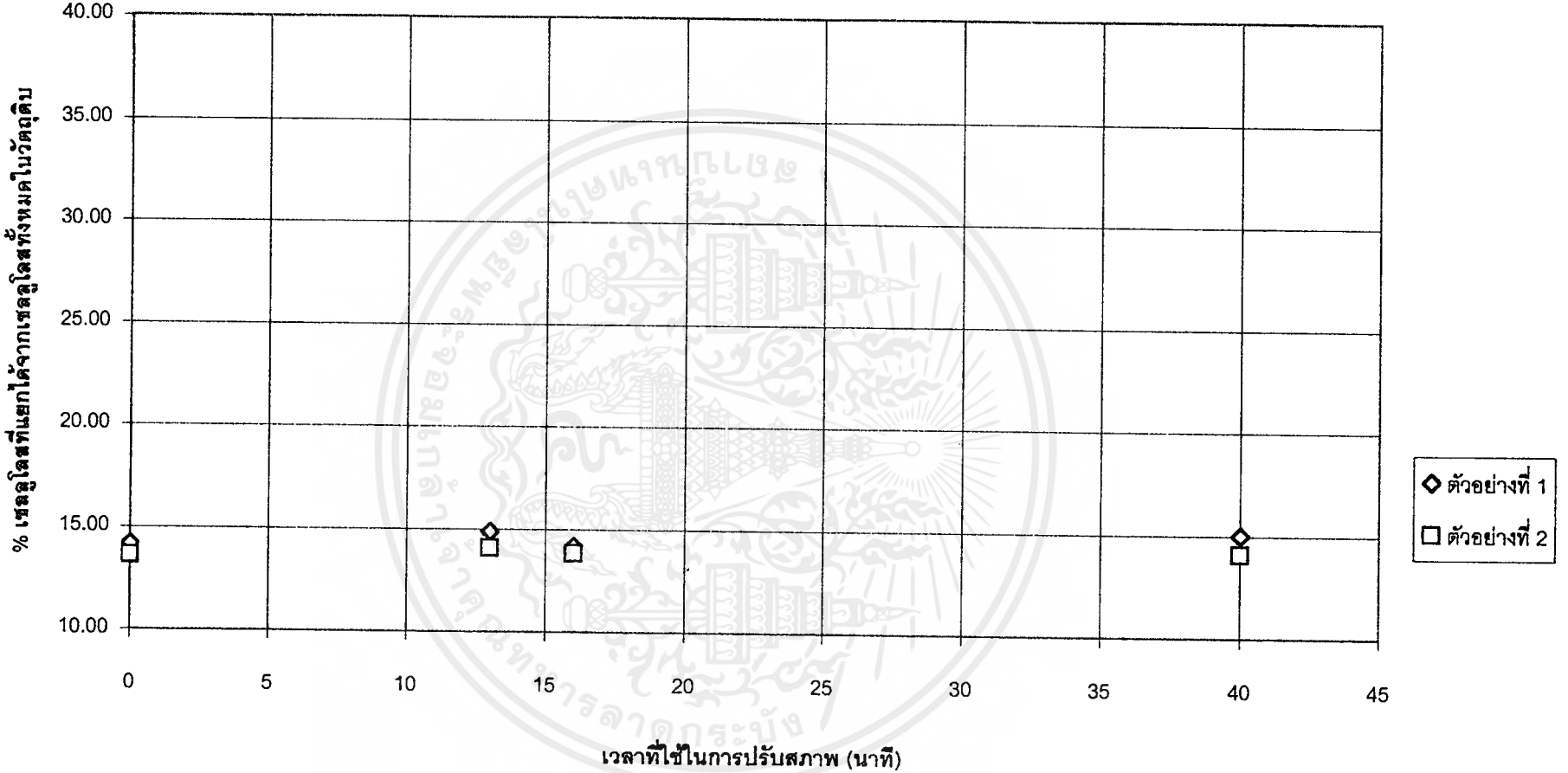
รูปที่ 5-11 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



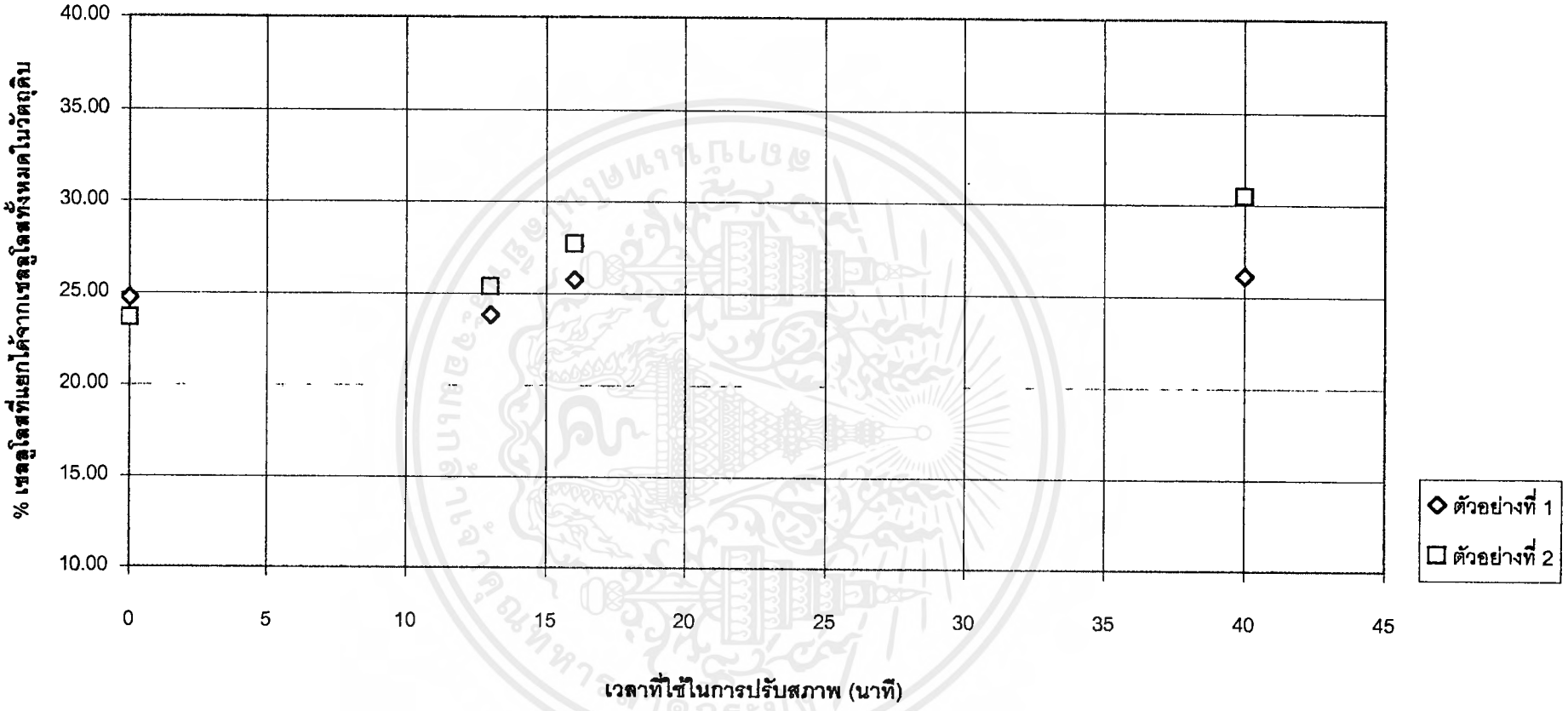
รูปที่ 5-12 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่เกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



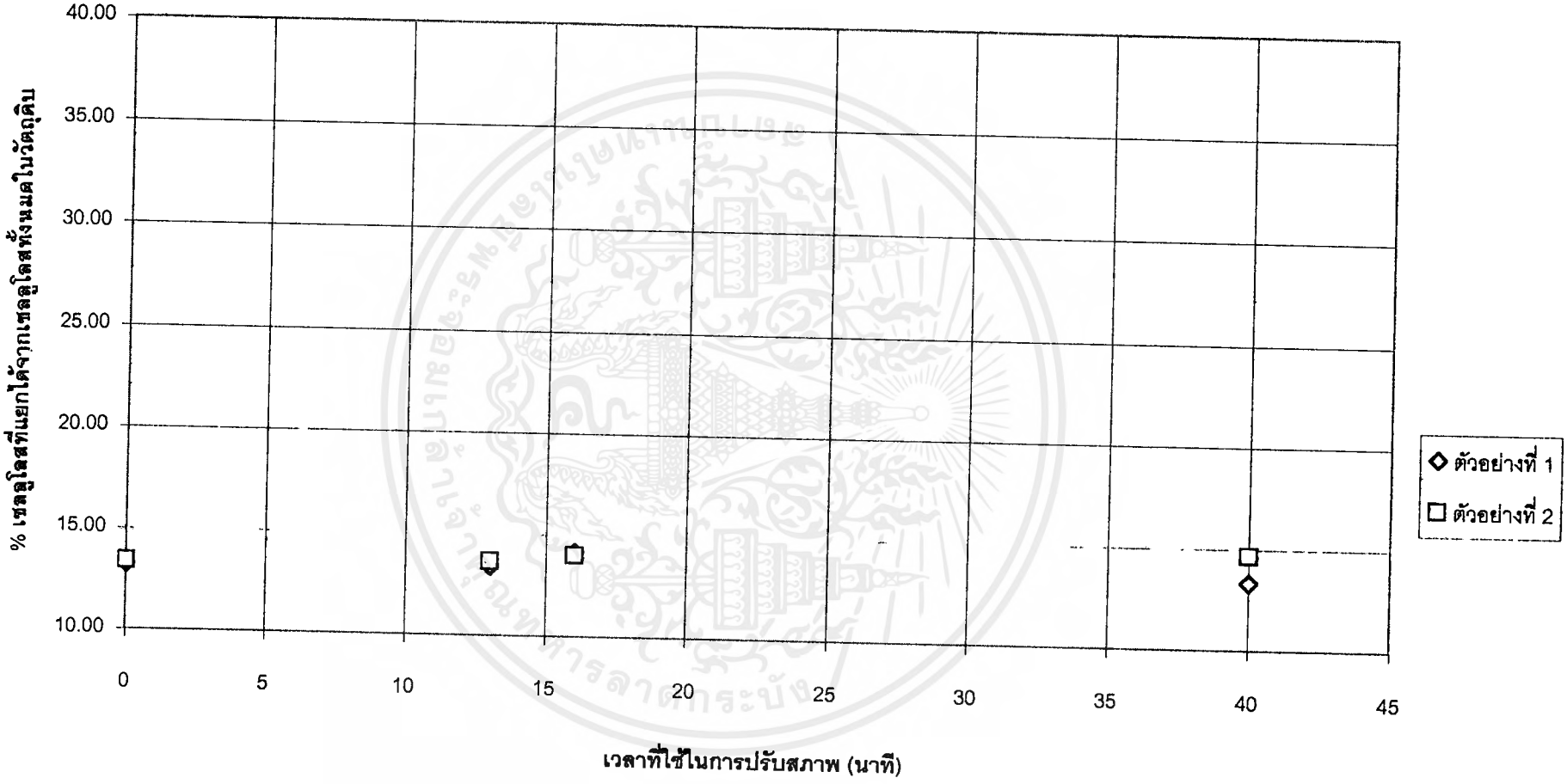
รูปที่ 5-13 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



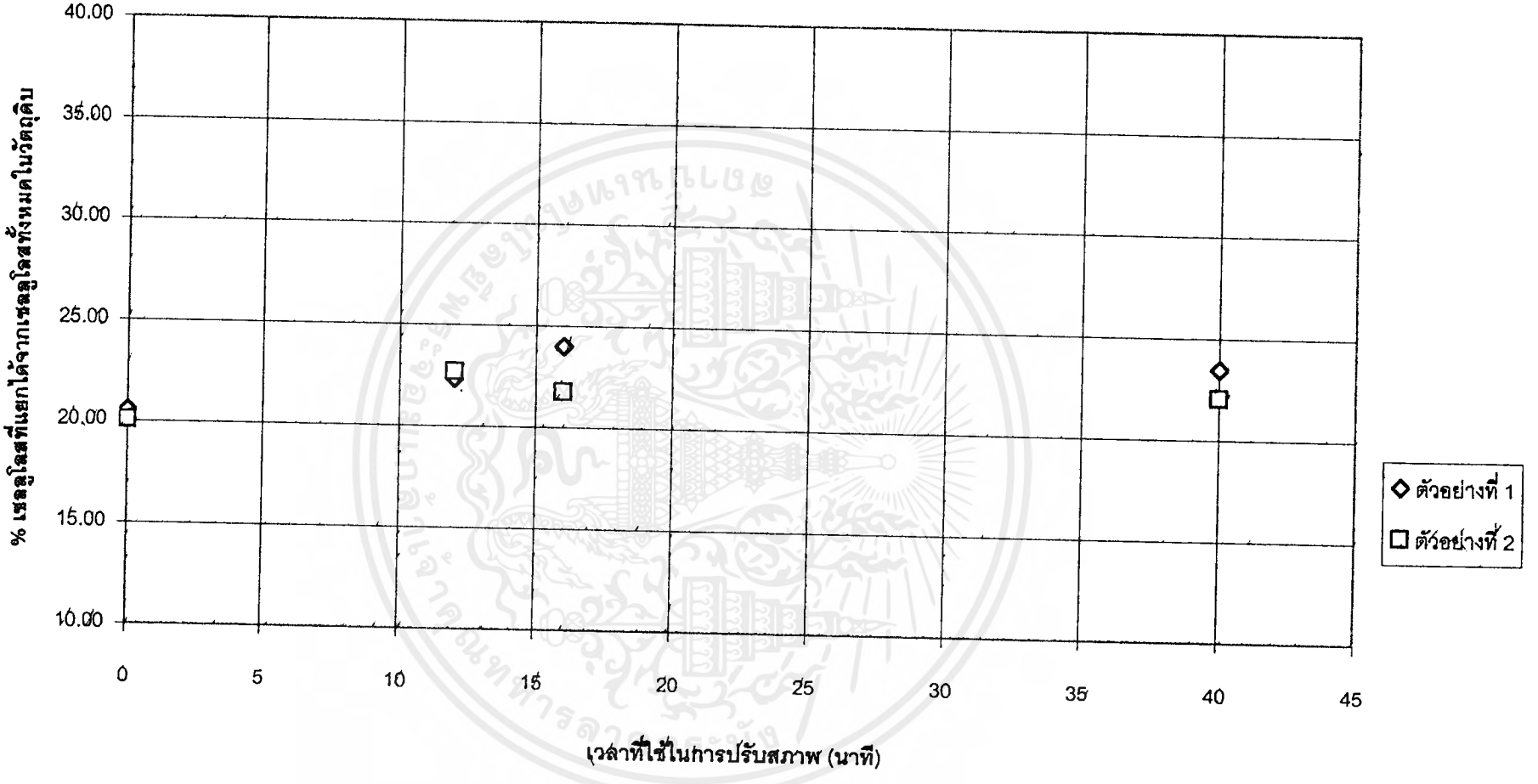
รูปที่ 5-14 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5-15 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5-16 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 5-17 เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) และกรดอะซิติก ความเข้มข้น 4.76%(w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ

บทที่ 6

สรุป วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการปรับสภาพด้วยการต้มรีฟลักซ์

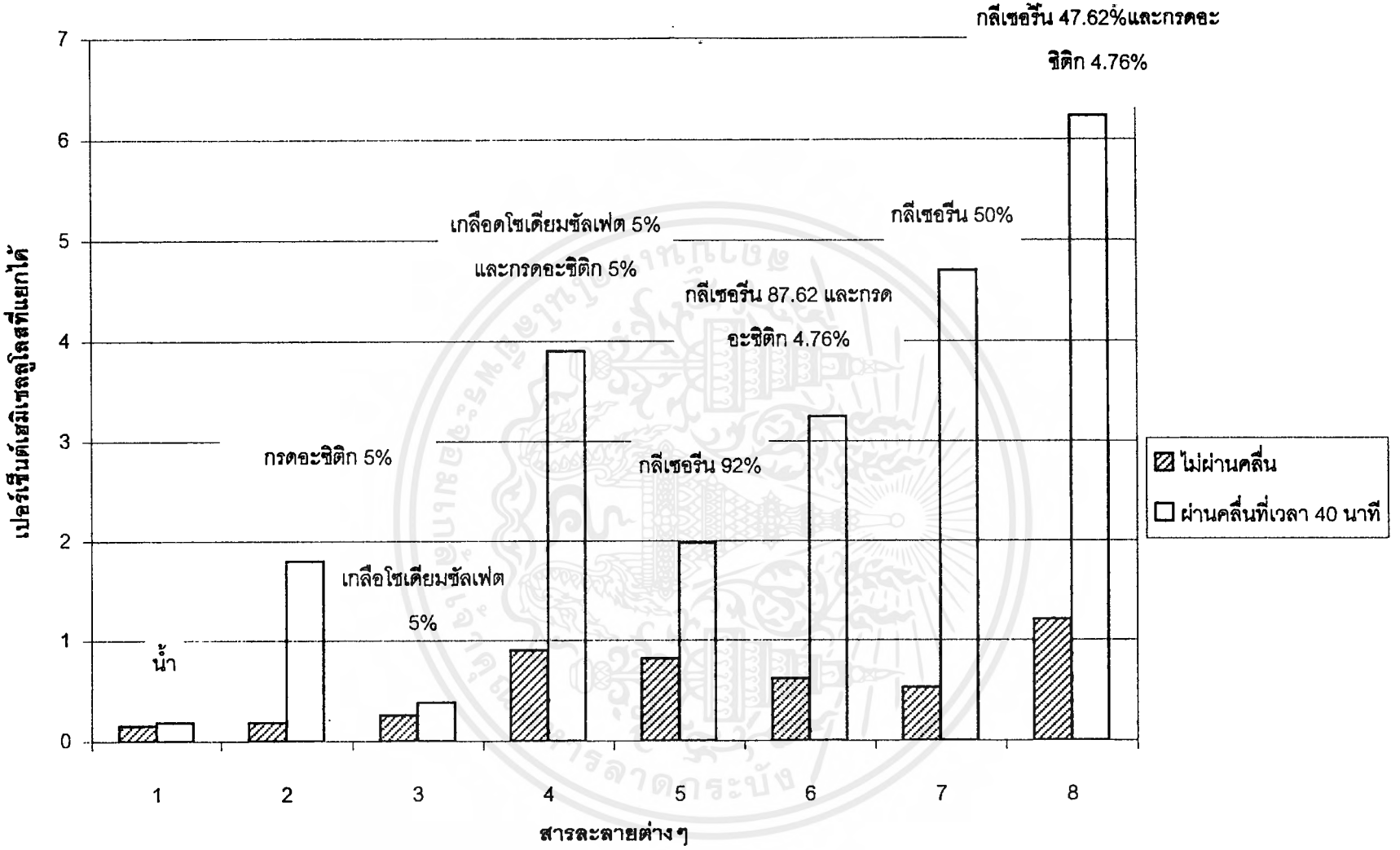
ข้อมูลจากการปรับสภาพโดยการต้มรีฟลักซ์ที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในภาคผนวก ง ตารางที่ ง-2 และ ง-3 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการปรับสภาพฟางข้าว ตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับสภาพและอุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณเฮมิเซลลูโลสเทียบจากปริมาณน้ำตาลไซโลสและเซลลูโลสเทียบจากปริมาณน้ำตาลกลูโคส การปรับสภาพด้วยการต้มรีฟลักซ์ในตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูงจะได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อฟางข้าวได้รับการปรับสภาพโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง จะทำให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถย่อยเซลลูโลสเกิดเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ง่ายขึ้น เนื่องจากไม่ถูกขัดขวางด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ของลิกนิน

6.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการปรับสภาพโดยใช้เครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

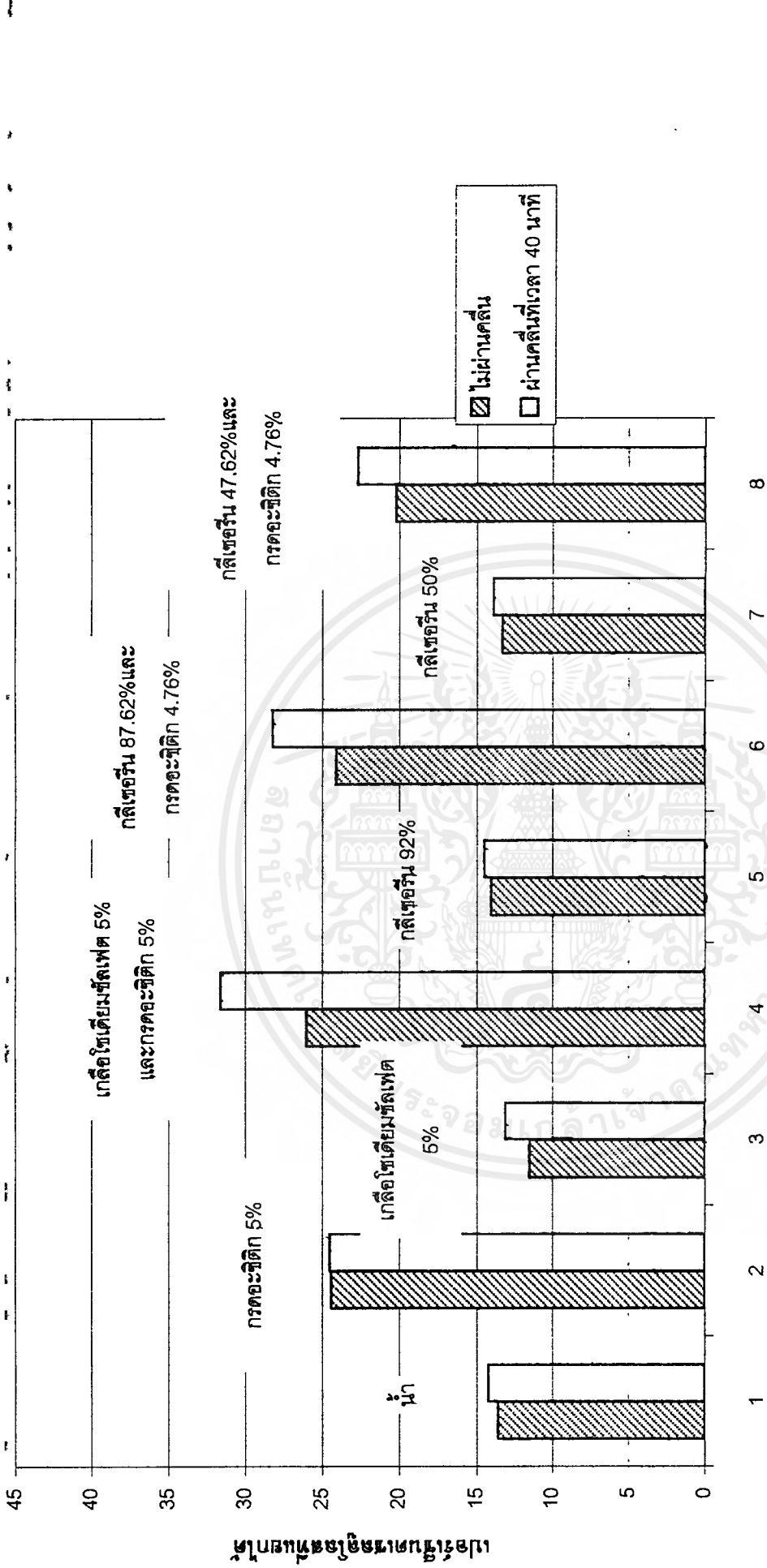
เมื่อนำฟางข้าวที่แช่ตัวทำละลายเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไปปรับสภาพโดยคลื่นไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (ภาคผนวก ง ตารางที่ ง-4 ถึง ง-19) พบว่าสามารถแยกองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสออกได้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ และมีค่าเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้นที่เวลา 40 นาที (ซึ่งเป็นเวลาใช้ทำปฏิกิริยานานที่สุด) เทียบกับวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพในสารละลายต่าง ๆ ตามหัวข้อ 5.1 (1-8) ดังรูปที่ 6.1

และเมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่องไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่ามีน้ำตาลกลูโคสเกิดขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพ (ภาคผนวก ง ตารางที่ ง-20 และ ง-34) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเกือบคงที่ที่เวลา 40 นาที เทียบกับวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพในสารละลายต่าง ๆ ตามหัวข้อ 5.1 (1-8) ดังรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 เปอร์เซ็นต์ของเฮมิเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 40 นาทีเทียบกับไม่ผ่าน



รูปที่ 6.2 เปอร์เซ็นต์ของเซลล์โลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 40 นาที แล้วย่อยด้วยเอนไซม์เทียบกับไม่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นจากการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสหลังจากผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟมีปริมาณใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ เนื่องจากผลของระบบดังต่อไปนี้

1. สารตั้งต้น ได้แก่ น้ำและฟางข้าว พบว่าปริมาณน้ำในฟางข้าวถูกระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ ซึ่งการระเหยออกจนแห้งนี้เป็นข้อจำกัดของการเพิ่มเวลาในการปรับสภาพ คือไม่สามารถเพิ่มเวลาในการปรับสภาพได้มากกว่านี้ เพราะเมื่อน้ำระเหยไปจนแห้งแล้วการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะหยุด และไม่มีของเหลวที่มีขั้วในฟางข้าวเป็นตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อหลอดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟได้

2. อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิที่เริ่มมีผลต่อการปรับสภาพ คือ ช่วง 170 – 230 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายอยู่ในช่วง 100-150 องศาเซลเซียส (การเปลี่ยนตัวทำละลายจากน้ำซึ่งมีอุณหภูมิจุดเดือด 100 องศาเซลเซียสเป็นตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เพื่อให้จุดเดือดสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำระเหยได้ช้าลง ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะสามารถดำเนินไปได้นานขึ้น เนื่องจากได้รับความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่องได้นานขึ้น) ผลปรากฏว่าสามารถแยกเฮมิเซลลูโลสออกมาได้เพิ่มขึ้น เพราะเฮมิเซลลูโลสสามารถแยกออกมาได้ง่าย แต่ไม่สามารถแยกเซลลูโลสออกมาได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ทำให้เกิดไฮโดรไลซิสไม่เพียงพอที่จะทำให้โมเลกุลของลิกนินลดลงถึงระดับที่ไม่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์

3. ตัวเร่งปฏิกิริยา ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระหว่างการปรับสภาพจะทำให้เกิดกรดอะซิติกซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในการปรับสภาพลง ซึ่งเรียกว่าออโต้ไฮโดรไลซิส และถึงแม้ว่าจะมีการเติมกรดอะซิติกลงไปในน้ำเพื่อทำให้มีตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นแต่ยังไม่ถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้โมเลกุลของลิกนินที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์มีขนาดเล็กลงได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

การที่ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายของเอนไซม์เซลลูเลสหลังจากการปรับสภาพด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง เนื่องจาก

1. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระเหยออกเร็วเกินไป

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงจุดที่ต้องการ เนื่องจากจุดเดือดของตัวทำละลายยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแยกออกจากกันขององค์ประกอบของเซลล์พืช

เทคนิคที่จะนำมาประยุกต์ใช้และคาดว่าน่าจะทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของเซลล์พืชได้มากขึ้น มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารที่จะนำมาทำการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ควรย่อยสลายได้ง่ายกว่านี้ เช่น.กระดาษ ผักตบชวา (อุณหภูมิที่เริ่มให้ผลต่อการปรับสภาพผักตบชวาเพียงช่วง 120 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าฟางข้าว)
2. ความว่องไวของเอนไซม์ควรจะมีค่าสูงกว่านี้ (ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ทดลองเป็นเกรดอุตสาหกรรมมีความว่องไวเพียง 1500 NCU/g)
3. การออกแบบเครื่องไมโครเวฟควรเป็นระบบปิดแบบสเลอรี่เฟส (slurry phase) ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปรับสภาพเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไม่ระเหยออกไปจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Akhadov , Y.Y. , "Dielectric Properties of Binary Solute" , Pergamon Press , 1980.

2. Asuma , J.I. , Tanaka , F. and Koshijoma , T. , "Enhancement of Enzymatic Susceptibility of Liganocellusic Wastes by Microwave Irradiation" Japan Fermentation Technology , Vol 62 , page 377-384 , 1994.

3. Aspinall , G.O. , *The Polysaccharides Volume 2* , Acadamic Press Inc , USA , 1983.

4. Haigler , C.H. and Weimer , P.J. , *Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose* Marcel Dekker Inc. , New York , 1991.

5. Jurasek , L.M. and others , "The Catalytic Mechanism of Cellulase Moo-Younged" Biomass Conversion , page 131-137 , 1987.

6. Kollman mann , F.P. and Jr. Côté , W.A., *Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood* , Spinser Verlag , Berlin , 1968.

7. Lewin , M. and I.S. , Goldstein , *Wood Structure and Composition* , Marcel Dekker Inc. , New York , 1991.

8. Ooshima , H. , Aso , K. and Harano , Y. , "Microwave Treatment of Cellulosic Materials for their Enzymatic Hydrolysis" Biotechnology Letters , vol 6 , page 289-294 , 1984.

9. Osamu , D and Hall , C.W. , *Biomass Handbook* , Gordon and Breach Science Publishers , USA, page 470-474 , 1989.

10. Perry , H.P. and Green , D.W. , *Perry 's Chemical Engineers Handbook* , McGraw- Hill , 6th edition , Malaysia , 1984.

11. กนก รัตนะกนกชัย , 2528 , *การผลิตเอนไซมเซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร* , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

12. ดำรง ขุมมงคล , "การจำลองการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์" The Conference on Science and Technology of Thailand , หน้า 222-223 , กรุงเทพฯ 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ทัศนีย์ เชื้อทอง , 2534 , *การผลิตน้ำตาลไซโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเอนไซม์ในถังปฏิกรณ์เยื่อแผ่น* , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

14. ปิยทัศน์ พุ่มทองตรู , 2535 , *การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากฟางข้าว* , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15. รัชดาภรณ์ สมามหรรณพ , 2531 , *การสังเคราะห์สารประกอบซองลิกนินโดยเอนไซม์* , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

16. วัฒฒนาลัย ปาลบ้านเกล็ด , *คู่มือปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคทางอณูพันธ์และพันธุวิศวกรรมเล่มที่ 1* , สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย , 2536

17. วิชัย ลีลาวัชรมาศ , 2530 , *การผลิตไซโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรโดยวิธีทางเอนไซม์* , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

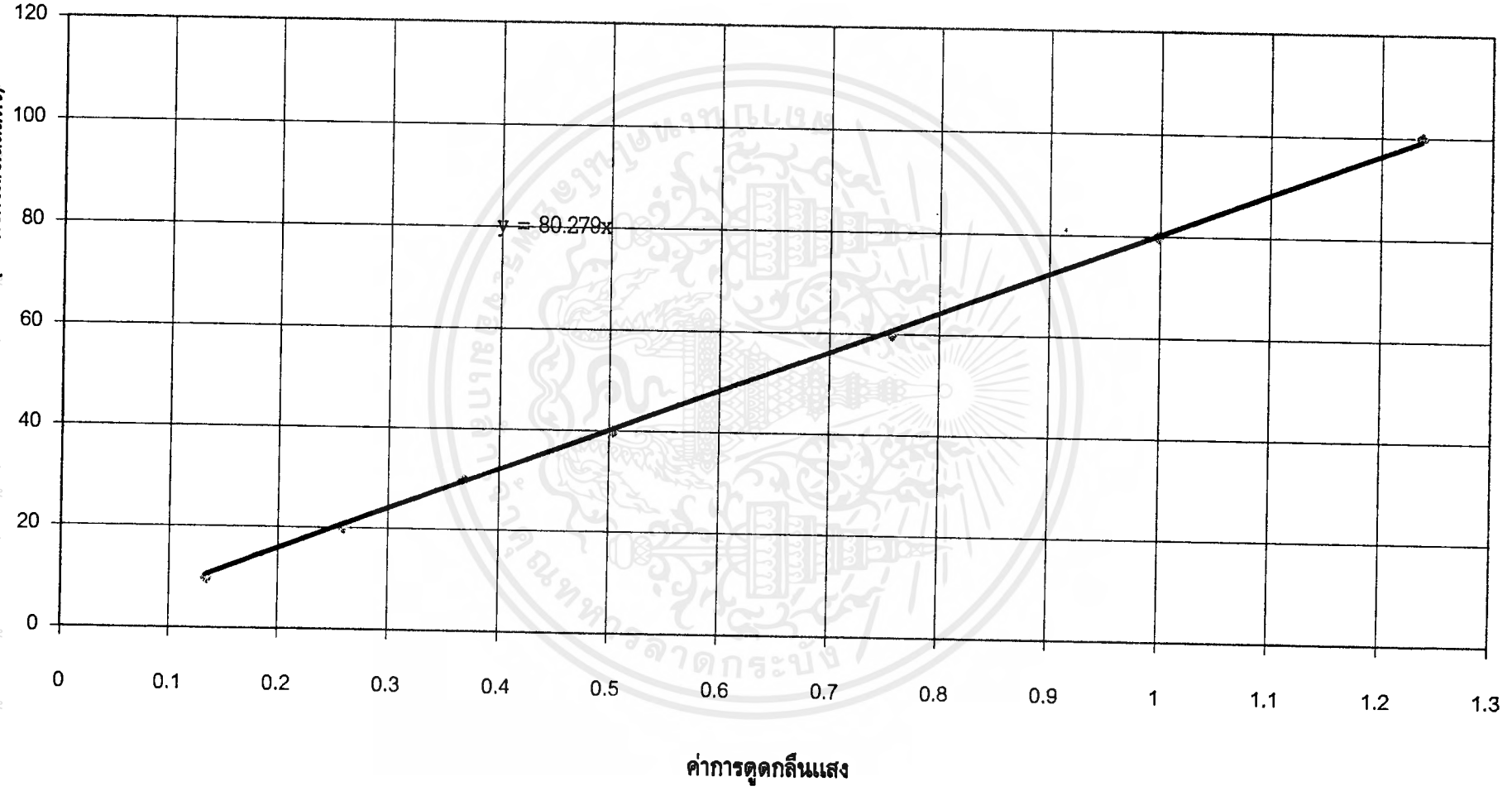
ภาคผนวก ก-1

การเตรียมสารละลายมาตราฐาน

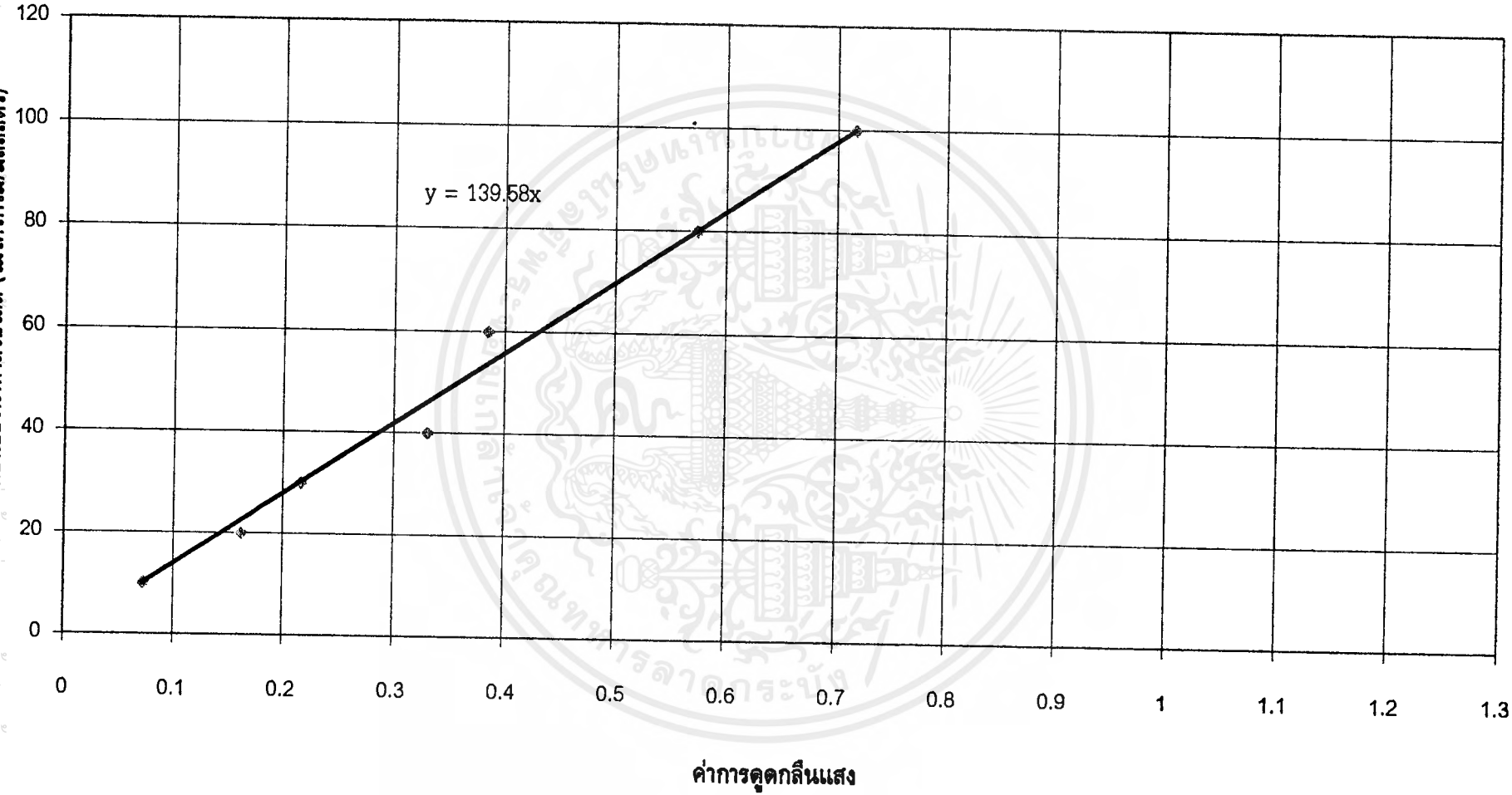
1. ละลายน้ำตาลที่บริสุทธิ์ในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 1% (10 mg/ml) น้ำตาลที่ใช้เป็นน้ำตาลมาตรฐาน ควรเป็นน้ำตาลชนิดโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดเดียวกันกับที่ต้องการทราบปริมาณ เช่น ควรใช้น้ำตาลกลูโคสทำสารละลายมาตราฐาน ถ้าในการหาปริมาณน้ำตาลนั้นเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลที่ประกอบด้วยน้ำตาล 2-3 หน่วยของกลูโคส และควรใช้ไซโลสทำสารละลายมาตรฐาน ถ้าในการหาปริมาณน้ำตาลนั้นเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลที่ประกอบด้วยน้ำตาล 2-3 หน่วยของไซโลส
2. ทำให้น้ำตาลเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 10,20,30,40,60,80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
3. นำสารละลายน้ำตาลในข้อ 2 ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์น้ำตาลในสารตัวอย่างและวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร
4. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่าง ๆ เส้นกราฟที่ได้จะใช้เป็นค่าเทียบมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นหรือปริมาณน้ำตาลในสารตัวอย่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก-2 กราฟสารละลายมาตราฐาน



รูปที่ ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสกับค่าการดูดกลืนแสง โดยวิธี total sugar ที่ 485 นาโนเมตร



รูปที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสกับค่าการดูดกลืนแสง โดยวิธี total sugar ที่ 485 นาโนเมตร

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1

การเตรียมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทประกอบด้วยสารละลาย A (X มิลลิลิตร) และสารละลาย B (Y มิลลิลิตร) นำมาผสมรวมกันตาม pH ที่ต้องการ

สารละลาย A : 0.2 โมลาร์ กรดอะซีติก

สารละลาย B : 0.2 โมลาร์ โซเดียมอะซีเตท

ตารางที่ ข-1 อัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อโซเดียมอะซิเตทในการเตรียมอะซิเตทบัฟเฟอร์

X(มิลลิลิตร)	Y(มิลลิลิตร)	pH
46.3	3.7	3.6
44.0	6.0	3.8
41.0	9.0	4.0
36.8	13.2	4.2
30.5	19.5	4.4
25.5	24.5	4.6
20.0	30.0	4.8
14.8	35.2	5.0
10.5	39.5	5.2
8.8	41.2	5.4
4.8	45.2	5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

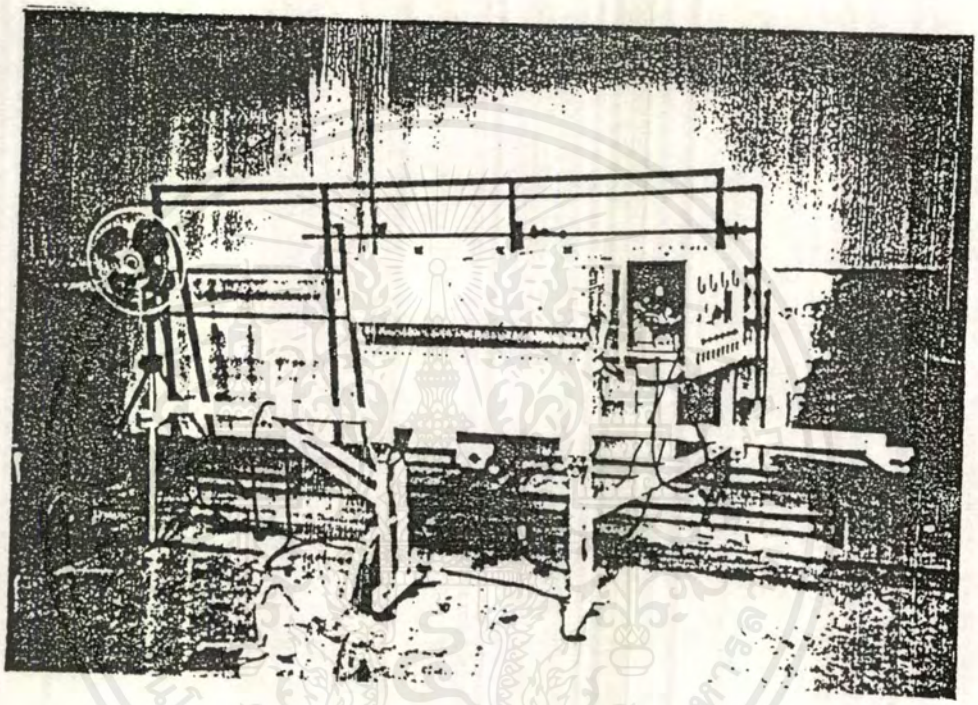
ภาคผนวก ช-2

การเตรียมสารละลายอะซิติก-ไนตริก

ผสมกรดอะซิติก 80% ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กับกรดไนตริกเข้มข้น 15 มิลลิตร

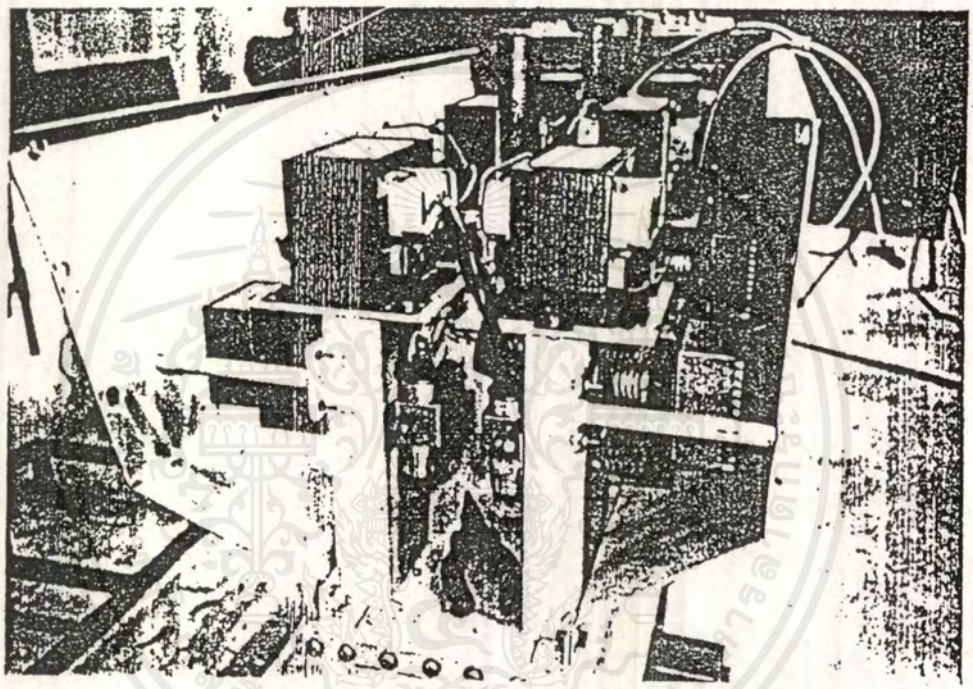
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง



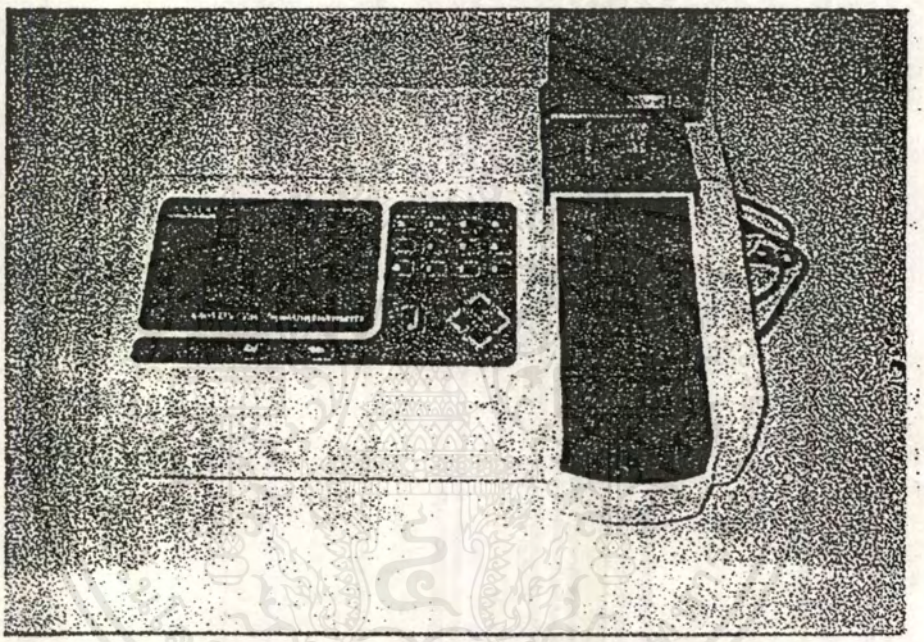
รูปที่ ค-1 เครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-2 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

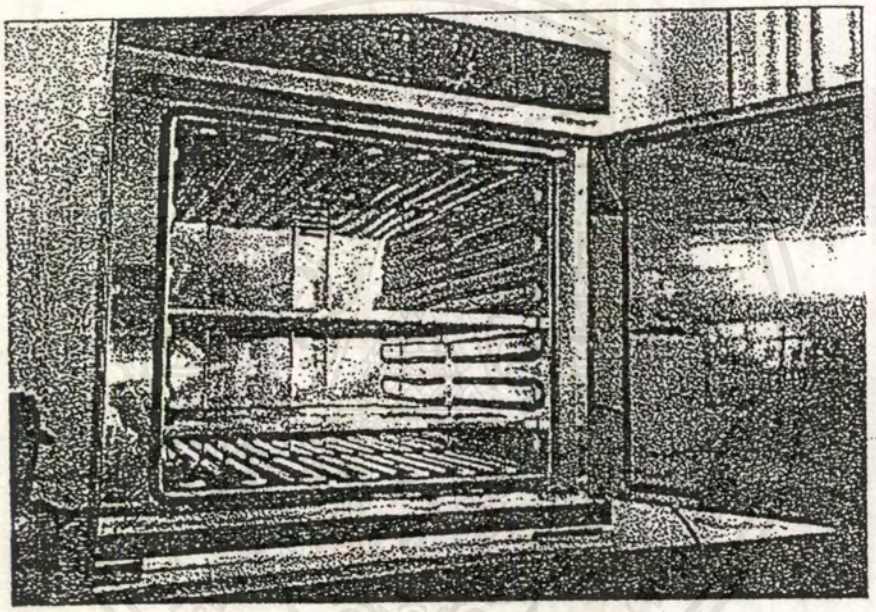
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(Jennway , รุ่น 6405)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-4 เครื่องอบแห้ง
(Memmert , รุ่น 500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ง-1 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้จากการรีฟลักซ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

องค์ประกอบ	% องค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
เฮมิเซลลูโลส	33.98
เซลลูโลส	44.32
ลิกนินและอื่น ๆ	21.7

ตารางที่ ง-2 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่แยกได้จากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

ตัวทำละลาย	อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียล)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิตร	ปริมาณน้ำตาลไซโลส (มิลลิกรัม) ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%เฮมิเซลลูโลสที่แยกได้จาก เฮมิเซลลูโลสทั้งหมดใน 1 กรัมวัตถุดิบ
น้ำ	100	0.087	6.9843	34.9214	10.2770
กรดอะซิติก 5% (w/v)	100	0.111	8.9110	44.5548	13.1121
เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v)	101	0.079	6.3420	31.7102	9.3320
กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v)	101	0.151	12.1221	60.6106	17.8372
กลีเซอรีน 92% (w/w)	150	0.111	8.9110	44.5548	13.1121
กลีเซอรีน 92% (w/w) และกรดอะซิติก 5% (w/W)	141	0.174	13.9685	69.8427	20.5541
กลีเซอรีน 50 % (w/w)	106.5	0.106	8.5096	42.5479	12.5214
กลีเซอรีน 47.62 % (w/w) และกรดอะซิติก 4.76% (w/W	105	0.156	12.5235	62.6176	18.4278

ตารางที่ ง-3 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่แยกได้จากกลูโคสทั้งหมดที่มีอยู่ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

ตัวทำละลาย	อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียล)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิตร	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (มิลลิกรัม) ในวัตถุดิบ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%เฮมิเซลลูโลสที่แยกได้จาก เฮมิเซลลูโลสทั้งหมดใน 1 กรัมวัตถุดิบ
น้ำ	100	0.121	16.8892	84.4459	19.0537
กรดอะซิติก 5% (w/v)	100	0.153	21.3557	106.7787	24.0927
เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v)	101	0.114	15.9121	79.5606	17.9514
กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v)	101	0.139	19.4016	97.0081	21.8881
กลีเซอรีน 92% (w/w)	150	0.122	17.0288	85.1438	19.2111
กลีเซอรีน 92% (w/w) และกรดอะซิติก 5% (w/v)	141	0.242	33.7784	168.8918	38.1074
กลีเซอรีน 50 % (w/w)	106.5	0.119	16.6100	83.0501	18.7387
กลีเซอรีน 47.62 % (w/w) และกรดอะซิติก 4.76% (w/v)	105	0.159	22.1932	110.9661	25.0375

ตารางที่ ง-4 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำแล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.0042	25.19	1.2606	0.087	6.9843	0.5541	0.1631
12	5.0132	27.23	1.3651	0.090	7.2251	0.5293	0.1558
16	5.0001	29.11	1.4555	0.109	8.7504	0.6012	0.1769
40	4.9982	33.33	1.6659	0.133	10.6771	0.6409	0.1886

ตารางที่ ง-5 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำแล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.0000	25.19	1.2595	0.089	7.1448	0.5673	0.1669
12	5.1023	27.23	1.3894	0.096	7.7068	0.5547	0.1632
16	4.9995	29.11	1.4554	0.120	9.6335	0.6619	0.1948
40	5.0102	33.33	1.6699	0.140	11.2391	0.6730	0.1981

ตารางที่ ง-6 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติก 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.4231	24.21	1.3129	0.023	1.8464	0.7032	0.2069
12	5.0012	30.69	1.5349	0.101	8.1082	2.6413	0.7773
16	4.9232	47.57	2.3420	0.184	14.7713	3.1536	0.9281
40	2.1021	85.02	1.7872	0.259	20.7923	5.8170	1.7119

ตารางที่ ง-7 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติก 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.0012	24.21	1.2108	0.019	1.5253	0.6299	0.1854
12	5.0000	30.69	1.5345	0.123	9.8743	3.2174	0.9469
16	5.0003	47.57	2.3786	0.178	14.2897	3.0037	0.8840
40	2.0010	85.02	1.7013	0.287	23.0401	6.7715	1.9928

ตารางที่ ง-8 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.1180	23.41	0.5320	0.056	4.496	0.8450	0.2487
12	4.9994	23.45	0.7366	0.169	13.567	1.8419	0.5420
16	4.9617	23.89	0.8489	0.168	13.487	1.5887	0.4676
40	5.4568	30.14	1.0599	0.213	17.099	1.6133	0.4748

ตารางที่ ง-9 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.1755	23.41	0.5386	0.066	5.298	0.9837	0.2895
12	4.9806	23.45	0.7249	0.102	8.188	1.1296	0.3324
16	5.5819	23.89	0.9550	0.122	9.794	1.0256	0.3018
40	5.1670	30.14	1.0036	0.134	10.757	1.0719	0.3154

ตารางที่ ง-10 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.5356	15.78	0.8737	0.084	6.743	3.8593	1.1357
12	5.0652	35.96	1.8213	0.110	8.831	2.4242	0.7134
16	5.0000	39.66	1.9829	0.143	11.480	2.8947	0.8519
26	2.0001	62.21	1.2443	0.377	30.265	12.1619	3.5791
40	1.0001	95.01	0.9502	0.319	25.609	13.4757	3.9658

ตารางที่ ง-11 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างชุดที่

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	5.3362	15.78	0.8422	0.056	4.4956	2.6690	0.7855
12	5.1023	35.96	1.8347	0.301	24.1640	6.5853	1.9380
16	5.0003	39.66	1.9830	0.214	17.1797	4.3317	1.2748
26	2.0012	62.21	1.2449	0.302	24.2443	9.7371	2.8655
40	1.0001	95.01	0.9502	0.309	24.8062	13.0532	3.8414

ตารางที่ ง-12 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.0012	7.65	1.5301	0.102	8.1885	2.6758	0.7875
13	20.0001	7.89	1.5780	0.139	11.1588	3.5357	1.0405
16	10.1200	8.36	0.8460	0.077	6.1815	3.6532	1.0751
40	11.0002	9.01	0.9911	0.130	10.4363	5.2649	1.5494

ตารางที่ ง-13 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.1030	7.65	1.5379	0.111	8.9110	2.8972	0.8526
13	19.9998	7.89	1.5780	0.126	10.1152	3.2051	0.9432
16	9.9859	8.36	0.8348	0.101	8.1082	4.8562	1.4291
40	10.1023	9.01	0.9102	0.187	15.0122	8.2465	2.4269

ตารางที่ ง-14 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่ในกรดอะซิติกเข้มข้น 4.76 %(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เ

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลสที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.0001	10.12	2.0247	0.103	8.2687	2.0420	0.6009
12	20.1200	10.45	2.1030	0.119	9.5532	2.2714	0.6684
16	11.9792	12.00	1.4380	0.246	19.7486	6.8667	2.0208
40	10.0032	14.23	1.4230	0.400	32.1116	11.2831	3.3205

ตารางที่ ง-15 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกเข้มข้น 4.76 %(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวล

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลสที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.0313	10.12	2.0278	0.110	8.8307	2.1774	0.6408
12	20.0011	10.45	2.0905	0.103	8.2687	1.9777	0.5820
16	11.6654	12.00	1.4003	0.121	9.7138	3.4684	1.0207
40	10.5193	14.23	1.4964	0.403	32.3524	10.8100	3.1813

ตารางที่ ง-16 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	10.0002	7.68	0.7680	0.024	1.9267	2.0069	0.5906
12	10.0000	8.55	0.8550	0.097	7.7871	7.2861	2.1442
16	10.1003	8.87	0.8959	0.159	12.7644	11.3981	3.3543
40	10.0016	9.27	0.9271	0.222	17.8219	15.3779	4.5256

ตารางที่ ง-17 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	10.0000	7.68	0.7680	0.019	1.5253	1.5889	0.4676
12	10.1555	8.55	0.8683	0.102	8.1885	7.5444	2.2202
16	10.0004	8.87	0.8870	0.113	9.0715	8.1814	2.4077
40	10.1005	9.27	0.9363	0.243	19.5078	16.6677	4.9051

ตารางที่ ง-18 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76%(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.1451	7.54	1.5189	0,101	8.1082	4.2704	1.2568
12	20.1201	8.62	1.7344	0,253	20.3106	9.3686	2.7571
16	20.0001	8.94	1.7880	0.354	28.4188	12.7153	3.7420
40	20.0012	9.34	1.8681	0.620	49.7730	21.3148	6.2727

ตารางที่ ง-19 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76%(w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักเปียกที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	%น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(ไมโครกรัม) ในน้ำ 1 มิลลิลิตร	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	%ของเฮมิเซลลูโลส ที่แยกจากเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด
0	20.0014	7.54	1.5081	0.094	7.5462	4.0030	1.1781
12	20.0014	8.62	1.7241	0.249	19.9895	9.2752	2.7296
16	20.0002	8.94	1.7880	0.314	25.2076	11.2785	3.3191
40	20.1101	9.34	1.8783	0.617	49.5321	21.0968	6.2086

ตารางที่ ง-20 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.0013	0.085	1.1864	59.2445	13.3674
12	1.1697	0.106	1.4795	63.2448	14.2700
16	1.4321	0.134	1.8704	65.3017	14.7341
40	1.4412	0.131	1.8285	63.4367	14.3133

ตารางที่ ง-21 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่น้ำ แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.1563	0.102	1.4237	61.5634	13.8907
12	1.2265	0.106	1.4795	60.3159	13.6092
16	1.3465	0.116	1.6191	60.1236	13.5658
40	1.5412	0.139	1.9402	62.9432	14.2020

ตารางที่ ง-22 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.8432	0.134	1.8704	110.9092	25.0246
12	0.9956	0.128	1.7866	89.7260	20.2450
16	1.0213	0.159	2.2193	108.6518	24.5153
40	1.002	0.147	2.0518	102.3865	23.1017

ตารางที่ ง-23 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.8876	0.287	4.0059	106.1122	23.9423
12	1.2463	0.244	3.4058	136.6345	30.8291
16	2.0982	0.287	4.0059	95.4615	21.5391
40	1.4507	0.241	3.3639	115.9398	26.1597

ตารางที่ ง-24 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.9792	0.344	4.8016	49.0355	11.0640
12	1.0168	0.358	4.9970	49.1440	11.0885
16	0.7952	0.312	4.3549	54.7648	12.3567
40	0.5523	0.241	3.3639	60.9067	13.7425

ตารางที่ ง-25 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบดแช่เกลือโซเดียมซัลเฟต 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่างๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.4214	0.154	2.1495	51.0093	11.5093
12	0.6541	0.231	3.2243	49.2937	11.1222
16	0.6589	0.235	3.2801	49.7819	11.2324
40	0.6672	0.264	3.6849	55.2295	12.4615

ตารางที่ ง-26 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.7641	0.132	1.8425	120.5638	27.2030
12	1.2587	0.165	2.3031	91.4861	20.6422
16	1.0219	0.142	1.9820	96.9780	21.8813
26	0.4699	0.090	1.2562	133.6689	30.1599
40	0.425	0.086	1.2004	127.7280	28.8195

ตารางที่ ง-27 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมซัลเฟตอย่างละ 5% (w/v) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.7849	0.124	1.7308	110.2556	24.8772
12	1.2204	0.165	2.3031	94.3572	21.2900
16	0.6875	0.113	1.5773	114.7094	25.8821
26	0.6663	0.112	1.5633	117.3117	26.4693
40	0.3720	0.146	2.0379	152.9242	34.5046

ตารางที่ ง-28 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์)ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.7785	0.350	4.8853	62.7527	14.1590
13	0.5381	0.254	3.5463	65.8861	14.8660
16	0.6422	0.289	4.0339	62.8132	14.1726
40	0.5578	0.266	3.7128	66.5620	15.0185

ตารางที่ ง-29 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 92% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.7412	0.320	4.4666	60.2612	13.5968
13	0.6225	0.278	3.8803	62.3345	14.0646
16	0.6044	0.265	3.6989	61.1990	13.8084
40	0.6465	0.289	4.0339	62.3954	14.0784

ตารางที่ ง-30 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.6858	0.265	3.6989	109.7067	24.7533
13	1.726	0.261	3.6430	105.5341	23.8119
16	1.1249	0.184	2.5683	114.1556	25.7571
40	1.0478	0.174	2.4287	115.8948	26.1496

ตารางที่ ง-31 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีนความเข้มข้น 87.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.6060	0.241	3.3639	104.7285	23.6301
12	1.6393	0.264	3.6849	112.3929	25.3594
16	1.0678	0.188	2.6241	122.8743	27.7244
40	1.0593	0.205	2.8614	135.0604	30.4739

ตารางที่ ง-32 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.4140	0.174	2.4287	58.6641	13.2365
12	0.5381	0.229	3.1964	59.4013	13.4028
16	0.6422	0.289	4.0339	62.8132	14.1726
40	0.5578	0.236	3.2941	59.0550	13.3247

ตารางที่ ง-33 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการแช่กลีเซอรีนความเข้มข้น 50% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.9873	0.084	1.1725	59.3777	13.3975
12	1.2556	0.109	1.5214	60.5855	13.6700
16	1.4044	0.125	1.7448	62.1173	14.0156
40	1.5694	0.146	2.0379	64.9251	14.6492

ตารางที่ ง-34 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีน 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	0.9873	0.129	1.8006	91.1872	20.5747
12	1.2556	0.178	2.4845	98.9377	22.3235
16	1.4044	0.214	2.9870	106.3448	23.9948
40	1.5694	0.234	3.2662	104.0580	23.4788

ตารางที่ ง-35 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายหลังการปรับสภาพด้วยการบด แช่กรดอะซิติกความเข้มข้น 4.76% (w/w) และกลีเซอรีน 47.62% (w/w) แล้วนำมาผ่านเครื่องไมโครเวฟ (3900 วัตต์) ที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ (นาที)	น้ำหนักแห้งที่นำไปหาปริมาณเซลลูโลส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	ปริมาณเซลลูโลส (มิลลิกรัม) ใน 1 กรัมน้ำหนักแห้ง	% เซลลูโลสที่แยกได้จากเซลลูโลสทั้งหมด
0	1.0496	0.134	1.8704	89.0993	20.1036
12	1.3472	0.194	2.7079	100.4993	22.6758
16	1.049	0.145	2.0239	96.4685	21.7664
40	1.4337	0.201	2.8056	97.8433	22.0766

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างในตารางที่ ง-4 เวลาปรับสภาพ 0 นาที

ค่าการดูดกลืนแสง 0.087 น้ำหนักเปียก 5.0042 กรัม เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง 25.19% สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. น้ำหนักแห้ง = ค่าน้ำหนักเปียก*เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ...(1)

= 5.0042 * 0.2519

= 1.2606 กรัม

2. ค่าการดูดกลืนแสง 0.087 นำไปเทียบกราฟสารละลายมาตราฐานภาคผนวก ก-1 ได้เทียบเท่าปริมาณน้ำตาลที่วัดได้ 6.9843 ไมโครกรัม (ซึ่งมีอยู่ในสารตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร)

3. ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าว 1 กรัม =

$$\frac{\text{ปริมาณน้ำตาลที่วัดได้*ปริมาตรสารตัวอย่างทั้งหมดในขวดรูปชมพู่*จำนวนเท่าที่เจือจาง}}{\text{น้ำหนักแห้งฟางข้าว}} \quad ...(2)$$

$$= \frac{6.9843*10^{-6} * 100 * 1}{1.2606}$$

= 0.5541 มิลลิกรัม

4. เปอร์เซ็นต์ของเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)

$$= \frac{\text{ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)ที่แยกได้*100}}{\text{ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)ทั้งหมดในฟางข้าว}} \quad ...(3)$$

$$= \frac{\text{ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)ในฟางข้าว 1 กรัม*100}}{\text{ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)ที่มีในฟางข้าว 1 กรัม}} \quad ...(4)$$

$$= \frac{0.5541}{0.338}$$

(ปริมาณเฮมิเซลลูโลส(เซลลูโลส)ที่มีในฟางข้าว 1 กรัมหาได้จากผลการทดลองตารางที่ 5.1)

= 0.1631%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้