สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลส

นางสาวชลธิชา มีชะนะ

นางสาวระรินธร ตีรณะจารุพงศ์

วพ.
ว224ผ
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72602
วัน,เดือน,ปี 20 มิ.ย. 2550

b 11769919
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Plasticizer on Mechanical Properties of Paper from Bacterial Cellulose

Chonticha Meechana

Rarintorn Teeratajarupong

A Special Project Submitted in Partial fullfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลส		
นักศึกษา	นางสาวชลธิชา	มีชะนะ	รหัสประจำตัว 46050634
	นางสาวระรินธร	ตีรถะจารุพงศ์	รหัสประจำตัว 46050645
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดวงใจ โอชัยกุล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี		
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์		
คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		

อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง	
กรรมการ รศ.ดวงใจ โอชัยกุล	
กรรมการ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี	

.....

(รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	**ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลส**
นักศึกษา	**นางสาวชลธิชา มีชะนะ**
	นางสาวระรินธร ตีรณะจารุพงศ์
ภาควิชา	**ชีววิทยาประยุกต์**
สาขาวิชา	**เทคโนโลยีชีวภาพ**
ปีการศึกษา	**2549**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**รศ. ดวงใจ โอชัยกุล**
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี**

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มุ่งศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรีย โดยใช้พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และไพลีโพรพิลีนไกลคอล ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ผสมลงในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวเพื่อนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ พบว่า กระดาษที่ได้จากการเติมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าการยืด ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 26.68 ซึ่งสูงกว่าการใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดอื่นรวมทั้งกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของกระดาษที่ได้มีค่า 81.27 กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (ชุดควบคุม) ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของกระดาษที่ได้มีค่า 41.30 ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (ชุดควบคุม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Effect of Plasticizer on Mechanical Properties of Paper from Bacterial Cellulose
Name	Ms. Chonticha Meechana
	Ms. Rarintorn Teeratajarupong
Department	Applied Biology
Program	Biotechnology
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Duangjai Ochaikul
Special Project Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Suparat Rukchonlatee

Abstract

The aim of this project was studied the effect of plasticizers on mechanical properties of paper from bacterial cellulose. Papers were produced from three different plasticizers namely glycerol, sorbital and polypropylene glycol with varying concentrations of plasticizers as 0 0.5 1.0 1.5 and 2.0 % which mixed in coconut water medium. It was found that paper mixed with 1.5 % sorbital gave the highest elongation at brake. Water vapor permeability of this paper was 81.27 g mm/m^2/day which was lower than paper from bacterial cellulose while oxygen permeability was 41.30 cm^3mm/ m^2/day which was higher than paper from bacterial cellulose.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดวงใจ โอชัยกุล เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้โอกาส คำแนะนำ แนวทางในการค้นคว้าวิจัย การทำวิจัย การเขียนโครงงานพิเศษฉบับนี้ รวมทั้งการตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์และการให้คำแนะนำปรึกษาทุกๆอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องใดก็ตามตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภารัตน์ รักชลธี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกๆเรื่องสำหรับการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง ประธานคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษที่ได้ช่วยตรวจทานแก้ไขในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์คณะกรรมการทุกๆท่านสำหรับการสอบวิชาโครงงานพิเศษ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ด้วยความเคารพรักยิ่ง สำหรับโอกาส ความรัก คำแนะนำ และกำลังใจในการศึกษาและการทำโครงงานพิเศษ

สุดท้ายขอขอบพระคุณอาจารย์ นักวิทย์ฯ และเพื่อนทุกท่านที่มิได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่ให้คำปรึกษา การสนับสนุน ช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำการศึกษาวิจัยมาโดยตลอด รวมถึงมีส่วนช่วยให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวชลธิชา มีชะนะ

นางสาวระรินธร ตีรถะจารุพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญรูป ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 4

2.1 แบคทีเรียที่สามารถผลิตเส้นใยเซลลูโลสได้ (Bacterial cellulose) 4

2.2 การสังเคราะห์เซลลูโลสโดยเชื้อแบคทีเรียเซลลูโลส 5

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์เซลลูโลสโดยแบคทีเรีย 9

2.4 อุตสาหกรรมกระดาษ 14

2.5 กระบวนการผลิตและแบบการจำหน่ายกระดาษสำเร็จรูป 16

2.6 กระดาษจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ 17

2.7 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) 20

2.8 กลีเซอรอล (Glycerol) 20

2.9 ซอร์บิทอล (Sorbital) 21

2.10 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) 21

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 23

3.1 วัสดุอุปกรณ์ 23

3.1.1 จุลินทรีย์ 23

3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมี 23

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ 23

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 วิธีการทดลอง 24
3.2.1 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์ 24
3.2.1.1 การเตรียมหัวเชื้อ (Starter) 24
3.2.1.2 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆ 24
3.2.1.3 การผลิตกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลส 24
3.2.1.4 ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้ 25
3.2.1.5 ศึกษาความสามารถในการซึมผ่านได้ของไอน้ำบนกระดาษ 25
3.2.1.6 ศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนบนกระดาษ 25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 26
4.1 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์ 26
4.1.1 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับกลีเซอรอล 26
4.1.2 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับซอร์บิทอล 28
4.1.3 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับโพลีโพรพิลีนไกลคอล 29
4.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับพลาสติไซเซอร์ 30
4.2.1 กระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสผสมกลีเซอรอล 30
4.2.2 กระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสผสมซอร์บิทอล 32
4.3 การคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ผลิตกระดาษ 35
4.4 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับซอร์บิทอล 36
4.5 ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน 38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 40
เอกสารอ้างอิง 42
ภาคผนวก 45
ภาคผนวก ก. อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ 45
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์คุณภาพของกระดาษ 46
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของแหล่งคาร์บอนชนิดต่างๆ ในการสังเคราะห์เซลลูโลสของเชื้อ *A. xylinum*	10
2	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมกลีเซอรอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	27
3	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	28
4	สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	30
5	สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	33
6	เปรียบเทียบค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	35
7	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในถาดพลาสติกในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน	37
8	เปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และกระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย	39
9	เปรียบเทียบค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และกระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1 เซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรียและพืช 4

2 วิถีการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *Acetobacter xylinum* 6

3 โครงสร้างของ Cellulose Synthase (bcs) Operon 6

4 การสร้างเซลลูโลสในเซลล์ของแบคทีเรีย 7

5 การผลิตกระดาษจากเปลือกในกิ่งหม่อน 17

6 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมกลีเซอรอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 27

7 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 29

8 ค่ามอดุลัสของยังที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 31

9 ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 31

10 ค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 32

11 ค่ามอดุลัสของยังที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 33

12 ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 34

13 ค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

14 เปรียบเทียบค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลกับกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10วัน 36

15 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในถาดพลาสติกในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน และความหนาของแผ่นกระดาษ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

วุ้นน้ำมะพร้าวมีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Bacterial cellulose เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักอาหารเหลว ไม่ว่าจะเป็นน้ำผัก น้ำผลไม้ หรืออาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยา โดยใช้เชื้อแบคทีเรียชื่อ *Acetobacter xylinum* หากหมักด้วยน้ำมะพร้าว ทางฟิลิปปินส์เรียกว่า Nata de Coco หากหมักด้วยน้ำสับปะรดเรียกว่า Nata de Pina แผ่นวุ้นมีลักษณะเป็นเยื่อเหนียว มีสีขาว สีครีม ทึบแสง เป็นสารเซลลูโลส ลักษณะทางกายภาพคล้ายวุ้นทำขนม แต่เหนียวกว่า ต้มที่ 100 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ

ลักษณะเฉพาะของวุ้นสวรรค์ที่ได้จาก *Acetobacter xylinum*

- เส้นใยมีขนาดเล็กมาก คือ หนาประมาณ 3-4 นาโนเมตร กว้าง 60-80 นาโนเมตร และ ยาวประมาณ 180-960 นาโนเมตร
- จากการที่เส้นใยมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ ได้ดี
- ไม่มีเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกตินเจือปน
- เส้นใยมีความเป็น Hydrophilic สูง อุ้มน้ำได้ 60-700 เท่าของน้ำหนักแห้ง
- เส้นใยมีลักษณะใส
- เส้นใยทนต่อแรงดึงได้สูงกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ต่าง ๆ
- สามารถใช้สารตั้งต้นที่มีราคาถูก หาง่าย
- สามารถควบคุมคุณสมบัติทางกายภาพได้ตามที่ต้องการ โดยจัดองค์ประกอบของอาหารที่ใช้เลี้ยง และสภาวะการหมัก

จากคุณสมบัติที่โดดเด่นของ Bacterial cellulose คือ เส้นใยมีขนาดเล็กเชื่อมกันเป็นร่างแห ทำให้มีความเหนียวสูง ดังนั้นจึงได้มีการนำ Bacterial cellulose มาดัดแปลงใช้เป็นส่วนประกอบของ membrane ต่าง ๆ เช่น เป็นส่วนประกอบของลำโพง และกระดาษที่ต้องการความเหนียวสูง

พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในโพลิเมอร์ (polymer) หรือผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (flexing temperature) ของพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณร้อยละ 20-40โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ฟิล์มห่ออาหาร เครื่องมือแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือด น้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์ รองเท้า กระเป๋า เสื้อผ้า กระเบื้องยางปูพื้น สายไฟ เทปพันสายไฟ ท่อน้ำ แท็งก์เก็บสารเคมีและอื่นๆ โดยที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ถึงร้อยละ 65 ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt Brothers ในราว ค.ศ.1870 เมื่อเขาผสมแคมเฟอร์ (camphor) กับไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) ต่อมาไตรครี-ซิลฟอสเฟต (tricresyl phosphate) ได้ถูกนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ตามด้วยพทาเลทเอสเทอร์ (phthalate esters)

Yamanaka และคณะ (1989) ได้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติของกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลส โดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* พบว่ากระดาษที่ได้มีค่ามอดุลัสของยังสูงกว่า 15 GPa ซึ่งแสดงว่าโมเลกุลเซลลูโลสจับตัวแน่นมาก ทำให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรง

ดวงใจและคณะ (2004) ศึกษาการผลิตกระดาษและสมบัติของกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 976 พบว่าจากการเลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 วัน เชื้อจะผลิตเซลลูโลสสูงสุด จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เป็นสารฟอกสี ทำให้กระดาษที่ได้มีค่ามอดุลัสของยัง ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นอื่น (ร้อยละ 0 0.5 และ 1.0)

อมรรัตน์ สุวรรณไพธิ์ศรีและคณะ (2005) ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับไคโตซาน พบว่าจากการเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรเวย์ที่มีการเติมสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ทำให้เชื้อผลิตเซลลูโลสได้หนากว่าการใช้ความเข้มข้นอื่นรวมทั้งสมบัติเชิงกล เช่น ค่ามอดุลัสของยัง ค่าความแข็งแรงดึง สูงกว่าการใช้ความเข้มข้นอื่น

เนื่องจากกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสมีความเหนียว มีสมบัติทางกลต่างๆสูงกว่ากระดาษทั่วไป ขณะเดียวกันมีความเปราะสูง การนำกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาขึ้นรูปต่างๆก็ทำได้ค่อนข้างยาก โครงงานพิเศษนี้จึงสนใจที่จะนำพลาสติไซเซอร์มาผสมในเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย และนำเซลลูโลสมาผลิตกระดาษ ซึ่งคาดหวังว่าจะได้กระดาษที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น การขึ้นรูปง่ายขึ้น เพื่อที่จะนำกระดาษที่ได้ไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลิตเซลลูโลสจากเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวที่เติมพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อศึกษาผลของการเติมพลาสติไซเซอร์ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อและทำให้มีการสร้างเซลลูโลสสูงสุด เพื่อนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

2. ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้จากวิธีการต่างๆขั้นต้น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำวัสดุเหลือทิ้ง (น้ำมะพร้าวแก่) มาใช้ประโยชน์ โดยนำมาเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเพื่อให้ผลิตเซลลูโลส จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษโดยวิธีการต่างๆ เช่น นำพลาสติไซเซอร์แต่ละชนิดมาผสมกับอาหารสูตรน้ำมะพร้าวเพื่อผลิตเซลลูโลส ซึ่งจะได้กระดาษที่มีสมบัติที่แตกต่างจากกระดาษชนิดอื่น เช่น มีความยืดหยุ่นดีขึ้น นอกจากจะได้กระดาษที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่แล้วยังช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง และยังสามารถช่วยอนุรักษ์ป่าไม้ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติอันมีค่ายิ่ง

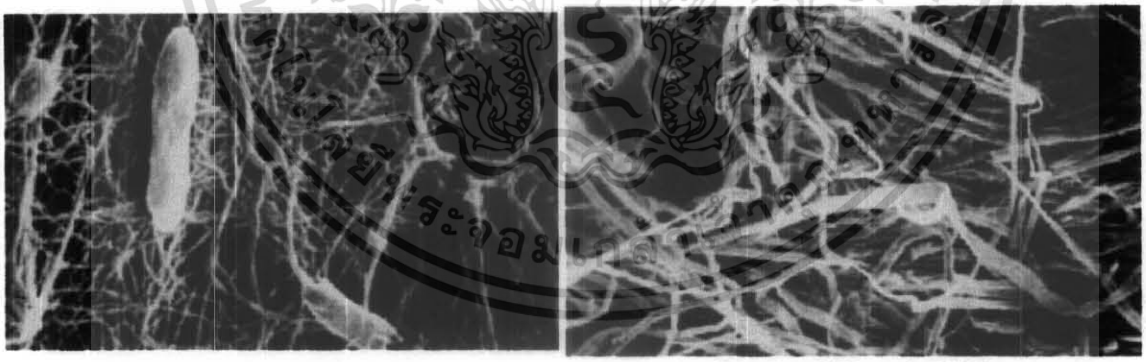
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แบคทีเรียที่สามารถผลิตเส้นใยเซลลูโลสได้ (Bacterial cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช แต่มีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถสร้างเซลลูโลสได้ เซลลูโลสที่สร้างจากแบคทีเรียนั้นจะเรียกว่า เซลล์ไบโอเซลลูโลส (celled biocellulose) หรือแบคทีเรียเซลลูโลส (bacterial cellulose) เซลลูโลสที่ได้จากพืชและเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรียมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 1

ในปัจจุบันนี้ พบแบคทีเรียบางชนิดสามารถผลิตเส้นใยเซลลูโลสได้ เช่น แบคทีเรียใน Genus *Acetobacter* เช่น *A. aceti* *A. rancens* *A. pasteurianum* *A. kuetzigianum* แต่ที่นิยมใช้กันคือเชื้อ *A. xylinum* หรือมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *A. aceti* subspecies *xylinum* เส้นผ่านศูนย์กลางของเซลลูโลสที่ผลิตได้มีประมาณ 1/100 เท่าของเซลลูโลสที่ได้จากพืช และมีค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) ใกล้เคียงกับอะลูมินัม ดังนั้นจึงมีการศึกษาเรื่องการนำเส้นใยเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาใช้เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ รวมทั้งการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่างๆ และได้มีการวิจัยถึงการเพิ่มผลผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค



รูปที่ 1 เซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรียและพืช

ที่มา : http://www.res.titech.ac.jp/~junkan/english/cellulose/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

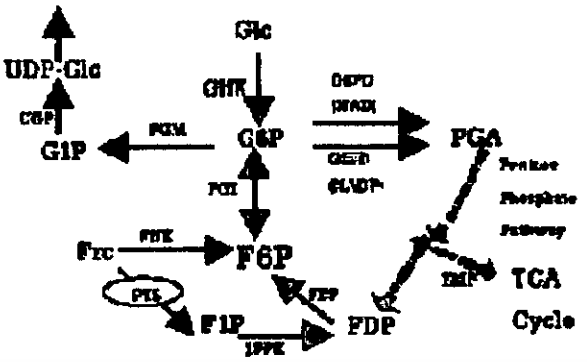
2.2 การสังเคราะห์เซลลูโลสโดยเชื้อแบคทีเรียเซลลูโลส

ลักษณะและคุณสมบัติทางชีวเคมีของเชื้อ *A xylinum* มีดังนี้คือ เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาว ยาวประมาณ 2 ไมโครเมตร ไม่มีแฟลกเจลลา ที่ผนังเซลล์ปกคลุมด้วยชั้นของเมือกลื่น อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือเป็นเส้นสาย ไม่เคลื่อนที่ ติดสีแกรมลบ ต้องการอากาศในการเจริญ สามารถเจริญได้ในน้ำหมักที่เป็นกรดสามารถสร้างกรด กลูโคส เอธิลและโพรพิลแอลกอฮอล์ได้ สามารถออกซิไดซ์เอทานอลเป็นกรดอะซิติก และออกซิไดซ์กรดอะซิติกไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่รีดิวซ์ไนเตรต ให้ผลการทดสอบ catalase เป็นบวกไม่มีการเปลี่ยนสีลิตมัสมิลค์ สามารถสร้าง 5-ketogluconate, 2-ketogluconate และ gluconate ได้ไม่มีการสร้างอัลโดส, α-pyrone และไม่สร้างสีน้ำตาล คุณสมบัติสำคัญที่ทำให้แยกจุลินทรีย์ตัวนี้ได้คือ ความสามารถในการสร้างเยื่อเหนียวที่สามารถยึดเซลล์ให้รวมกันและให้ผลบวกเมื่อทำการทดสอบเซลลูโลส

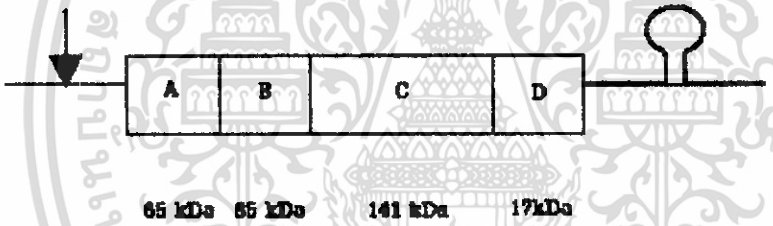
ลักษณะการผลิตเซลลูโลสโดยแบคทีเรีย *A.xylinum* เป็นแบบ Growth Assosiated (Ishikawa *et at*, 1995) มีลักษณะสำคัญคือการเจริญเติบโตและการผลิตเซลลูโลสเกิดพร้อมกัน โดยในระหว่างการเจริญเติบโต (trophophase) แบคทีเรียจะมีการเพิ่มจำนวนเซลล์เป็นจำนวนมาก และมีการผลิตเซลลูโลสออกมาน้อย แต่ในช่วงผลิตผลิตภัณฑ์คือเซลลูโลส (iodophase) จะมีการเจริญของเซลล์เพียงเล็กน้อยแต่มีการผลิตเซลลูโลสสูงสุด โดยเส้นใยเหล่านี้จะเจริญอยู่บริเวณผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (liquid culture) ซึ่งถ้าเปรียบเทียบโครงสร้างและวิถีของการสังเคราะห์พบว่าเส้นใยจากแบคทีเรียจะประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ มากมายเชื่อมกันเป็นร่างแห ซึ่งต่างจากเส้นใยจากพืช

กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีวิถีดังแสดงในรูปที่ 2 ในระหว่างการสังเคราะห์เซลลูโลส แบคทีเรียต้องการอากาศและแหล่งคาร์บอน เพื่อประสานโครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสในปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่น การสังเคราะห์เริ่มจากน้ำตาลกลูโคสถูกเมตาบอไลซ์ (metabolize) ผ่านทาง pentose phosphate pathway โดย cellulose pathway จะแยกออกที่ glucose-6-phosphate (G6P) และตัว direct precursor ของการสังเคราะห์เซลลูโลสก็คือ UDP-glucose ซึ่งการสังเคราะห์ UDP-glucose จาก G6PD นั้น จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกัน โดยพบว่าการทำงานของเอนไซม์ phosphoglucose isomerase จะแตกต่างกันไปมากขึ้น เอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมสูงเมื่อแหล่งคาร์บอนคือ น้ำตาล fructose UDP-glc จะถูกพอลิเมอไรซ์ (polymerized)ไปเป็นเซลลูโลส และเซลลูโลสจะถูกปล่อยสู่อาหารเลี้ยงเชื้อ โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นใยเจริญอยู่บริเวณผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเส้นใยนี้จะประกอบด้วยโปรตีนอย่างน้อย 4 ชนิด ซึ่งจะถูกควบคุมโดย cellulose synthase operon (รูปที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วิถีการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *Acetobacter xylinum*
ที่มา : http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/cellu.html



รูปที่ 3 โครงสร้างของ Cellulose Synthase (bcs) Operon
ที่มา : http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/cellu.html

โดยยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลส คือ bcs A, bcs B, bcs C และ bcs D ได้มีการทดลองพบว่ายีน bcs A, B และ C มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ส่วนยีน bcs D นั้นจะมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส ซึ่งผลของการทดลองพบว่าถ้าทำให้ยีน bcs D ลดกิจกรรมลง พบว่าจะทำให้การสังเคราะห์ เซลลูโลสลดลงถึงร้อยละ 40 ด้วย

แบคทีเรียเซลลูโลสที่สังเคราะห์ขึ้นจากแบคทีเรียจะเกิดการสะสมภายนอกเซลล์อย่างรวดเร็ว สารโพลีกลูแคนสายสั้น (polyglucan) ที่สังเคราะห์ภายในเซลล์ของแบคทีเรียจะถูกขับออกมาภายนอกเซลล์ผ่านทาง Pore like site ที่เรียงขนานกันตามความยาวของเปลือกเซลล์ (envelope) ของเชื้อ *A. xylinum* (Cousins *et al,* 1995) เปลือกเซลล์ประกอบด้วยสารประกอบไลโปโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) ซึ่งทำหน้าที่ขับสารตั้งต้นของเซลลูโลส (precellulosic polymer) ซึ่งเป็นโพลีกลูแคนออกจากเซลล์ โพลีเมอไรเซชั่นเป็นเซลลูโลสเกิดด้วยพันธะ β-1,4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

glucocidic จะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยมีเอนไซม์เซลลูโลสซินเตส ที่ถูกขับออกมานอกเซลล์เป็นตัวเร่ง อัตราความหนาของเส้นใยที่เกิดขึ้นประมาณ 2 นาโนเมตรต่อนาที เส้นใยเซลลูโลสเหล่านี้จะทำหน้าที่ล้อมรอบและหุ้มเซลล์ไว้ภายใน เพื่อป้องกันแสงอัลตร้าไวโอเลต (UV) และอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์และการผลิตเซลลูโลสโดยตรง

ในการผลิตเซลลูโลสจาก *A. xylinum* นั้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีการให้อากาศและมีการเขย่าจะให้ผลดีที่สุด สำหรับการสร้างเซลลูโลสจะเกิดขึ้นในเซลล์ของแบคทีเรียและเส้นใยเหล่านี้จะถูกขับออกมาทางรูของเซลล์เมมเบรน (รูปที่ 4)

รูปที่ 4 การสร้างเซลลูโลสในเซลล์ของแบคทีเรีย

ที่มา : http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/cellu.html

ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสของเชื้อ *Acetobacter* นั้นได้ทำการเปรียบเทียบการเลี้ยงเชื้อในสภาพนิ่ง (static) และสภาพที่มีการเขย่า (agitation) พบว่าการเลี้ยงแบบสภาพนิ่งจะทำให้เส้นใยเจริญและจับตัวกันแน่น ทำให้สภาพอาหารเลี้ยงเชื้อมีความหนืดสูงกว่าการเลี้ยงแบบเขย่า นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มกรดคาร์บอนิคจะช่วยให้เซลล์มีการเจริญเติบโตดีในช่วงของ lag phase และยังช่วยเพิ่มการผลิตเซลลูโลสด้วย การเพิ่มกรดแลกติกลงในอาหารเลี้ยงเชื้อจะช่วยให้เชื้อสังเคราะห์ ATP ได้ดีขึ้น โดยจะไปเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ lactate dehydrogenase และ TCA cycle

สำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ ในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสแบ่งออกได้ดังนี้

1) กระบวนการหมักบนอาหารเหลวในภาชนะ

การหมักวิธีนี้โดยทั่วไปใช้น้ำมะพร้าว ซึ่งเป็นวัตถุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และภาชนะที่ใช้หมักเป็นถาดอลูมิเนียมหรือพลาสติกผิวเรียบ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนโดยใช้น้ำตาลซูโครสให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5-10 และค่าพีเอชเริ่มต้นปรับด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นให้อยู่ในช่วงค่าพีเอช 4.0-5.0 ธาตุอื่นๆ ที่เติม เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) (วราวุฒิและคณะ, 2535)หรือไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($(NH_4)_2HPO_4$) (Lapuz *et al*, 1967) สำหรับเป็นแหล่งไนโตรเจน การฆ่าเชื้อใช้วิธีการต้มให้เดือด เมื่ออาหารเย็นลงเทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในถาดอลูมิเนียมหรือพลาสติกผิวเรียบ ให้มีระดับความลึก 10-15 เซนติเมตร คลุมภาชนะด้วยผ้าขาวบางที่ฆ่าเชื้อแล้วบ่ม รมควันฆ่าเชื้อห้องบ่มด้วยไซยาไนด์ก่อนการหมัก 2-3 วัน ห้องมีการระบายอากาศ จากนั้นใส่กล้าเชื้อที่มีอายุ 24 ชั่วโมง ประมาณร้อยละ 10-40 (วราวุฒิและคณะ, 2536) หลังจากการหมักเป็นเวลา 7-14 วัน แบคทีเรียจะผลิตเซลลูโลสบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ เซลลูโลสที่ได้มีลักษณะสีขาวครีม มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและแน่น

การหมักวิธีนี้อัตราการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสในช่วง 10 วันแรกของการหมักจะมีอัตราการผลิตสูง ดังนั้นในการควบคุมการหมักจำเป็นต้องคำนึงถึงแหล่งอาหารให้มีทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับสายพันธุ์ที่ได้ผ่านการคัดเลือกมาแล้ว หลังจาก 10 วันแรกของการหมัก พบว่าอัตราการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสต่ำลง เนื่องจากธาตุอาหารเหลือน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อแบคทีเรียสร้างเซลลูโลสบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อมีความหนามากขึ้น ทำให้อากาศซึมผ่านลงไปได้ยากขึ้น จึงมีผลต่ออัตราการเจริญและการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลส ในระหว่างการหมักควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ช่วง 28-35 องศาเซลเซียสและปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 3.5-4.0 โดยการเติมกรดอะซิติก

นอกจากน้ำมะพร้าวและน้ำสับปะรด แล้วยังสามารถผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสได้จากหางนมหรือเวย์ (whey) ซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้ส่วนใหญ่จากการผลิตเนยแข็งหรือการแยกเคซีน (casein) ซึ่งหางนมมีส่วนประกอบโดยประมาณดังนี้ น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 4.8 โปรตีนร้อยละ 0.85 ไขมันร้อยละ 0.35 แร่ธาตุร้อยละ 0.60 และน้ำร้อยละ 93.40 หางนมสามารถนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสโดยเชื้อ *A. xylinum* แบบอยู่กับที่ในถาด อัตราการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ ผลผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสมีความสัมพันธ์กับอัตราการใช้สารอาหาร การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสจะมีอัตราลดลงเมื่อสารอาหารมีความเข้มข้นสูง เนื่องจากมีการผลิตกรดกลูโคนิกจากน้ำตาลกลูโคสบางส่วน และเกิด catabolite repression มีการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในน้ำหมักมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสลดลง

2) กระบวนการหมักในอาหารเหลวในถังหมัก

Toyosaki และคณะ (1995) ได้รายงานผลการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลส โดยใช้เชื้อ *A. xylinum* BPR 2001 ในถังหมักและใช้อาหารเหลว CSL-fructose medium พบว่าการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสมีประสิทธิภาพสูง องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อประกอบด้วยน้ำแช่ข้าวโพด (CSL) และน้ำตาลฟรุกโตส ทำการฆ่าเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเย็นลงจะใส่กล้าเชื้อที่มีอายุ 24 ชั่วโมง ประมาณร้อยละ 5-10 ให้เชื้อเจริญในสภาพที่มีอัตราการกวนและให้อากาศ ควบคุมค่าพีเอชในระหว่างหมักให้คงที่ประมาณ 5.0 ด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และก๊าซแอมโมเนีย ควบคุมอุณหภูมิของหมักที่ 28-32 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 1,000 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1 ปริมาตรต่อนาที ระยะเวลาในการหมัก 3-5 วันซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้รับจากกระบวนการหมักจะมีลักษณะเป็นเม็ด การหมักในอาหารเหลวมีหลายรูปแบบ เช่น การหมักแบบกะ ทั้งการหมักในถังหมักเดี่ยวและหลายถังหมัก แบบกึ่งกะและแบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสก็ยังใช้กรรมวิธีการหมักแบบกะ เนื่องจากประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ ปัจจัยอื่น ได้แก่ ชนิดของใบพัดในถังหมัก ความเร็วรอบในการกวน ปริมาณอากาศและค่าพีเอช ก็มีผลต่อการเลี้ยงเซลลูโลสด้วย

การหมักแบบกะในอาหารเหลวมีข้อดีคือ ใช้วัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบได้ทุกชนิด ผลผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสูงกว่าการหมักแบบบนอาหารเหลวร้อยละ 40 ปรับปรุงวิธีและควบคุมกระบวนการหมักได้ง่าย ใช้พื้นที่และแรงงานคนน้อยและสามารถควบคุมสภาพปลอดเชื้อได้ง่าย

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์เซลลูโลสโดยแบคทีเรีย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ตลอดจนการสังเคราะห์เซลลูโลสของเชื้อ *A. xylinum* มีดังต่อไปนี้

1) แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์เซลล์และพลังงาน โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เจริญในสภาพวะที่ไม่มีอากาศจะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณร้อยละ 10 ในการสังเคราะห์เซลล์ ส่วนแบคทีเรียที่เจริญในสภาวะที่มีอากาศจะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณร้อยละ 50-55 ในการสังเคราะห์เซลล์ (Stanbury and Whitaker, 1948) ในการผลิตเซลลูโลสโดยเชื้อแบคทีเรียนี้ต้องการแหล่งคาร์บอนที่จำเพาะเจาะจงและแน่นอนสำหรับใช้ในการสร้างเซลลูโลส ในกรณีนี้ซึ่งพบว่าเซลลูโลสจากแบคทีเรียซึ่งเป็นสารประเภทโฮโมโพลีแซคคาไรด์ที่สังเคราะห์โดยเอนไซม์ชนิดเดียว แต่เชื้อแบคทีเรียที่ต้องการแหล่งคาร์บอนที่ไม่จำเพาะเจาะจง สามารถสังเคราะห์เซลลูโลสได้จากแหล่งคาร์บอนหลายชนิด (Crueger and Crueger, 1982)

Hestin และคณะ (1947) รายงานว่าแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูโลสโดยเชื้อ *A. xylinum* เช่น น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ตามลำดับ แหล่งไนโตรเจนอนินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต

Alaban (1962) ได้ศึกษาชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูโลสของเชื้อ *Acetobacter* sp. ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส ซูโครส กาแลคโตส แมนนิทอล มอลโทส แลคโตส และอะราบิโนส พบว่าการหมักเซลลูโลสในซับสเตรทที่มีน้ำตาลกลูโคส ซูโครสและกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบ สามารถผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสได้สูงกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ ผลผลิตของแบคทีเรียเซลลูโลสต่อน้ำตาลชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

Lapuz และคณะ (1967) พบว่าความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลสจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5-7 และได้นำเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเซลลูโลสได้หลายสายพันธุ์มาเพาะเลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าวที่มีการเติมน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 5 เพื่อศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลส พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 4.0-6.0 ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมประกอบด้วยเปปโตนและสารสกัดจากยีสต์ แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส และแลคโตส ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลของแหล่งคาร์บอนชนิดต่างๆ ในการสังเคราะห์เซลลูโลสของเชื้อ *A. xylinum*

แหล่งคาร์บอน	ชนิด	ผลผลิตของเซลลูโลส (%)
Monosaccharide	D-fructose	92
	D-galactose	15
	D-glucose	100
	D-mannose	3
	D-xylose	11
	D-arabinose	14
	D-sorbose	11
Disaccharide	Lactose	16
	Maltose	7
	Sucrose	33
	Starch	18
	Ethanol	4
	Ethylene glycol	1
	Diethylene glycol	1
	Propylene glycol	8
	Glycerol	93
	Myo-inositol	17
Organic acids	Citric acid	20
	L-malic acid	15
	Succinic acid	12
Other	D-glucono lactone	62
	No carbon source	2

ที่มา : Satoshi และคณะ (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Masoka และคณะ (1993) พบว่าผลผลิตของแบคทีเรียเซลลูโลสมีความสัมพันธ์กับการใช้น้ำตาลกลูโคส ผลผลิตของแบคทีเรียเซลลูโลสลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิก และกรดคีโตกลูนิก

แหล่งคาร์บอนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์เซลลูโลสของเชื้อ *Acetobacter* sp. โดยเป็นแหล่งให้พลังงานแก่เซลล์และเป็นองค์ประกอบหลักของแบคทีเรียเซลลูโลส ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ ซึ่งรวมทั้งน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส กาแลคโตส ซูโครส มอลโทส และแมนโนส เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อแบคทีเรียผลิตเซลลูโลสบางสายพันธุ์มีความสามารถในการใช้สารในกลุ่มแอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอล ไกลคอล เอทานอลและโพรพานอล เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเป็นแหล่งให้พลังงาน (Yoshinaga และคณะ, 1997)แหล่งคาร์บอนที่ต่างกันมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ phosphocose isomerase และแหล่งคาร์บอนที่เป็นน้ำตาลฟรุกโตส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ UDPG pyrophosphorylase สูงขึ้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส

2) แหล่งไนโตรเจนและสารอาหารอื่นๆ

เซลล์แบคทีเรียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักแห้ง ความต้องการไนโตรเจนของแบคทีเรียแต่ละชนิดแตกต่างกันไป แบคทีเรียบางสายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีสารไนโตรเจนอนินทรีย์ แต่บางสายพันธุ์ต้องการสารไนโตรเจนอินทรีย์ แหล่งไนโตรเจนอนินทรีย์ที่สำคัญเป็นสารประเภทก๊าซแอมโมเนีย เกลือแอมโมเนียมและไนเตรท สำหรับแอมโมเนียมซัลเฟต ปกติเมื่อแอมโมเนียม (NH_4^+) ถูกใช้ไปจะทำให้ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเป็นกรด เพราะจะเกิดการสะสมอนุมูลซัลเฟต (SO_4^{2-}) ขึ้น ส่วนก๊าซแอมโมเนียและไนเตรท เมื่อถูกเมตาบอไลท์และทำให้เกิดสภาวะที่เป็นด่างในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Stanbury and Whitaker, 1984) สารไนโตรเจนอินทรีย์ที่สำคัญ ประกอบด้วยเปปโตน สารสกัดจากยีสต์ และเคซีน

Stanbury และ Whitaker (1984) รายงานว่าธาตุอาหารอื่นๆ มีความจำเป็นเกี่ยวกับอัตราการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลสภายนอกเซลล์ เช่น แหล่งไนโตรเจน แคลเซียม และฟอสเฟต เป็นต้น อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณของธาตุอาหารที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูโลส รวมถึงสภาวะการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูโลส เช่น พีเอช อุณหภูมิ และการให้อากาศ แหล่งไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ถ้ามีปริมาณสูงจะลดประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารคาร์โบไฮเดรตเป็นแบคทีเรียเซลลูโลส สำหรับไนไตรท์และไนเตรท แบคทีเรียไม่สามารถใช้ได้และยังเป็นพิษต่อเชื้ออีกด้วย (Lapuz *et al*, 1967)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อุณหภูมิ

Alaban (1962) และ Lapuz และคณะ (1967) ได้รายงานสอดคล้องกันว่าในการหมักเชื้อ *Acetobacter* sp. ในน้ำมะพร้าวที่อุณหภูมิในช่วง 10-45 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เชื้อสามารถเจริญเติบโตได้แต่จะไม่ผลิตเซลลูโลส การสังเคราะห์เซลลูโลสจะเริ่มมีการผลิตตั้งแต่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจนถึงช่วงอุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เชื้อสามารถเจริญเติบโตและผลิตเซลลูโลสในปริมาณสูง เมื่ออุณหภูมิสูงจะเกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของเอนไซม์หรือการเสียสภาพโปรตีน โครงสร้างของแฟลกเจลลา ไรโบโซม โปรโตพลาสและไมโตคอนเดรีย

Krusong และ Yoshida (1995) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตและการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลส ในการผลิตสารโพลีแซคคาไรด์ของเชื้อ *Escherichia coli* โดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 20 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณสารโพลีแซคคาไรด์ที่แบคทีเรียสังเคราะห์ขึ้นจะต่ำกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

4) อัตราการให้อากาศ

Krusong และ Yoshida (1995) พบว่าปริมาณการให้อากาศและปริมาณออกซิเจนมีผลต่อการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลสของเชื้อ *A. xylinum* โดยมีผลกับปริมาณพลังงานที่สร้างขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ ในกรณีของแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* และ *Aerobacter aerogenes* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะไม่มีอากาศ พบว่ามีการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลสในปริมาณที่ต่ำกว่าสภาพที่มีอากาศ โดยการสังเคราะห์ต่ำกว่าร้อยละ 25-40 กรณีของเชื้อ *A. xylinum* พบว่าในสภาพที่ไม่มีอากาศ ไม่สามารถสังเคราะห์เซลลูโลสได้เลย การสังเคราะห์เกิดขึ้นได้ต่อเมื่อปริมาณก๊าซออกซิเจนมีเพียงพอต่อความต้องการของเซลล์เท่านั้น

Guzman และคณะ (1982) รายงานว่าปริมาณอากาศมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส โดยได้ศึกษาการผลิตของเชื้อ *A. xylinum* ในการศึกษาใช้กระบวนการหมัก 2 แบบ คือ แบบอยู่กับที่ให้เกิดแบคทีเรียเซลลูโลสขึ้นเองที่ผิวหน้าของอาหารเหลวเปรียบเทียบการหมักที่มีการให้อากาศและมีการกวนตลอดเวลา (submerged culture) ในถังหมักขนาด 1 ลิตร อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 1.25 ปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที ปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผลิตได้ร้อยละ 22.47 และ 71.52 ตามลำดับ

Ebner (1982) พบว่าเชื้อ *Acetobacter* sp. มีเอนไซม์อไฟเรส (aprayrase) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายพลังงาน ATP (ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานและมีการสะสมในระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติก) ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เหลือพลังงาน ATP สำหรับกิจกรรมของเมแทบอลิซึมอื่นๆ ของเซลล์ในระดับต่ำ ดังนั้นเมื่องดให้พลังงาน ATP ในแหล่งเก็บพลังงานหรือ ATP pool สูญเสียไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alaban (1962) ได้ศึกษาการหมักเชื้อ *A. xylinum* บนเครื่องเขย่าโดยการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณต่างกัน คือ 25 50 75 100 และ 125 มิลลิลิตร บรรจุในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณอาหารเลี้ยงเชื้อ 75 มิลลิลิตร ให้ผลผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสปริมาณสูงสุด

ปริมาณอากาศมีส่วนสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียสังเคราะห์เซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทำให้การแผ่กระจายของอากาศลดลง เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์เซลลูโลสลดลง เนื่องจากความหนืดของอาหารเลี้ยงเชื้อเพิ่มขึ้น Kouda และคณะ (1997) ได้ศึกษาการส่งผ่านออกซิเจน (oxygen transfer) ในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยเชื้อ *A. xylinum* BPR2001 เพื่อผลิตเซลลูโลส พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความหนืดสูงทำให้อัตราการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนลดลง เป็นผลให้ก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความหนืดของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวจำกัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ด้วย ชนิดของใบกวนในถังหมักแบบ Maxblen และ Gate with turbine ช่วยเพิ่มการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนได้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากใบกวนช่วยเพิ่มฟองอากาศในอาหารเลี้ยงเชื้อและช่วยเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับอาหารเลี้ยงเชื้อทำให้ค่า K_La สูงขึ้นและนอกจากนี้ Kouda และคณะ (1997) ยังพบว่าการเพิ่ม partial pressure ของก๊าซออกซิเจนในถังหมัก แบคทีเรียสามารถผลิตเซลลูโลสได้สูงขึ้นและลดพลังงานในการกวน

5) ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อ

Ohara และคณะ (1992) รายงานว่าค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเซลล์และการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการหมัก แบคทีเรียที่ผลิตเซลลูโลสส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าพีเอช 4.0-4.5 และค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยสลายสารอาหาร รวมถึงการยอมให้สารอาหารผ่านผนังเซลล์ได้

Alaban (1962) ได้ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ ในการเพาะเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* พบว่าค่าพีเอช 4.0-5.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลส พีเอช 3.0 ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจะลดลงและที่ค่าพีเอชมากกว่า 8.0 เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การเติมกรดอะซิติกในอาหารเลี้ยงเชื้อร้อยละ 1-10 ลงในน้ำมะพร้าว นอกจากเป็นการปรับค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อ *Aspergillus* sp. ได้ เมื่อเติมกรดอะซิติกร้อยละ 1 และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดเป็นร้อยละ 2 จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อ *Pennicillium* sp. และ *Bacillus* sp. ได้ และมีรายงานว่ากรดอะซิติกที่เติมในอาหารเลี้ยงเชื้อทำให้มีค่าพีเอชประมาณ 4.0-5.0 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum* มีผลโดยตรงต่อเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์โปรโตพลาสซึม และการแบ่งเซลล์ของเชื้อ *A. xylinum* และเชื้อจุลินทรีย์ยังสามารถนำกรดอะซิติกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้อีกด้วย (Naritomi และคณะ, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mosaoka และคณะ (1993) รายงานว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมก่อนการหมักเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการผลิตเซลลูโลสของเชื้อ *Acetobacter* sp. และยังช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อราและแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่ไม่สามารถทนต่อการเป็นกรดได้

2.4 อุตสาหกรรมกระดาษ (สมาคมการพิมพ์ไทย,2548)

อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่อง มาจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยเป็นการใช้เยื่อกระดาษ มาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่าง ๆ และเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐาน ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถทดแทนการนำเข้าได้อย่างมาก อัตราการขยายตัวของอุตสากรรมนี้ เป็นตัวบ่งชี้ความเจริญก้าวหน้าทางสังคม และการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศได้เป็นอย่างดี โดยอัตราการบริโภคกระดาษของคนไทยโดยเฉลี่ยมีประมาณ 40 กิโลกรัม/คน/ปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความต่อเนื่องกันอย่างเห็นได้ชัด การผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าวแต่ละประเภทเริ่มมีความสมดุลมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอุตสาหกรรมขั้นต้น อันได้แก่ อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยเฉพาะเยื่อใยสั้น มีกำลังการผลิตที่สามารถรองรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้อย่างเพียงพอ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมกระดาษ ได้มีการใช้เทคโนโลยีและเงินทุนสูง (Technology and Capital Intensive) เช่นเดียวกับการผลิตเยื่อกระดาษ มีโรงงานกระดาษทั้งหมด ประมาณ 52 โรง ซึ่งผู้ผลิตแต่ละราย อาจผลิตกระดาษได้มากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ กำลังการผลิตมีรวมกันประมาณ 3.65 ล้านตัน(พ.ศ.2543) โดยกระดาษที่มีอัตราการขยายกำลังการผลิตสูงสุดคือ กระดาษคราฟท์ เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.27 กระดาษอนามัยร้อยละ 8.10 จากกำลังการผลิตกระดาษทั้งหมด เป็นกระดาษคราฟท์ร้อยละ 60.55 กระดาษพิมพ์เขียนร้อยละ 26.92 กระดาษแข็งและกล่องร้อยละ 6.98 กระดาษอนามัยร้อยละ 2.19 และกระดาษหนังสือพิมพ์ร้อยละ 3.34 ตามลำดับ ซึ่งจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

1. กระดาษคราฟท์ ปัจจุบันมีผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ ประมาณ 17 ราย มีกำลังการผลิตโดยรวมประมาณ 2,211,000 ตัน ผู้ผลิตรายใหญ่ ได้แก่ บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม บริษัทปัญจพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ และบริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ โดยมีสัดส่วนกำลังการผลิตรวมกันประมาณร้อยละ 60 ของกำลังการผลิตกระดาษคราฟท์ทั้งหมด ลักษณะอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษคราฟท์ของไทยเป็นการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศเป็นสำคัญ ส่วนใหญ่จำหน่ายให้กับโรงงานผลิตกล่อง และถุงกระดาษในประเทศ

2. กระดาษพิมพ์เขียน ปัจจุบันมีผู้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนประมาณ 13 ราย มีกำลังการผลิตโดยรวม ประมาณ 983,000 ตัน ปัจจุบันกำลังการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน เพียงพอต่อความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศ ผู้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนรายใหญ่ ได้แก่ บริษัทไฮเทคเปเปอร์ บริษัทเซ็นทรัล อุตสาหกรรมกระดาษ บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษบางปะอิน บริษัทกระดาษศรีสยาม และบริษัท เทพพัฒ นากระดาษ มีกำลังการผลิตรวมกันร้อยละ 75 ของกำลังการผลิตทั้งหมด ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่จะจำ หน่ายภายในประเทศเกือบทั้งหมดที่เหลือจึงจะส่งออก ประมาณการผลิตกระดาษพิมพ์เขียนขึ้นกับภาวะการณ์เศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการขยายตัวของการศึกษา

3. กระดาษแข็งและกล่อง ปัจจุบัน มีผู้ผลิตกระดาษแข็งและกระดาษกล่อง ประมาณ 14 ราย มีกำลังการผลิต ประมาณ 255,000 ตัน ผู้ผลิตรายใหญ่ ได้แก่ บริษัทบูรพาอุตสาหกรรม บริษัท โรงงานกระดาษเทนมาประเทศไทย บริษัทบางเลนเปเปอร์ และบริษัทอุตสาหกรรมไทย ซึ่งมีกำลังการผลิตรวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ55ของกำลังการผลิตรวม

4. กระดาษอนามัย ในปัจจุบันมีผู้ผลิต 6 ราย ได้แก่ บริษัท กระดาษเซลล็อกซ์ กระดาษไทยสก็อตต์ บริษัทคิมเบอร์ลี่ย์คล๊าก ประเทศไทย และห้างหุ้นส่วน จำกัด อุตสาหกรรมกระดาษแม่น้ำ บริษัทกระดาษธนาธาร และบริษัทวังขนายเปเปอร์ มีกำลังการผลิต โดยรวมประมาณ 80,000 ตัน ซึ่งในจำนวนผู้ผลิตรายใหญ่ 3 ราย ได้แก่ บริษัทไทยสก็อตซ์ บริษัทคิมเบอร์ลี่ย์คล๊าก และบริษัทกระดาษเซลล็อกซ์ มีสัดส่วนกำลังการผลิตรวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของกำลังการผลิตรวม อย่างไรก็ตามถึงแม้การผลิตจะเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ต้องเผชิญกับการแข่งขันมาก เช่นกัน ทั้งนี้เพราะตลาดกระดาษอนามัย ในประเทศค่อนข้างอิ่มตัว ผู้ผลิตในประเทศมีการแข่งขันตัดราคากันเอง

5. กระดาษหนังสือพิมพ์ ในปัจจุบันมีผู้ผลิต 3 ราย คือ บริษัทชินโฮ-เปเปอร์ประเทศไทย บริษัทไทยนิวส์พริ้นส์ เปเปอร์ และบริษัทหลุยส์เปเปอร์กรุ๊ป มีกำลังการผลิตรวมกัน 122,000 ตัน ต่อปี ซึ่งแต่เดิมกำลังการผลิตของบริษัท ชินโฮ เพียงรายเดียว ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ทำให้มีผู้ผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มขึ้นเพื่อป้อนตลาดในประเทศมากขึ้น

กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมกระดาษมีกระบวนการผลิตหลักๆ ที่สำคัญคือ การนำเยื่อกระดาษมาผสมกัน (เยื่อใยสั้น เยื่อใยยาว) ผ่านเยื่อที่ผสมแล้ว เข้าไปยังตะแกรง ชำระล้างสิ่งสกปรก และสารเคมีต่าง ๆ เยื่อที่ผสมแล้ว ผ่านเข้าสู่ลูกกลิ้งอบแห้ง ผ่านอ่างน้ำยาเติมสารเคมี ผ่านเข้าสู่ลูกกลิ้งอบแห้ง ขัดมันและตกแต่งผิวเข้าเครื่องม้วนตัด รอการจำหน่าย สำหรับรายละเอียดการผลิตในแต่ละชนิดของกระดาษ เช่น กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษแข็งกระดาษกล่อง กระดาษอนามัย มีรายละเอียดของกระบวนการผลิตที่พิเศษแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมที่ต้องอาศัยการผลิตที่ทันสมัย และมีประสิทธิภาพ แต่ปรากฏว่าในปัจจุบันอุตสาหกรรมนี้ มีผู้ผลิตรายใหญ่เพียงร้อยละ 5 ซึ่งมีเครื่องจักรหลักที่ใช้ในกิจการเป็นเครื่องจักรใหม่ และมีกรรมวิธีการผลิตที่ทันสมัย ในขณะที่ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นรายเล็กๆ ใช้เครื่องจักรเก่าจากต่างประเทศในการผลิต เนื่องจากมีเงินทุนจำกัดและกรรมวิธีการผลิตค่อนข้างล้าสมัยและมีประสิทธิภาพต่ำ ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการผลิตทั้งในด้านคุณภาพของกระดาษที่ไม่อาจทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศและปริมาณการผลิตของโลกไม่สมดุลกับความต้องการใช้

แม้ผู้ผลิตส่วนใหญ่แก้ปัญหาด้วยการหันมาใช้เยื่อในประเทศและเศษกระดาษมากขึ้น แต่ราคาเยื่อกระดาษและเศษกระดาษภายในประเทศก็สูงขึ้นตามราคาในตลาดโลกด้วย นอกจากนี้แล้วผู้ผลิตบางรายยังประสบกับปัญหาวัตถุดิบมีไม่เพียงพอและวัตถุดิบมีคุณภาพต่ำ

เคมีภัณฑ์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะจากญี่ปุ่นและกลุ่มประเทศยุโรปปรากฏว่าราคามีแนวโน้มสูงขึ้นจากเดิมมากเช่นกัน

2.5 กระบวนการผลิตและแบบการจำหน่ายกระดาษสำเร็จรูป

1. กรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบ : เยื่อกระดาษ เยื่อใยยาว ใยสั้นและอื่นๆ นำวัตถุดิบมาผสมกันตามสัดส่วนที่กำหนด (ขึ้นอยู่กับกระดาษที่จะผลิต)นำเยื่อผสมที่ได้เข้าสู่กระบวนการผลิต

2. กรรมวิธีการผลิตขั้นที่ 1 : ช่วงเปียก เยื่อผสมผ่านตะแกรงชำระล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีต่างๆเยื่อผสมที่เปียกผ่านลำเลียงสู่กระบวนการผลิตขั้นที่ 2 ต่อไป

3. กรรมวิธีการผลิตขั้นที่ 2 : ช่วงที่แห้ง นำเยื่อผสมเข้าสู่ลูกกลิ้งเพื่ออบแห้งด้วยเครื่องฉีดไอน้ำความร้อนสูง นำเยื่อที่ได้เข้าอ่างน้ำยาเคมีภัณฑ์เพื่อตกแต่ง นำเยื่อที่ผ่านการตกแต่งเข้าสู่ลูกกลิ้งเพื่ออบให้แห้งอีกครั้ง นำเยื่อมาเข้าสู่ลูกกลิ้งเพื่อขัดมันตกแต่งผิวกระดาษ

4. กรรมวิธีการผลิตขั้นที่ 3 : การตกแต่งผลิตภัณฑ์กระดาษ/การเก็บสินค้า นำเยื่อที่ได้ที่มีลักษณะเป็นม้วนเข้าสู่แกนขนาดใหญ่เพื่อม้วนเป็นชุดรอการจำหน่ายต่อไป นำเยื่อที่ได้ที่มีลักษณะเป็นม้วนตัดเป็นแผ่นๆแล้วเรียงซ้อนกันรอการจำหน่ายต่อไป เก็บผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไว้ในโกดังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

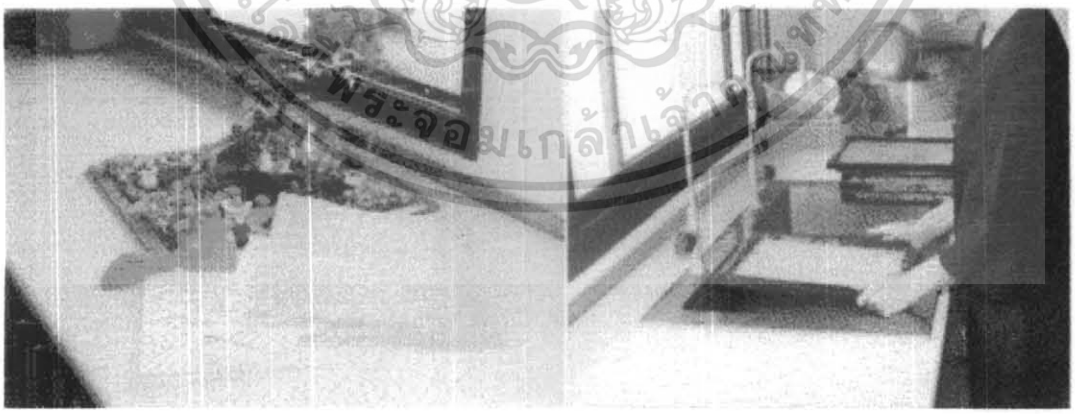
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6 กระดาษจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ

1. กระดาษจากเปลือกในกิ่งหม่อน

(http://www.moac.go.th/builder/mu/images/product_cocoon3.html)

กระดาษสา จัดเป็นกระดาษที่มีความเหนียว คงทน รักษาสภาพ เก็บไว้ได้นานและมีการทำมานานหลายชั่วอายุคน โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปอสา (*Broussonetia papyrifera* (L) Vent) ซึ่งเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตเร็วในสภาพธรรมชาติที่มีความชุ่มชื้น หุบเขา และริมแม่น้ำลำธาร มีชื่อสามัญว่า "Paper Mulberry" ในขณะที่ปอสามีการนำมาเข้าอย่างต่อเนื่องทำให้ต้นปอสาจากธรรมชาติลดน้อยลง และส่วนใหญ่อยู่ในเขตป่าอนุรักษ์ประกอบกับปอสาเป็นพืชวงศ์เดียวกับหม่อนที่ใช้เลี้ยงไหม คือ Moraceae ดังนั้นหม่อนซึ่งเป็นพืชที่ปลูกกันอยู่ทั่วไป คาดว่ามีศักยภาพในการนำมาทำกระดาษเช่นเดียวกับปอสา จากการศึกษาพบว่าเปลือกในกิ่ง (Inner bark) ของหม่อนสามารถนำมาทำกระดาษได้ดีตามขั้นตอนการผลิตกระดาษจากปอสา โดยเปลือกในกิ่งของหม่อนที่อายุ 6 เดือน หรือ 12 เดือน ให้ผลผลิตเปลือกในต่อพื้นที่ต่อปีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตเปลือกในกิ่งสดและแห้งของหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ได้ 265 และ 110 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ไม่แตกต่างจากหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 ที่ให้ผลผลิตเปลือกในกิ่งสด 226 กิโลกรัม ต่อไร่ต่อปี ผลผลิตเปลือกในกิ่งหม่อนจะต่ำกว่าปอสามาก แต่ขั้นตอนการทำกระดาษจากหม่อนตามกรรมวิธีของการทำกระดาษสา จะใช้เวลาน้อยกว่าเกือบทุกขั้นตอน ยกเว้นการลอกเปลือกในกิ่งเพราะเปลือกในกิ่งหม่อนมีความหนาน้อยกว่าปอสา นอกจากนี้กระดาษที่ทำจากหม่อนยังมีน้ำหนักและความเหนียวไม่แตกต่างจากกระดาษที่ทำจากปอสา ดังนั้นในอนาคตหม่อนอาจใช้เป็นพืชทดแทนปอสาในเวลาที่อุตสาหกรรมการทำกระดาษสาขาดแคลน



รูปที่ 5 การผลิตกระดาษจากเปลือกในกิ่งหม่อน

ที่มา http://www.moac.go.th/builder/mu/images/product_cocoon3.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72602

2.กระดาษจากเปลือกทุเรียน

(http://www.doa.go.th/public/plibai/plibai_46/september%2046/paper_durian.html)

ทุเรียนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญและได้ชื่อว่าเป็นหนึ่งใน Product Champion ของประเทศไทย ปัจจุบันมีการปลูกเป็นการค้าเกือบทุกภาคของประเทศ มากที่สุดก็คือภาคตะวันออก รองลงมาเป็นภาคใต้ ผลผลิตทุเรียนทั้งหมดได้มีการนำไปใช้บริโภคภายในประเทศในรูปของผลสดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ทุเรียนทอดกรอบ ทุเรียนกวนและอื่นๆ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งเป็นสินค้าออกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

ทุเรียนเริ่มให้ผลผลิตออกสู่ตลาดมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน นอกจากนี้มีทุเรียนออกนอกฤดูบ้าง ในบางพื้นที่ในฤดูที่ทุเรียนออกสู่ตลาดมาก ตามตลาดค้าทุเรียนพบว่ามีเปลือกทุเรียนกองอยู่มากมาย เพราะปัจจุบันพ่อค้าแม่ค้าทุเรียนได้อำนวยความสะดวกให้แก่ลูกค้าโดยฉีกทุเรียนแกะเอาเนื้อไปให้ เพื่อความสะดวกในการนำกลับไปบริโภค จากเปลือกทุเรียนสุกที่เห็นอยู่เกลื่อนไปตามตลาดแล้ว เปลือกทุเรียนดิบที่นำเอาเนื้อทุเรียนไปแปรรูปทำทุเรียนทอดกรอบยังมีอยู่อีกมากเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งเหล่านี้ ไม่สามารถนำไปแปรรูปเป็นอย่างอื่นได้ นอกจากทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์บ้าง นำไปเป็นเชื้อเพลิงบ้าง แต่ยังไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้โดยง่าย

สมทรง ปวีณการก์ และสมยศ เอี่ยมใบพฤกษ์ (2538) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูปเปลือกทุเรียนให้เป็นกระดาษ ปรากฏว่ามีความเป็นไปได้สูง ปัจจุบันกระดาษสากำลังเป็นที่นิยมใช้กันมาก เช่นนำมาทำร่ม ทำปกสมุด เป็นกระดาษห่อของขวัญ และอื่นๆอีกหลายอย่าง และคณะวิจัยเห็นว่าเปลือกทุเรียนปีหนึ่งๆมีเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทดลองนำเปลือกทุเรียนมาแปรรูปเป็นกระดาษเมื่อปลายปี 2545

ขั้นตอนการแปรรูปเปลือกทุเรียนเป็นกระดาษมีดังนี้

นำเปลือกทุเรียนที่แกะเนื้อออกแล้วนำมาล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำมาแช่สารละลายด่างทับทิม 1 กรัม หรือ 1/4 ช้อนชา ผสมน้ำ 20 ลิตร (1 ปี๊บ)แช่ไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำเศษกระดาษหรือกระดาษหนังสือพิมพ์ฉีกเป็นชิ้นเล็ก ๆ แช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ชั่งเปลือกทุเรียน และกระดาษตามอัตราส่วน 7:1 (เปลือกทุเรียน 7 ส่วนต่อกระดาษ 1 ส่วน) หรือเปลือกทุเรียน 1.75 กิโลกรัม และกระดาษ 0.25 กิโลกรัม จากนั้นนำเปลือกทุเรียนที่ชั่งแล้วมาต้มในน้ำ 4 ลิตร ต้มทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

ต่อจากนั้นนำเปลือกทุเรียนพร้อมน้ำต้มและกระดาษมาปั่นให้ละเอียด ใส่ลงถังที่เตรียมไว้ในการตัก เติมน้ำลงไป 40 ลิตร คนให้เข้ากัน ทำตะแกรง ซึ่งผลิตจากไนลอนเขียวเบอร์ 16 ขึ้นรูปเป็นกรอบไม้ ช้อนส่วนผสมของเปลือกทุเรียนและกระดาษใส่ตะแกรงเกลี่ยเส้นใยให้สม่ำเสมอกันทั่วตะแกรง ความหนาบางของกระดาษขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้เกลี่ยด้วย เสร็จแล้วนำไปตากแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 5 ชั่วโมง เส้นใยจะแห้งสามารถลอกออกเป็นแผ่นกระดาษได้ นำไปเก็บไว้ในที่แห้งเพื่อใช้ในงานประดิษฐ์ต่าง ๆต่อไป

สีของกระดาษที่ได้ออกมาเป็นสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีธรรมชาติ ถ้าต้องเพิ่มสีสันตามที่ต้องการ ให้เติมสีย้อมผ้าลงไปในถังก่อนตักลงตะแกรง (สีย้อมผ้า 20 กรัม / วัตถุดิบ 4 กิโลกรัม)

ถ้าต้องการเพิ่มเติมลวดลาย อาจนำกลีบดอกไม้หรือใบไม้ วางตกแต่งลงบนกระดาษหลังจากช้อนเอากระดาษขึ้นมา แล้วจึงนำไปตากแดด ลวดลายที่มีส่วนตกแต่งด้วยใบไม้ สวยงามแค่ไหนขึ้นอยู่กับแนวความคิดของผู้ทำว่าต้องการให้เป็นแนวไหน บางแผ่นอาจมีหนามทุเรียนเล็ก ๆ แซมออกมา มองเห็นแล้วรู้ได้ทันทีว่าเป็นกระดาษที่ทำมาจากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว สำหรับกระดาษที่แปรรูปจากเปลือกทุเรียนนี้ ไม่มีส่วนผสมของโซดาไฟ ทุกอย่างเป็นของธรรมชาติทั้งหมด เป็นการปลอดภัยกับผู้ใช้ด้วย

เปลือกทุเรียนเมื่อแปรรูปเป็นกระดาษแล้วจะมีคุณภาพเด่นเฉพาะตัว คือ ให้เส้นใยนุ่มและเหนียวกว่าเนื้อกระดาษสา สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถผสมไฟเบอร์ของผักผลไม้ต่าง ๆ กับเปลือกทุเรียนในการทำกระดาษ ทำให้กระดาษที่ได้มีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวต่างกันไป เช่น เปลือกเงาะ เพื่อให้ได้มีผิวกระดาษที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เปลือกมังคุดมีสีม่วงธรรมชาติ เปลือกแก้วมังกรได้กระดาษที่มีสีม่วงจากธรรมชาติและพื้นผิวสัมผัสนุ่ม ใบเตยได้กระดาษที่มีกลิ่นหอมธรรมชาติ และมีสีเขียวเฉพาะตัว เป็นต้น

สำหรับอัตราส่วนของการผสมไฟเบอร์ของผักและผลไม้กับเปลือกทุเรียนขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้และคุณสมบัติกระดาษตามที่ต้องการ แต่ไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมทั้งหมด เพราะทำให้กระดาษมีคุณภาพลดลง

เปลือกทุเรียนเมื่อนำมาแปรรูปเป็นกระดาษแล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ทั้งในรูปของใช้เบ็ดเตล็ด ของประดับตกแต่ง และอื่นๆ ส่วนจะนำมาผลิตเป็นอะไรนั้นขึ้นอยู่กับความคิดสร้างสรรค์ของผู้ประดิษฐ์ แต่ก็ควรเลือกให้เหมาะสมกับความหนาบาง สีและพื้นผิวของกระดาษจะทำให้ได้ผลงานที่มีคุณค่า และความสวยงาม

ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้จากกระดาษเปลือกทุเรียน เช่น กรอบรูป กล่องใส่ดินสอ กล่องใส่เครื่องประดับ กระดาษห่อของขวัญ เป็นต้น ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นสินค้าเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและสามารถทำสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศได้ด้วย เพราะกระดาษเปลือกทุเรียนจะมีคุณสมบัติเด่นเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวต่างจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ที่สำคัญคือ เป็นการกำจัดเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งไปในตัว แต่เป็นการกำจัดที่สามารถสร้างอาชีพเสริมให้แก่เกษตรกรได้ ทำให้เปลือกทุเรียนกลายเป็นเงินเป็นทอง เป็นการเพิ่มมูลค่าของเปลือกทุเรียนขึ้นมา ซึ่งทำได้ง่าย ทำให้สิ่งที่ไร้ค่ากลายเป็นสิ่งที่มีคุณค่าและมีประโยชน์อย่างมากมาย และสิ่งสำคัญคือ ทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กระดาษจากมันสำปะหลัง (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย)

ใช้ในขั้นตอนการบดเยื่อกระดาษก่อนทำให้เป็นแผ่น ทำให้กระดาษมีความเหนียว และใช้ในขั้นตอนการรีด และขัดมันหน้ากระดาษ รวมทั้งใช้เป็นตัวยึดและเพิ่มความหนาของกระดาษบางประเภท เช่น กระดาษปฏิทิน กระดาษกล่อง

2.7 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

(http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK28/chapter8/t28-8-l2.htm)

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่พลาสติก เช่น การบูร สไตรีน เมทิลเมธาคริเลต เป็นต้น พลาสติกที่แข็ง เปราะ สามารถทำให้อ่อน เหนียว ยืดหยุ่น เพิ่มความทนทานต่อความร้อน เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ และทำให้สามารถเติมฟิลเลอร์ได้เป็นปริมาณมากขึ้นได้โดยเติมพลาสติไซเซอร์ พลาสติกที่ได้จากกระบวนการนี้จะเรียกว่า พลาสติกพลาสติไซส์ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี ที่เราใช้กันอยู่ในขณะนี้ล้วนเป็นพีวีซีพลาสติไซส์ทั้งสิ้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticizers) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพสูง ใช้ได้โดยตรง แต่มักมีราคาแพง

2. พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizers) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าประเภทแรก นำไปใช้โดยตรงไม่ได้ ต้องใช้ควบคู่กับพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิแต่พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ สามารถเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอย่างได้ดีกว่า

2.8 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอลเป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโครงสร้าง $C_3H_8O_3$ [(HO)-CH_2-CH(OH)-CH_2(OH)] มีน้ำหนักโมเลกุล 92 สมบัติทางเคมีคล้ายแอลกอฮอล์ Hในหมู่(OH) มีสมบัติเป็นกรดที่อ่อนมากๆ ซึ่งเป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน โดยมีกรดหรือเบสเจือจางเป็นตัวเร่ง มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง มีความดันไอน้ำต่ำและไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ กลีเซอรอลใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางที่ให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวเรียกว่า มอยส์เจอร์ไรซ์เซอร์ (รัตนาและวิไลลักษณ์, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ซอร์บิทอล (Sorbital)

ซอร์บิทอลเป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182 ซอร์บิทอลพบในผักหรือผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล แพร์ และเชอรี่ เป็นต้น ในทางการค้าผลิต ดี-ซอร์บิทอล จากการเร่งปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของ ดี-กลูโคส โดยการย่อยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยเอนไซม์ ทำให้ได้ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาวซึ่งอยู่ในรูปของ แกมมา-ซอร์บิทอลซึ่งคงตัว มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่ง ละลายน้ำได้ดี สารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ ละลายได้น้อยในน้ำมัน เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3-60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะความยืดหยุ่นไว้ได้ (รัตนาและวิไลลักษณ์, 2549)

2.10 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)

เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนต่อแรงดึง แรงกระแทกและทรงตัวดี มีจุดหลอมตัวที่ 165 องศาเซลเซียส ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก มีการนำเอาโพลีโพรพิลีนไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ฟิล์มใส ฟิล์มห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มซองบุหรี่ เชือก แห อวน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น (รัตนาและวิไลลักษณ์, 2549)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นีโลบล สุวรรณาภินันท์ และคณะ (2539) ได้พัฒนากระดาษชนิดพิเศษหรือเรียกว่า พาร์ชเมนท์ จากวุ้นมะพร้าว ซึ่งมีลักษณะคล้ายแผ่นหนัง มีคุณสมบัติไม่ดูดซึมน้ำมัน ป้องกันการไหลผ่านเข้าออกของอากาศได้ เหนียวกว่ากระดาษธรรมดาหลายเท่าตัว สามารถเขียนลวดลาย และพิมพ์สีได้เหมือนกระดาษทั่วไป สามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงานหัตถกรรมได้หลากหลายชนิด อาทิ โคมไฟ บรรจุภัณฑ์อาหารไขมัน กล่องบรรจุเนย บัตรอวยพร นามบัตร วอลล์เปเปอร์ เครื่องใช้ในการเดินทางหรือเดินป่าชนิดน้ำหนักเบาคงทนแข็งแรง กระดาษทำปะเก็นสำหรับเครื่องจักรยานยนต์ ภาชนะบรรจุยา เคมีภัณฑ์และวัตถุระเบิด ซึ่งป้องกันน้ำและอากาศผ่านเข้าออก จากการทดลองใช้งานบรรจุน้ำมันนาน 5 ปี ไม่ปรากฏรอยรั่วแต่อย่างใด และยังสามารถขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ แต่ติดอยู่ที่ราคาต้นทุนต่อแผ่นยังแพง เมื่อเทียบกับวัสดุที่ใช้งานอยู่ในท้องตลาดสำหรับขั้นตอนการผลิตกระดาษพาร์ชเมนท์ชนิดพิเศษนี้ เริ่มจากการนำแบคทีเรียอะซีโตแบคเตอร์ ไซลินัม (*Acetobacter xylinum*) ที่ใช้ผลิตวุ้นมะพร้าวมาเลี้ยง ซึ่งสามารถเลือกเลี้ยงได้ใน 3 สภาวะ ได้แก่ ถาดนิ่ง ขวดเขย่า และถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยในแบบแรกนั้น จะใช้พื้นที่ค่อนข้างเยอะ และใช้เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงนานกว่า แต่ในแบบที่สองและสามนั้น จะใช้เวลาสั้นกว่า และให้ปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าถาดนึ่งถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้เส้นใยเซลลูโลสสำหรับนำไปผลิตเป็นกระดาษต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 จุลินทรีย์

3.1.1.1 เชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976

3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.2.1 น้ำมะพร้าวแก่

3.1.2.2 กลีเซอรอล

3.1.2.3 ซอร์บิทอล

3.1.2.4 โพลีโพรพิลีนไกลคอล

3.1.2.5 กรดอะซิติก

3.1.2.6 น้ำตาลทราย

3.1.2.7 แอมโมเนียมซัลเฟต

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ

3.1.3.1 อาหารสูตรน้ำมะพร้าว

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.4.1 ถาดพลาสติก

3.1.4.2 กระดาษหนังสือพิมพ์

3.1.4.3 หนังยางรัดถาด

3.1.4.4 เครื่องอัดรีดน้ำ

3.1.4.5 หม้อสแตนเลส

3.1.4.6 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อไอน้ำ (autoclave)

3.1.4.7 เครื่อง texture analyzer

3.1.4.8 เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง

3.1.4.9 วัสดุดูดซับน้ำ (แผ่นปูนปาสเตอร์)

3.1.4.10 ไมโครมิเตอร์

3.1.4.11 เวอเนียร์คาลิปเปอร์

3.1.4.12 กรอบยึดแผ่นเซลลูโลส

3.1.4.13 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.14 ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์

3.2.1.1 การเตรียมหัวเชื้อ (Starter)

นำน้ำมะพร้าวแก่มากรองด้วยผ้าขาวบางให้สะอาด ต้มให้เดือดนาน 15 นาที ขณะต้มเติมน้ำตาลทรายร้อยละ 5 แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.1 ยกลงจากเตา ทิ้งไว้ 10 นาที เติมกรดอะซิติกร้อยละ 1 ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ 5.0 แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกสำลีนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นถ่ายเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในสภาพนิ่งนาน 3 วัน วัดการเจริญของเชื้อโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร(ใช้น้ำกลั่นเป็น blank)

3.2.1.2 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆ

นำน้ำมะพร้าวแก่มากรองด้วยผ้าขาวบางให้สะอาด ต้มให้เดือดนาน 15 นาที ขณะต้มเติมน้ำตาลทรายร้อยละ 5 แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.1 ยกลงจากเตา ทิ้งไว้ 10 นาที เติมกรดอะซิติกร้อยละ 1 ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ 5.0 แบ่งบรรจุขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตรเติมพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆดังนี้ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และโพลีโพรพิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปิดด้วยจุกสำลีแล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเติมหัวเชื้อร้อยละ 10 ของปริมาตรอาหารที่ใช้ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในสภาพนิ่งนาน 10 วัน เก็บตัวอย่างแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาวัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ วัด 10 จุดต่อแผ่นเซลลูโลส 1 แผ่น หาค่าเฉลี่ยความหนาที่ได้

3.2.1.3 การผลิตกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลส

นำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาล้างน้ำให้สะอาดแช่ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำมาล้างน้ำ แล้วต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาที เพื่อไล่แอมโมเนียมออก นำแผ่นเซลลูโลสเข้าเครื่องอัดรีดน้ำ แล้ววางบนแผ่นปูนปาสเตอร์ จากนั้นจึงนำเข้าตู้อบอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแผ่นเซลลูโลสที่อบแล้วมาต้มในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที เพื่อฟอกสีให้มีสีขาว นำมาล้างน้ำให้สะอาด นำแผ่นเซลลูโลสเข้าเครื่องอัดรีดน้ำ ขึงตึงบนกรอบยึด นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จะได้แผ่นกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ได้

นำกระดาษที่ได้มาศึกษาสมบัติเชิงกลดังนี้ ค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA plus เปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ได้จากการใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่ทำให้กระดาษที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น จากนั้นคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมมาใช้ผลิตกระดาษ นำกระดาษที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติ ดังนี้

3.2.1.5 ศึกษาความสามารถในการซึมผ่านได้ของไอน้ำบนกระดาษ

นำแผ่นกระดาษที่ผสมพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมและกระดาษที่ไม่ได้ผสมพลาสติไซเซอร์ (ชุดควบคุม) มาวัดความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำโดยใช้เครื่อง Water vapor permeation tester ; Lyssy L800-4000 ทดสอบโดยใช้วิธี ISO 15101-1 : 2003 (E) Plastic-Film and sheeting – Determination of Water vapour transmission rate Part I : Humidity detection sensor method

3.2.1.6 ศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนบนกระดาษ

นำแผ่นกระดาษที่ผสมพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมและกระดาษที่ไม่ได้ผสมพลาสติไซเซอร์ (ชุดควบคุม) มาวัดความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน โดยใช้เครื่อง Oxygen permeation tester ; Illinois 8000 ทดสอบโดยวิธี ASTM D 3985-02 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastis Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับพลาสติไซเซอร์

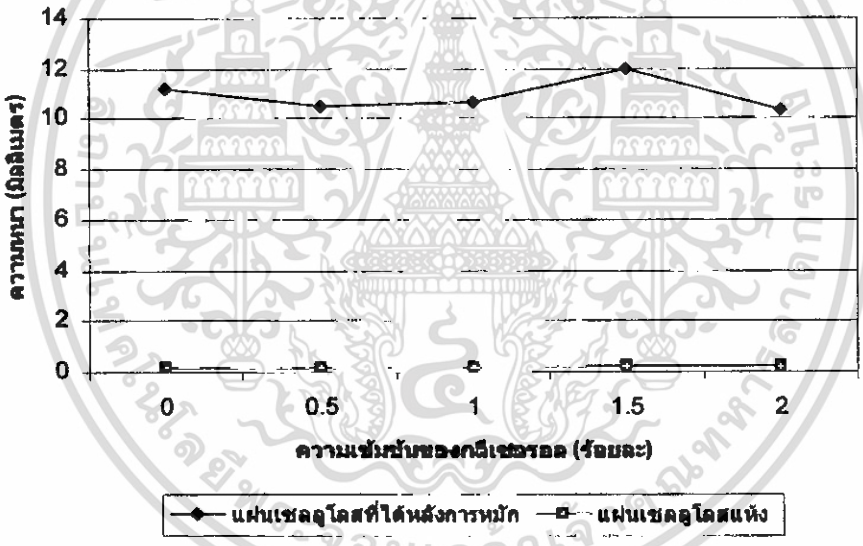
4.1.1 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับกลีเซอรอล

ทำการเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมกลีเซอรอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เลี้ยงในสภาวะนิ่งนาน 10 วัน จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาล้างน้ำให้สะอาด นำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาวัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 1.5 จะทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 11.95 มิลลิเมตร ขณะที่การใช้กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0 0.5 1.0 และ 2.0 ทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสมีความหนา 11.20 10.47 10.65 และ10.38 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นแช่แผ่นเซลลูโลสในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ 1 คืน เป็นการปรับแผ่นเซลลูโลสให้เป็นกลาง นำแผ่นเซลลูโลสต้มในน้ำเดือด 30 นาที เพื่อไล่แอมโมเนียออก นำมาเข้าเครื่องอัดรีดน้ำ จากนั้นนำไปฟอกสีโดยต้มในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 30 นาที ล้างน้ำให้สะอาด เข้าเครื่องอัดรีดน้ำ ขึงตึงด้วยกรอบยึด อบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จะได้แผ่นเซลลูโลสแห้งหรือกระดาษจากเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอล นำแผ่นเซลลูโลสแห้งมาวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอลร้อยละ 1.5 มีความหนาของแผ่นเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 0.22 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้กลีเซอรอลในความเข้มข้นอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมกลีเซอรอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา10 วัน

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสภายหลังการหมัก (มิลลิเมตร)	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสแห้ง (มิลลิเมตร)
0	11.20	0.17
0.5	10.47	0.18
1.0	10.65	0.17
1.5	11.95	0.22
2.0	10.38	0.20



รูปที่ 6 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมกลีเซอรอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

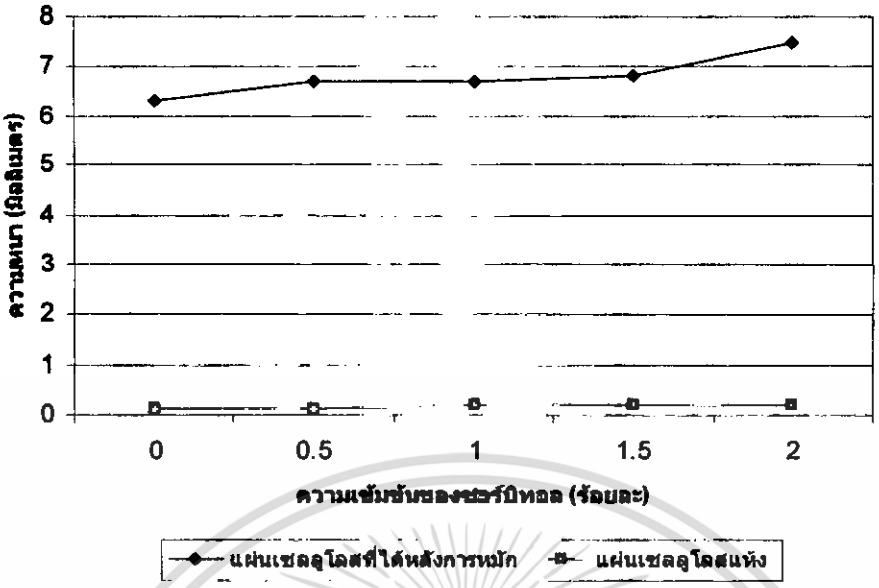
4.1.2 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับซอร์บิทอล

เลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมซอร์บิทอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ความเข้มข้นของซอร์บิทอลร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เลี้ยงในสภาวะนิ่งนาน 10 วัน จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาล้างน้ำให้สะอาด นำแผ่นเซลลูโลสที่ได้วัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอลจะทำให้แผ่นเซลลูโลสที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้น และการใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 2.0 จะทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 7.50 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นแช่แผ่นเซลลูโลสในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ 1 คืน เป็นการปรับแผ่นเซลลูโลสให้เป็นกลาง นำแผ่นเซลลูโลสต้มในน้ำเดือด 30 นาที เพื่อไล่แอมโมเนียออก นำมาเข้าเครื่องอัดรีดน้ำ จากนั้นนำไปฟอกสีโดยต้มในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 30 นาที ล้างน้ำให้สะอาด เข้าเครื่องอัดรีดน้ำ ขึงตึงด้วยกรอบยึด อบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จะได้แผ่นเซลลูโลสแห้งหรือกระดาษจากเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอล นำแผ่นเซลลูโลสแห้งมาวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของซอร์บิทอลร้อยละ 2.0 มีความหนาของแผ่นเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 0.19 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้ซอร์บิทอล ในความเข้มข้นอื่น ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 7

ตารางที่ 3 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน

ความเข้มข้นของซอร์บิทอล (ร้อยละ)	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสภายหลังการหมัก (มิลลิเมตร)	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสแห้ง (มิลลิเมตร)
0	6.30	0.11
0.5	6.70	0.13
1.0	6.70	0.18
1.5	6.80	0.18
2.0	7.50	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

4.1.3 การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับโพลีโพรพิลีนไกลคอล

เลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมโพลีโพรพิลีนไกลคอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ความเข้มข้นของโพลีโพรพิลีนไกลคอล 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เลี้ยงในสภาวะนิ่งนาน 10 วัน พบว่าแผ่นเซลลูโลสที่ได้มีผิวหน้าขรุขระ แสดงว่าเมื่อผสมโพลีโพรไพลีนไกลคอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ สารชนิดนี้เชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้ และได้ผลผลิตเซลลูโลสน้อยคือ ร้อยละ 8 (Satoshi และคณะ, 1993) จากการทดลองพบว่าลักษณะของแผ่นเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะขรุขระ มีโพรงอากาศอยู่ภายในแผ่น ผิวหน้าไม่เรียบ ไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับพลาสติไซเซอร์

4.2.1 กระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสผสมกลีเซอรอล

จากการผลิตกระดาษโดยใช้อาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เลี้ยงเชื้อนาน 10 วัน จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษที่ได้จากการผสมกลีเซอรอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสที่ใช้เป็นชุดควบคุม แสดงดังตารางที่ 4

สำหรับค่าการยืด ณ จุดขาด พบว่าเมื่อมีการผสมกลีเซอรอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ กระดาษที่ได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการยืด ณ จุดขาด สูงกว่ากระดาษที่เป็นชุดควบคุม โดยเฉพาะการเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5 กระดาษที่ได้จะมีค่าการยืด ณ จุดขาดร้อยละ 13.05 ขณะที่กระดาษที่เป็นชุดควบคุมมีค่าการยืด ณ จุดขาดร้อยละ 6.36 และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

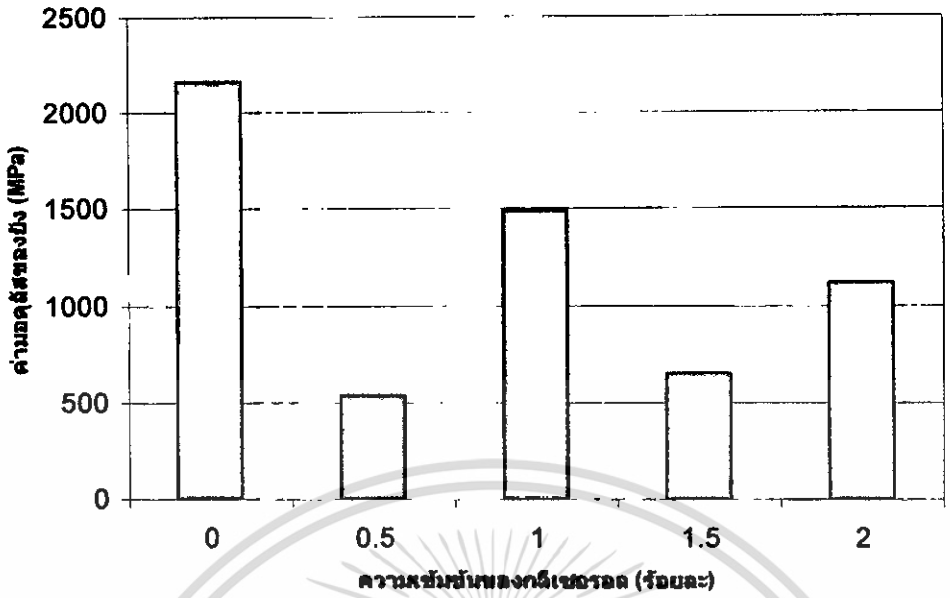
ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระดาษที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวที่เติมกลีเซอรอลความเข้มข้นต่างๆจะทำให้ได้กระดาษที่มีค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะการเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

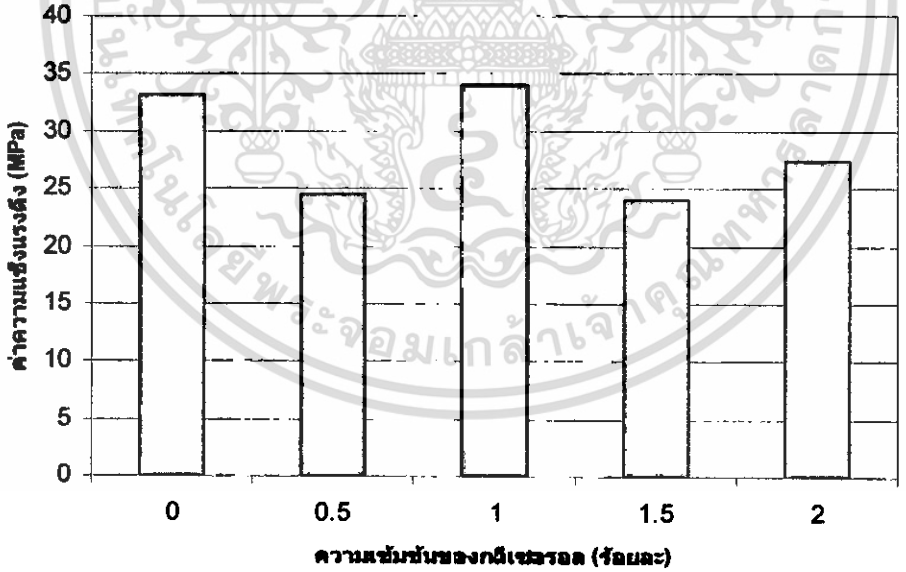
ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (ร้อยละ)	ค่ามอดุลัสของยัง (MPa)	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	ค่าการยืด ณ จุดขาด (ร้อยละ)
0	2168.18^{a}	33.20^{a}	6.36^{cd}
0.5	536.59^{c}	24.56^{a}	13.05^{a}
1.0	1491.26^{ab}	34.05^{a}	5.82^{d}
1.5	647.82^{bc}	24.02^{a}	9.60^{b}
2.0	1120.79^{bc}	27.42^{a}	7.65^{c}

*อักษรเหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

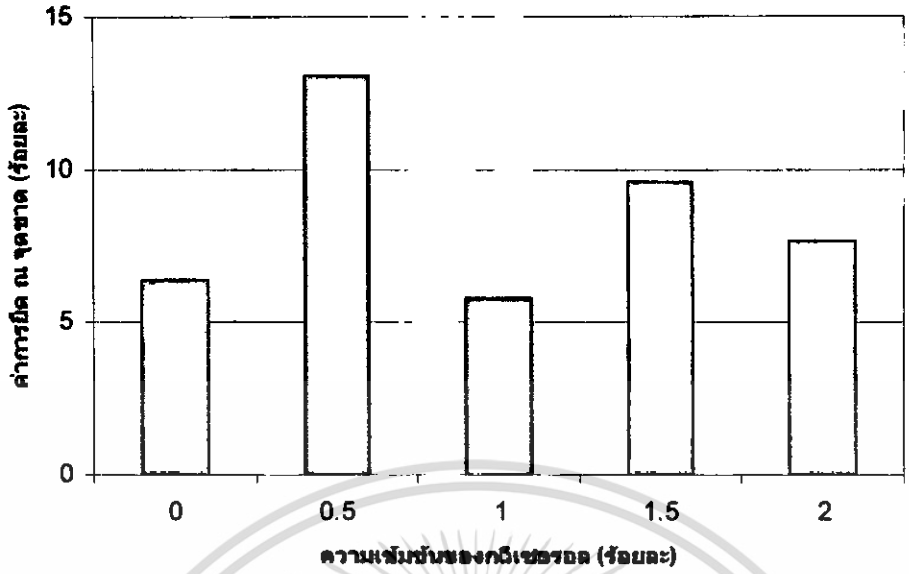


รูปที่ 8 ค่ามอดุลัสของยังที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน



รูปที่ 9 ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

4.2.2 กระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสผสมซอร์บิทอล

จากการผลิตกระดาษโดยใช้อาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมกับซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เลี้ยงเชื้อนาน 10 วัน จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอล ค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษจะลดลง ขณะที่การยืด ณ จุดขาดจะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 คือร้อยละ 26.68 และเมื่อใช้ความเข้มข้นของซอร์บิทอลร้อยละ 2.0 ค่าการยืด ณ จุดขาดจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการใช้ซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ ทำให้กระดาษที่ได้มีค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) กับกระดาษที่เป็นชุดควบคุม ขณะที่ค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าสูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใช้ซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 2.0 รวมทั้งกระดาษที่เป็นชุดควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 5

จากการเติมพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเซลลูโลส และนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ พบว่าเมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ทำให้กระดาษที่ได้มีค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงลดลง ขณะที่การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของรัตนา จินดาพรรณและวิไลลักษณ์(2545) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ต่อการต้านทานแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลายของฟิล์ม

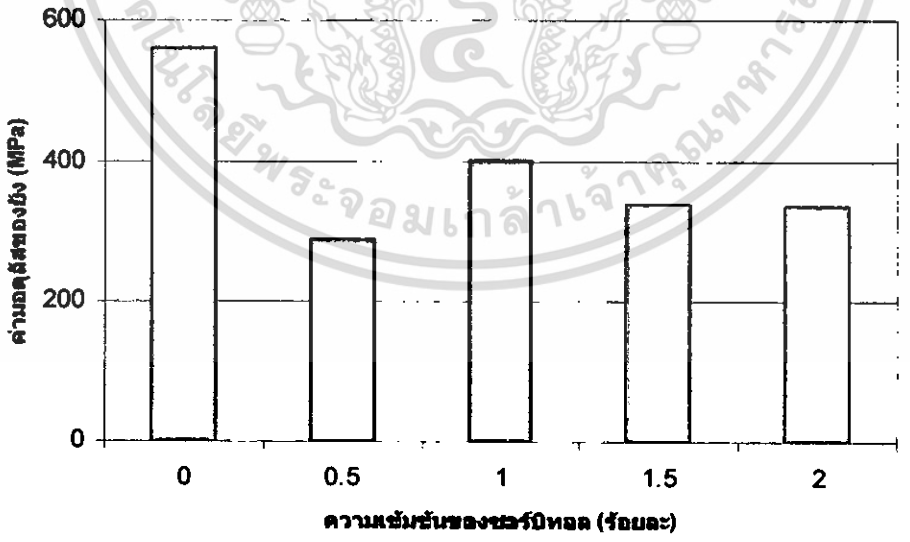
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนถั่วเขียว พบว่าแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้โพลีเอทธิลีนไกลคอลไม่สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วน ขณะที่ฟิล์มซึ่งผลิตโดยใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ทุกอัตราส่วน เมื่อนำแผ่นฟิล์มไปวัดสมบัติต่างๆ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อปริมาณพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

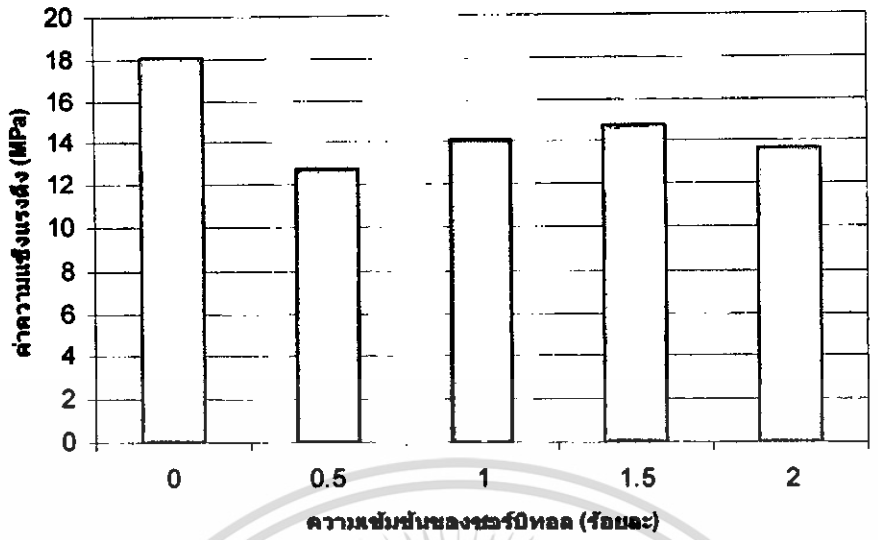
ความเข้มข้นของซอร์บิทอล (ร้อยละ)	ค่ามอดุลัสของยัง (MPa)	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	ค่าการยืด ณ จุดขาด (ร้อยละ)
0	561.90[a]	18.06[a]	11.85[b]
0.5	290.17[a]	12.76[a]	14.01[b]
1.0	402.40[a]	14.16[a]	13.87[b]
1.5	338.08[a]	14.78[a]	26.68[a]
2.0	336.28[a]	13.66[a]	14.42[b]

*อักษรเหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

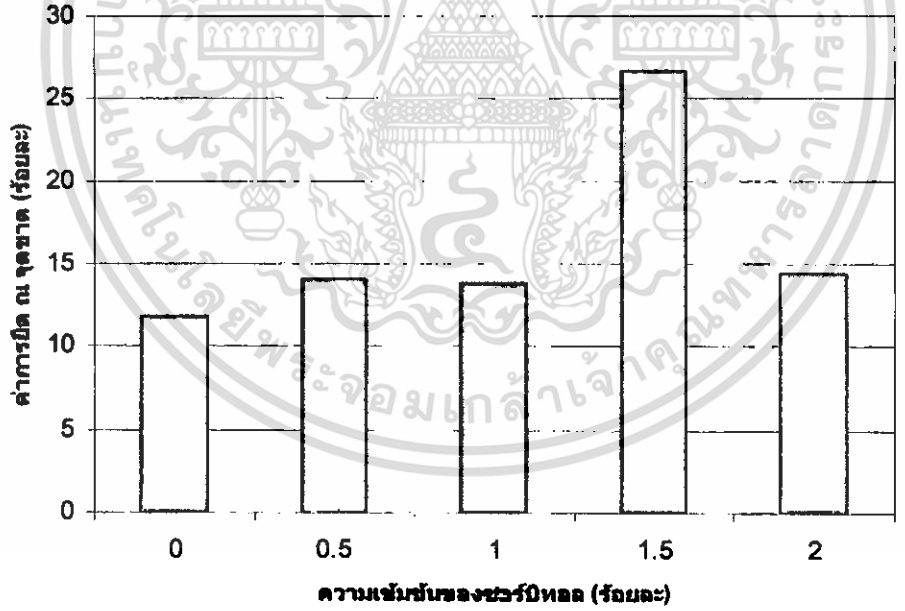


รูปที่ 11 ค่ามอดุลัสของยังที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน



รูปที่ 13 ค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ผลิตกระดาษ

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษนี้สนใจที่จะนำพลาสติไซเซอร์มาผสมในเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย และนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ เพื่อให้ได้กระดาษที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ผลิตกระ ดาษจึงเน้นที่ค่าการยืด ณ จุดขาด ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยืดหยุ่นของกระดาษ

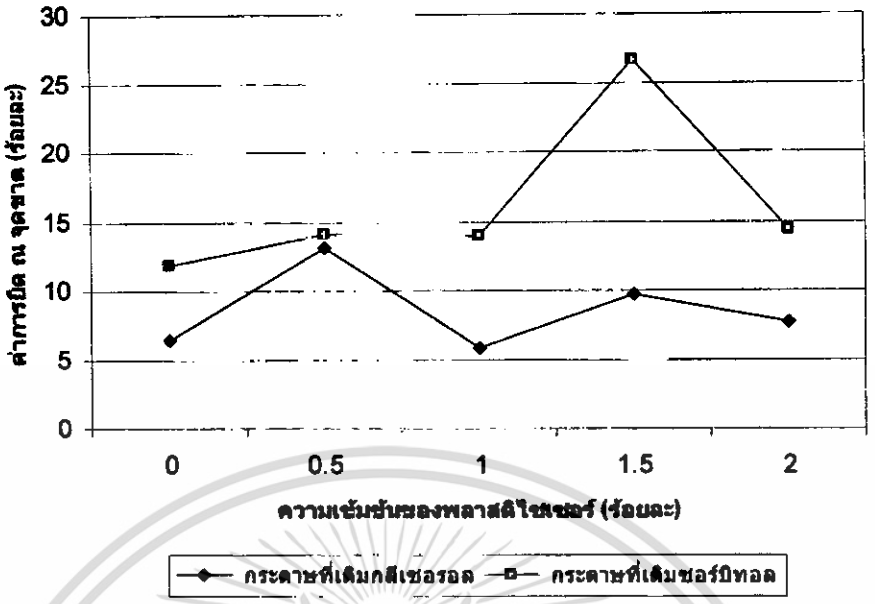
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอล และซอร์บิทอล พบว่าค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะมีค่าสูงสุดคือร้อยละ 13.05 สำหรับกระดาษที่ได้จากการเติมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะมีค่าการยืด ณ จุดขาดสูงสุดคือร้อยละ 26.68 ดังแสดงในตารางที่ 6

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระดาษที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวที่เติมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะทำให้กระดาษที่ได้มีค่าการยืด ณ จุดขาด สูงกว่าการเติมซอร์บิทอลและกลีเซอรอลในความเข้มข้นอื่น จึงได้เลือกความเข้มข้นซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 มาผลิตกระดาษและศึกษาสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ต่อไป

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

ความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ (ร้อยละ)	ค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่เติมกลีเซอรอล (ร้อยละ)	ค่าการยืด ณ จุดขาดของกระดาษที่เติมซอร์บิทอล (ร้อยละ)
0	6.36	11.85
0.5	13.05	14.01
1.0	5.82	13.87
1.5	9.60	26.68
2.0	7.65	14.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าการยืด ณ จุดขาดที่ได้จากกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลกับกระดาษที่ผลิตจากแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลในความเข้มข้นที่ต่างกันในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงเชื้อในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน

4.4 ศึกษาการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับซอร์บิทอล

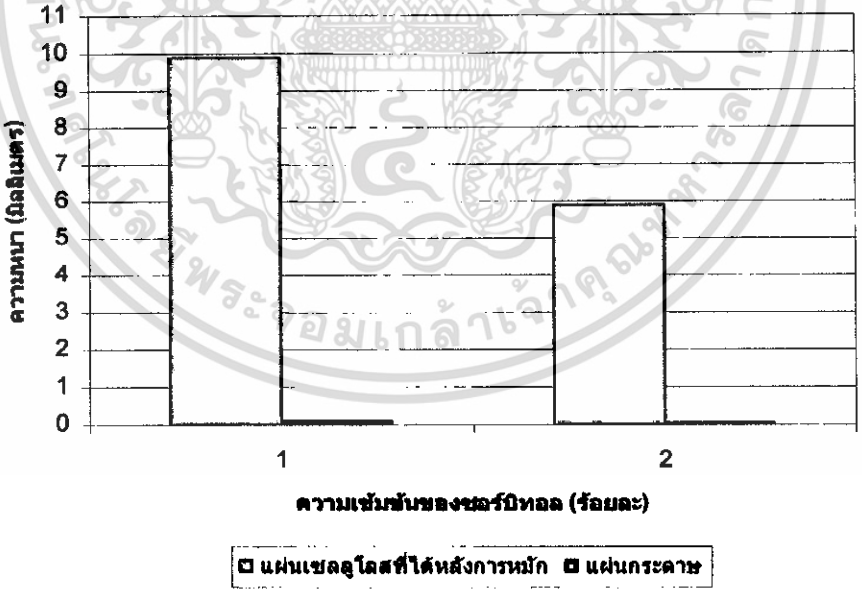
เลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ในถาดพลาสติกโดยใช้อาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมซอร์บิทอลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ความเข้มข้นของซอร์บิทอลร้อยละ 0 และ 1.5 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ เลี้ยงในสภาวะนิ่งนาน 10 วัน จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาล้างน้ำให้สะอาด นำแผ่นเซลลูโลสที่ได้วัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าแผ่นเซลลูโลสที่ไม่ได้เติมซอร์บิทอลซึ่งเป็นชุดควบคุมมีความหนา 9.90 มิลลิเมตร ขณะที่แผ่นเซลลูโลสที่เติมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 มีความหนาเท่ากับ 5.90 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 7 การที่ความหนาของเซลลูโลสที่เติมซอร์บิทอลมีความหนาน้อยกว่าเซลลูโลสที่ไม่ได้เติมซอร์บิทอล(ชุดควบคุม) ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.2 เนื่องจากสภาวะในการเลี้ยงเชื้อที่แตกต่างกัน คือการผลิตกระดาษในหัวข้อ 4.4 ภาชนะที่ใช้หมักเป็นถาดพลาสติกขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวมาก เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องและเชื้อที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 976 ที่ได้มาใหม่จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)จากนั้นแช่แผ่นเซลลูโลสในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ 1 คืน เป็นการปรับแผ่นเซลลูโลสให้เป็นกลาง นำแผ่นเซลลูโลสต้มในน้ำเดือด 30 นาที เพื่อไล่แอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออก นำมาเข้าเครื่องอัดรีดน้ำ จากนั้นนำไปฟอกสีโดยต้มในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 30 นาที ล้างน้ำให้สะอาด เข้าเครื่องอัดรีดน้ำ ขึงตึงด้วยกรอบยึด อบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จะได้แผ่นเซลลูโลสแห้งหรือกระดาษจากเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอล จากการวัดความหนาของแผ่นกระดาษพบว่ากระดาษจากเซลลูโลสมีความหนา 0.09 มิลลิเมตร ขณะที่กระดาษจากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลมีความหนา 0.07 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในถาดพลาสติกในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน

ความเข้มข้นของซอร์บิทอล (ร้อยละ)	ความหนาของแผ่นเซลลูโลสภายหลังการหมัก (มิลลิเมตร)	ความหนาของแผ่นกระดาษ (มิลลิเมตร)
0	9.90	0.09
1.5	5.90	0.07



รูปที่ 15 ความหนาของแผ่นเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวภายหลังการเลี้ยงในถาดพลาสติกในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน และความหนาของแผ่นกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน

จากการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำโดยใช้เครื่อง Water vapor permeation tester ; Lyssy L800-4000 ทดสอบโดยใช้วิธี ISO 15101-1 : 2003 (E) Plastic-Film and sheeting – Determination of Water vapour transmission rate Part I : Humidity detection sensor method พบว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าวผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1,161 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 และกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสโดยไม่ได้ผสมซอร์บิทอล(ชุดควบคุม) มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1,067 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 8

สำหรับการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนโดยใช้เครื่อง Oxygen permeation tester ; Illinois 8000 ทดสอบโดยวิธี ASTM D 3985-02 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastis Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor พบว่ากระดาษที่ได้จากการเลี้ยงแบคทีเรียเซลลูโลสร่วมกับซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 590 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวันที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 และกระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสโดยไม่ได้ผสมซอร์บิทอล (ชุดควบคุม) มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 208 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ดังตารางที่ 8 ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลมีค่ามากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุม

เมื่อนำความหนาของกระดาษมาพิจารณาพบว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุมมีค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 96.03 กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 81.27 กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวันในขณะที่ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 เท่ากับ 41.30 ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.72 ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

จากการที่ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 มีค่ามากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุม อาจเนื่องมาจากการเติมสารบางชนิดผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้การสร้างเส้นใยของแบคทีเรียถูกขัดขวางจากสารที่เติมลงไป ทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีการประสานกันห่างมากกว่าเดิม จึงทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น ขณะที่การซึมผ่านของไอน้ำมีค่าน้อยลงอาจเนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของน้ำไม่ได้เป็นเส้นตรง จึงทำให้ไอน้ำผ่านเข้าไปในกระดาษได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน ของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และกระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

ชนิดของกระดาษ	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)	อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน)
เซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5	1,161	590
กระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย	1,067	208

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน ของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และกระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

ชนิดของกระดาษ	ความหนาของแผ่นกระดาษ (มิลลิเมตร)	ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน)	ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน)
เซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5	0.09	81.27	41.30
กระดาษที่เป็นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย	0.07	96.03	18.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 576 ในอาหารสูตรน้ำมะพร้าว ในสภาวะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน โดยผสมพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆคือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และโพลีโพรพิลีนไกลคอล ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 พบว่า เมื่อเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นต่างๆ ทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสที่มีความหนาใกล้เคียงกัน โดยพบว่าความหนาของแผ่นเซลลูโลสภายหลังการหมัก 10 วัน มีความหนาประมาณ 10.38-11.95 มิลลิเมตร ขณะที่เติมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ2.0 ทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสมีความหนาสูงสุด คือ 7.50 มิลลิเมตร สำหรับโพลีโพริพลีนไกลคอลเมื่อเติมลงในอาหารสูตรน้ำมะพร้าว พบว่าแผ่นเซลลูโลสที่ได้มีผิวหน้าขรุขระ ไม่สามารถนำมาใช้ผลิตกระดาษได้

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษจากแบคทีเรียผสมกลีเซอรอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่าค่ามอดุลัสของยัง ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ใช้เป็นชุดควบคุม สำหรับค่าการยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการใช้กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่าการยืด ณ จุดขาดร้อยละ 13.05 ซึ่งสูงกว่ากระดาษที่เป็นชุดควบคุม สำหรับกระดาษจากแบคทีเรียเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่เป็นชุดควบคุม ขณะที่ค่าการยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติมซอร์บิทอลผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ และการใช้ซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะทำให้ได้ค่าการยืด ณ จุดขาดมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 26.68 จึงคัดเลือกการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อให้เชื้อเจริญและผลิตเซลลูโลส จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ

จากนั้นนำกระดาษที่ผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.50 มาทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนพบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเท่ากับ 1,161 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ขณะที่กระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสโดยไม่ได้ผสมซอร์บิทอล(ชุดควบคุม) มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1,067 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน กระดาษที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 590 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 ขณะที่กระดาษที่ได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสโดยไม่ได้ผสมซอร์บิทอล (ชุดควบคุม) มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 208 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

เมื่อนำความหนาของกระดาษมาพิจารณาพบว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุมมีค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 96.03 กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 81.27 กรัมมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวันในขณะที่ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของกระดาษที่ได้จากเซลลูโลสผสมซอร์บิทอลร้อยละ 1.5 เท่ากับ 41.30 ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมากกว่ากระดาษที่ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.72 ลูกบาศก์เซนติเมตรมิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงว่าเมื่อผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อจะสร้างแผ่นเซลลูโลสขึ้นมาโดยมีซอร์บิทอลเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างเซลลูโลส ทำให้แผ่นเซลลูโลสที่ได้มีช่องว่างมากขึ้น จึงทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น ขณะที่การซึมผ่านของไอน้ำมีค่าน้อยลงอาจเนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของน้ำไม่ได้เป็นเส้นตรง จึงทำให้ไอน้ำผ่านเข้าไปในกระดาษได้ยากขึ้น

จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อให้เชื้อ *A.xylinum* ผลิตแผ่นเซลลูโลส จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสที่ได้มาผลิตกระดาษ ซึ่งกระดาษที่ได้จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าเดิม เมื่อนำกระดาษมาวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำพบว่ากระดาษที่ผสมพลาสติไซเซอร์ลงไปมีค่าเหล่านี้สูงกว่ากระดาษที่ไม่ได้ผสมพลาสติไซเซอร์ แต่ถ้านำความหนาของกระดาษมาพิจารณาร่วมด้วยพบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าน้อยลง ถ้าจะนำกระดาษที่ได้มาทำเป็นภาชนะบรรจุอาหารจะไม่เหมาะสม เนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านกระดาษและเข้าไปทำปฏิกิริยากับอาหารที่ทำการบรรจุ ทำให้อาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องผสมพลาสติไซเซอร์เหล่านี้ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อให้ *A.xylinum* ผลิตเซลลูโลส เนื่องจากแผ่นเซลลูโลสที่ได้จากเชื้อนี้มีสมบัติที่ดีกว่าเซลลูโลสที่ผสม พลาสติไซเซอร์ที่ทำการศึกษา

ข้อเสนอแนะ

การหมักแบคทีเรียเซลลูโลส ไม่ควรนำภาชนะหมักวางบริเวณใกล้ลม แสงแดด และบริเวณที่มีผู้คนพลุกพล่าน จะทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสเกิดการปนเปื้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. [Online].Available :
http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=568

การผลิตกระดาษจากชูปฤาษีและผักตบชวา. 2004. [Online].Available :
http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/order/k_produc/k_order.htm

คลินิกเทคโนโลยี. 2546. [Online].Available :
http://www.ttc.most.go.th/online/callcenter/call_Detail.asp?rid=5512

นีโลบล สุวรรณาภินันทน์. 2545. กระดาษ parchment ชนิดใหม่จากวุ้นน้ำมะพร้าว เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร "เทคนิควิธีการผลิตกระดาษด้วยวุ้นน้ำมะพร้าวและนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แบบ" 20-23 พฤษภาคม 2545

บริษัท เจเอสพี. ฟิวเจอร์ส จำกัด. 2003. [Online].Available :
http://www.jspfutures.com/research/learning/ts2.html

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากหม่อน. 2004. [Online].Available :
http://www.moac.go.th/builder/mu/images/product_cocoon3.html

รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไฝเพชร. 2549. อิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมันและความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*.2(1): 36-44

วราวุฒิ ครูส่ง กรวิภา สุขศรีวงศ์ และปนัดดา พวงเกษม. 2536. การผลิตเซลลูโลสจากเชื้อ *Acetobacter xylinum* ในน้ำหางนม. *วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง*. 1(1) : 47-50

สมาคมการพิมพ์ไทย. 2548. [Online].Available :
http://www.thaiprint.org/viewindspending.php?indspendid=2

อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี มาวิณี แย้มจันทรามาศ และสาวิตรี อุมะวรรณ. 2005. การผลิตกระดาษจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับไคโตซาน ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Alban, C.A. 1962. Studies on the optimum conditions for Nata de coco bacterium or Nata formation in coconut water. The Philipine Agricutruist. 45 : 490-415.

Cousins, S. K. and Brown, R.M 1995. Cellulose microfibril assembly : computational molecular mechanics energy analysis flavous bonding by Vander Waals forces as the intial step in crystallization. *Polymer*. 36 : 3,885-3,888

Crueger, W. and Crueger, A. 1982. Biotechnology : A textbook of industrial Microbiology. Sinauer Associates, Sunderland. P.380.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duangjai Ochaikul, Suparat Rakchonlatee, Thanan Fapratanchai, Parkporn Soisant and Suranart Aramruang. 2004. Studied on optimal condition for paper production from bacterial cellulose *Acetobacter xylinum* TISTR 976. Processdings of The 1st KMITL International Conference, Thailand.

Ebner, H. 1982 Vinegar. In G. Reed (ed.). Proscott and Dunn's Industrial Microbilogy. 4th . Reed. A VI Publishing com., Inc Wesport, Connecticut.

Guzman, M.P., Alabastro, E.F.and Tinsay, C.B. 1982. A submerged process for the production of Nata. NRCP Research Bull. 37(1) : 1-50.

Hestrin, S., Ascher, M. and Mager, J. 1947. Synthesis of cellulose by resting cells of *Acetobacter xylinum*. Nature (London). 159 : 64-65.

Kouda, T. Hisato, Y. Fumihiro, Y. and Hisato, Y. 1997. Effect of agitator configulation on bacterial cellulose productivity in aerated and agitated culture. J. Fermentataion and Bioengineering. 83(4) : 371-374.

Krusong, W. and Yoshida, T. 1995. Counteraction of negative effect on cellulose formation in agitated culture of *Acetobacter xylinum* by addition of alginate gel beads as microaerophilic carrier. In annual Repport International Conference Biotechnology, Japan. Pp. 155-200.

Lapuz, M.M., Gallardo, E.G. and Palo, M.A. 1967. The Nata organism-culture requirements characteristics and identity. The Philippine J. Science. 96 : 91-109.

Ishikawa, A. Matsuoka, M. Tsuchuida, T. and Yoshinaga, F. 1995. Increase in cellulose production by sulfaquanidine-resistant mutant derived from *Acetobacter xylinum* subsp. *Sucrofermentans*. Bioscience Biotechnology Biochemistry 59(2) : 2,259 – 2,260.

Masaoka, S. 1993. Production of cellulose from glucose by *Acetobacter xylinum* . J. Ferment. Bioeng. 75 : 18-22.

Naritomi, T., Kouda, T. Yano, H. and Yoshinaga, F. 1998. Effect of lactate on bacterial cellulose production from fructose in continuous culture. J.Fermentation and Bioengineering. 85910 : 89-95.

Ohara, H., Hiyama, K. and Yoshida, T. 1992. Kinetic study on pH dependence of growth and death of *Streptococcus faecalis*. Applied Microbiology Biotechnology. 38 : 403-407.

Satoshi, M. Ohe, T. and Sakota, N. 1993. Production of cellulose from glucose by *Acetobacter xylinum*. J. of fermentation and Bioengineering. 75 : 18-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stanbury, P. and Whitaker, F. 1984. Principle of fermentation Technology. Oxford, Pergamon Press. P.459.

Toyosaki, H. Naritomi, T. Seto, A. Matsuoka, M. Tsuchida, M. and Yoshonaga, F. 1995. Screening of bacterial cellulose – producing *Acetobacter* strain suitable for agitated culture. Bioscience Biotechnology Biotechnology. 59 : 1,459 – 1,502.

Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsuhashi, S., Nishi, Y. and Uryu, M. 1989. The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. J. Mat. Sci. 24. 3,141-3,145.

Yoshinaga, F. Naota, T. and Kunihiko, W. 1997. Research progress in production of bacterial cellulose by aeration and agitation culture and its application as a industrial material. Bioscience Biotechnology Biochemistry. 61 : 219-224.

http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/cellu.html

http://www.res.titech.ac.jp/~junkan/english/cellulose/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

1. สูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* TISTR 976

อาหารสูตรน้ำมะพร้าว

ประกอบด้วย

น้ำมะพร้าว

แอมโมเนียมซัลเฟต ร้อยละ 0.1

น้ำตาลทราย ร้อยละ 5

กรดอะซิติก ร้อยละ 1

วิธีการเตรียม

1. กรองน้ำมะพร้าวแก่ด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำมะพร้าว
2. ต้มน้ำมะพร้าวที่กรองแล้วให้เดือดนาน 15 นาที
3. เติมน้ำตาลทรายและแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำมะพร้าว ยกลงจากเตา ทิ้งไว้ 10 นาที เติมกรดอะซิติกร้อยละ 1
4. ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ 5.0
5. นำใส่ขวดรูปชมพู่และนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์คุณภาพของกระดาษ

1. ความหนาของกระดาษเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ คือ ไมโครมิเตอร์ (micrometer)

2. ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) (มอก. 1353 เล่ม 3-2540)

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ คือ texture analyzer

<u>วิธีคำนวณ</u>

ความแข็งแรงดึง (นิวตัน/ตารางเมตร) = F /A

เมื่อ F = แรงดึง (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

3. ค่าการยืด ณ จุดขาด (Percent Elongation at Maximum Load) (มอก. 1353 เล่ม 3-2540)

เครื่องที่ใช้วิเคราะห์ คือ texture analyzer

<u>วิธีคำนวณ</u>

ค่าการยืด ณ จุดขาด (ร้อยละ) = ผลต่างระหว่างความยาวเริ่มต้นกับความยาวสุดท้ายหลังดึง x 100

4. ค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) (มอก. 1353 เล่ม 3-2540)

เครื่องที่ใช้วิเคราะห์ คือ texture analyzer

<u>วิธีการคำนวณ</u>

$$\text{Young's Moduluse, } E = \frac{\text{Tensile stress}}{\text{Tensile strain}} \quad (1)$$

$$\text{Tensile stress} = \frac{\text{Tensile Force}}{\text{Area of cross - section}}$$

$$= Mg / A \quad (2)$$

$$\text{Tensile strain} = \frac{\text{Extension}}{\text{Original length}}$$

$$= l / L \quad (3)$$

แทนค่า (2) และ (3) ใน (1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = (Mg / A) / (1 / L) \quad (4)$$

Tensile stress (ความเค้นดึง) คือความสามารถหรือความทนต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ (load) ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือพาสคัล (Pascals, Pa)

Tensile strain (ความเครียดดึง) เป็นอัตราส่วนของการยืด (elongation) หรือการแปรรูป (deformation) ต่อความยาวของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบนั้น คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดจากขนาดเดิม ไม่มีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) และค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus) ของกระดาษเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในความเข้มข้นต่างๆ โดยวิธีทางสถิติ

Glycerol

Oneway

ANOVA

Tensile Strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	358.027	4	89.507	1.674	.208
Within Groups	801.803	15	53.454		
Total	1159.831	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Tensile Strength

Duncan[a,b]

ความเข้มข้น	N	Subset for alpha = .05
		1
1.5	4	24.0225
0.5	4	24.5600
2.0	4	27.4150
0	4	33.1975
1.0	4	34.0500
Sig.		.099

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type 3 Sum of Squares
The error term is Mean Square (Error) = 53.454.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.
b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oneway

ANOVA

Young Modulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7092940	4	1773234.886	5.575	.006
Within Groups	4771416	15	318094.420		
Total	1.2E+07	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Young Modulus

Duncan[a,b]

เข็มขัน	N	Subset 1	2	3
.5	4	536.5925		
1.5	4	647.8225	647.8225	
2.0	4	1120.793	1120.793	
1.0	4		1491.263	1491.263
.0	4			2168.178
Sig.		.184	.062	.110

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 318094.420.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oneway

ANOVA

Elongation at Break

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	137.638	4	34.410	46.170	.000
Within Groups	11.179	15	.745		
Total	148.817	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subset

Elongation at Break

Duncan[a,b]

เข็มขัน	N	Subset 1	2	3	4
1.0	4	5.8200			
.0	4	6.3550	6.3550		
2.0	4		7.6450		
1.5	4			9.6025	
.5	4				13.0475
Sig.		.395	.052	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .745.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sorbital

Oneway

ANOVA

TENSILE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	65.706	4	16.427	.921	.477
Within Groups	267.488	15	17.833		
Total	333.195	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

TENSILE

Duncan[a,b]

เข้มข้น	N	Subset 1
.5	4	12.7625
2.0	4	13.6575
1.0	4	14.1600
1.5	4	14.7775
.0	4	18.0600
Sig.		.128

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 17.833.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oneway

ANOVA

Young Modulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	180649.3	4	45162.317	1.101	.392
Within Groups	615186.1	15	41012.409		
Total	795835.4	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Young Modulus

Duncan[a,b]

เข็มข้น	N	Subset 1
.5	4	290.1700
2.0	4	336.2825
1.5	4	338.0750
1.0	4	402.3975
.0	4	561.9025
Sig.		.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 41012.409.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oneway

ANOVA

Elongation at Break

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	568.565	4	142.141	37.948	.000
Within Groups	56.186	15	3.746		
Total	624.750	19			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Elongation at Break

Duncan[a,b]

เข็มขัน	N	Subset 1	Subset 2
.0	4	11.8475	
1.0	4	13.8650	
.5	4	14.0100	
2.0	4	14.4175	
1.5	4		26.6775
Sig.		.103	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 3.746.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้