



การผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum*

โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน

PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE FILM FROM *Acetobacter xylinum*

BY USING RAMBUTAN JUICE AS A CARBON SOURCE

วิทยานิพนธ์

ของ

คณิตสิทธิ์ บัญญัติวิวัฒน์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

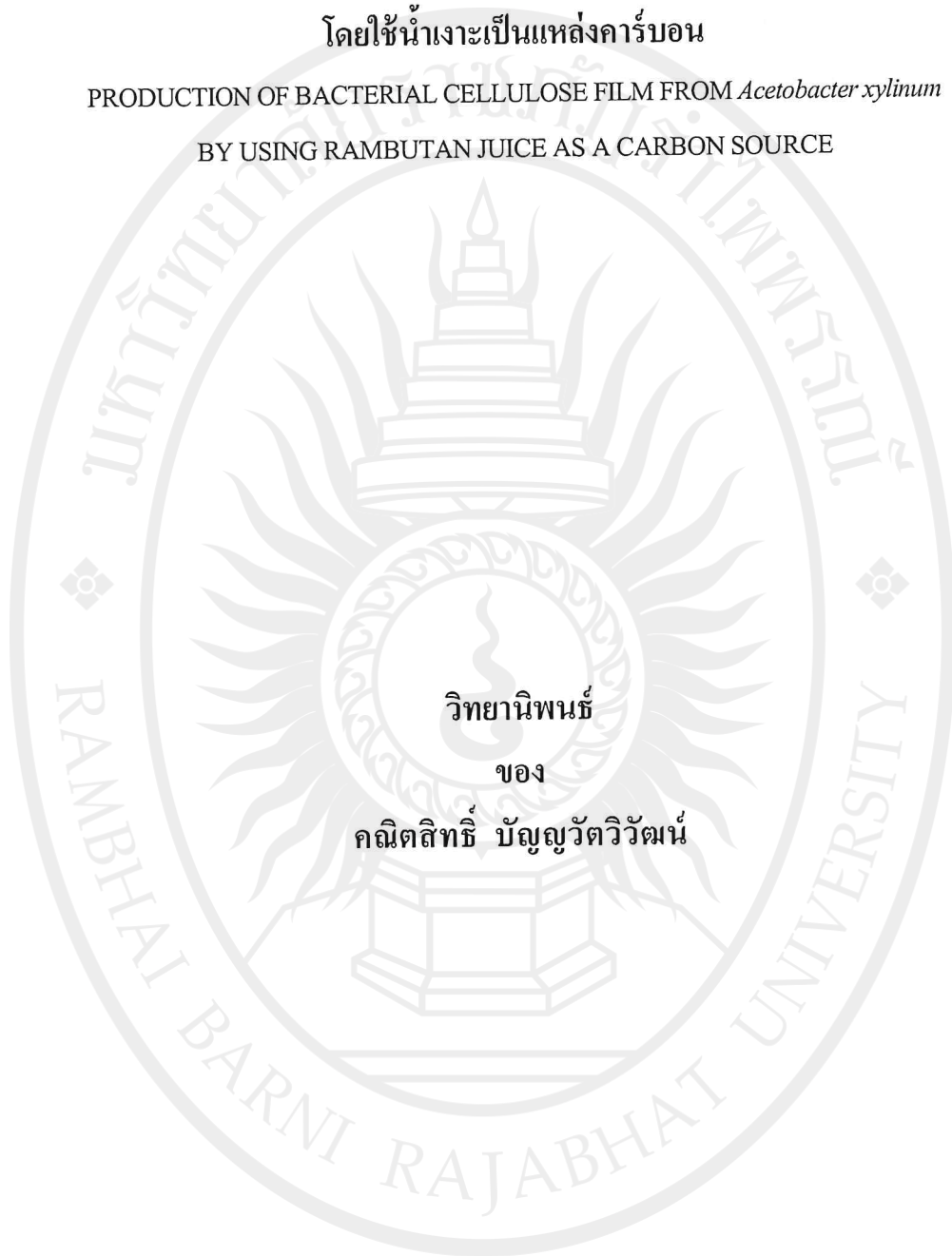
ธันวาคม 2562

การผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum*

โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน

PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE FILM FROM *Acetobacter xylinum*

BY USING RAMBUTAN JUICE AS A CARBON SOURCE



วิทยานิพนธ์

ของ

คณิตสิทธิ์ บัญญัติวิวัฒน์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ธันวาคม 2562



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum* โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน

Production of Bacterial Cellulose Film from *Acetobacter xylinum*

by Using Rambutan Juice as a Carbon Source

คณิตสิทธิ์ บัญญัติวิวัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานสอบวิทยานิพนธ์  
(อาจารย์ ดร.บุณทริกา สุขะนา)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเศษนม นิลนนท์)

..... กรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิสฯ ชัยกุล)

ได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ให้นำเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

..... ผู้ช่วยอธิการบดี  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคนิมิตร อรรถศรีวร)

วันที่ 20 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2562

คณิตสิทธิ์ บัญญวัตวิวัฒน์. (2562). การผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum* โดยใช้ น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการเกษตร). จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ ปร.ค. (เทคโนโลยีชีวภาพ) ประธานกรรมการ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเศษนม นิลนนท์ ปร.ค. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) กรรมการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสที่ผลิตได้ ทำการทดลองโดยใช้แบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* ในการผลิตเส้นใยเซลลูโลส และใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน นำเส้นใยเซลลูโลสมาทำแห้งแล้วผสมกับสารก่อฟิล์มรวม ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต ในสัดส่วน 1:1 เติมน้ำกลั่นและพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ปริมาตรร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6 เตรียมฟิล์มโดยใช้ส่วนผสมทั้งหมดปริมาณ 20 กรัม ขึ้นรูปในจานแก้วทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ทำฟิล์มให้แห้งในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบการลอกได้ของฟิล์ม อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและความสามารถในการต้านทานน้ำมัน ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์ม แต่ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลสามารถลอกได้ง่ายกว่าฟิล์มที่เติมซอร์บิทอล สำหรับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอลมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าซอร์บิทอล ส่วนความสามารถในการต้านทานน้ำมันพบว่า แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลสามารถต้านทานน้ำมันได้ ฟิล์มที่ผลิตได้มีลักษณะบาง จึงมีการปรับความหนาของฟิล์ม โดยเพิ่มปริมาณส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มแต่ละแผ่นเป็น 50 กรัม นำฟิล์มที่ปรับแล้วไปทดสอบการลอกได้ของฟิล์ม อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน ความต้านทานแรงดึงขาดและวัดความหนา ผลการทดลองพบว่า แผ่นฟิล์มสามารถลอกได้ดีขึ้น อัตราการซึมผ่านไอน้ำมีค่าไม่แตกต่างจากฟิล์มเดิม แต่สามารถต้านทานน้ำมันได้ระยะเวลานานขึ้น หลังจากปรับคุณภาพของฟิล์มแล้วจึงนำฟิล์มที่ได้ไปใช้ในการห่อหุ้มทุเรียนกวน เทียบกับฟิล์มที่ใช้ตามท้องตลาด พบว่า ฟิล์มที่ปรับปรุงความหนาสามารถใช้ห่อหุ้มทุเรียนกวนได้ และไม่มีน้ำมันซึมออกมาเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตามเวลาที่ทดสอบเป็นเวลามากกว่า 30 วัน องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางเพื่องานทางด้านอาหารหรือทางการแพทย์ได้ต่อไป

คำสำคัญ : ฟิล์ม, เซลลูโลส, น้ำเงาะ

Kanitsit Bunyawatwivat. (2019). **Production of Bacterial Cellulose Film from *Acetobacter xylinum* by Using Rambutan Juice as a Carbon Source**. Thesis M.S. (Agricultural Technology). Chanthaburi: Rambhai Barni Rajabhat University.

#### **Thesis Advisors**

Assistant Professor Dr.Yardrung Suwannarat Ph.D. (Biotechnology) Chairman  
Assistant Professor Dr.Waritchon Ninlanon Ph.D. (Environmental Science) Member

#### **Abstract**

The research aimed to produce the bacterial cellulose film (BCF) and to study the physical properties of the film obtained. The experiment was carried out by using bacterial cellulose (BC) from *Acetobacter xylinum* with rambutan juice as a carbon source. The BC was dried and mixed with sodium alginate as a co-film former at the ratio of 1:1, glycerol and sorbitol as a plasticizer at 0.2, 0.4 and 0.6%. The film was prepared by pouring 20g of the mixture into a petri dish with a diameter of 9 cm. It was then dried in a hot oven at a temperature of 50°C for 36 hours. After that, the film was tested for ease of peeling, water vapor transmission rate (WVTR) and grease and oil resistance (GOR).

The results showed that: BCF with glycerol and sorbitol added could be used to form films; the film with glycerol was easier to peel than the film with sorbitol; the BCF with glycerol added had a higher WVTR than the BCF with sorbitol added; and both films were able to resist grease and oil (GOR). However, the film was slim and easily broken. So, the experiment was repeated using 50g of the mixture. The resultant new film was re-tested for ease of peeling, WTVR, GOR, tensile strength and thickness. The results showed the thicker film could be peeled more easily, the WTVR was similar to the thinner film, and the GOR was higher. The thicker film was then used to wrap durian paste and compared to a commercially available film. The results showed that the thicker film could be used to wrap the durian paste in that the grease did not seep through the film after 30 days when stored at room temperature. The knowledge and technology obtained from this research could be used in food and medical applications.

**Keywords:** Film, Bacterial Cellulose, Rambutan Juice

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ โดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชชนม์ นิลนนท์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.บุณยพริกา สุমনา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิสรา ชัยกุล กรรมการ และเลขานุการ อีกทั้งคณาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ปรากฏชื่อในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ประโยชน์และคุณค่าอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมนำคุณงามความดีให้กับ บิดา มารดา ครู คณาจารย์ และผู้มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

คณิตสิทธิ์ บัญญูวัตวิวัฒน์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(2)
สารบัญภาพ.....	(3)
บทนำ.....	1
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
เงาะ.....	3
ปริมาณการผลิตเงาะ.....	3
ลักษณะทั่วไปของเงาะ.....	4
แบคทีเรีย <i>Acetobacter xylinum</i> .....	9
ลักษณะทั่วไป.....	9
ชีวเคมีและลักษณะทางกายภาพของการผลิตเซลลูโลส โดย <i>Acetobacter xylinum</i> .....	10
ฟิล์ม.....	14
ความหมายของฟิล์ม.....	14
การผลิตฟิล์ม.....	14
วิธีในการผลิตฟิล์ม.....	15
พลาสติกไซเซออร์.....	16
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
อุปกรณ์และวิธีการ.....	21
วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์.....	21
วิธีการ.....	22
สถานที่ดำเนินการวิจัย.....	25
ระยะเวลาการทดลอง.....	25
ผลและการวิจารณ์.....	26
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	38
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	39
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	45

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	พื้นที่ปลูก และผลผลิตเงาะ รวมทั้งประเทศ และจังหวัดที่สำคัญ ปี 2557 - 2559.....	3
2	คุณค่าทางโภชนาการของเงาะ 100 กรัม.....	9
3	คุณสมบัติของพลาสติกไซเซอร์.....	17
4	คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพลาสติกไซเซอร์.....	17
5	ปริมาณแบคทีเรียลเชลลูโลสที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ร่วมกับพลาสติกไซเซอร์.....	23
6	ปริมาณแบคทีเรียลเชลลูโลสที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ร่วมกับพลาสติกไซเซอร์.....	24
7	ความยากง่ายในการลอกของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับตัวควบคุม เมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์ชนิดต่าง ๆ.....	30
8	ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเส้นใยเชลลูโลสที่ใช้สารพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ.....	31
9	ค่าการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเชลลูโลสที่ใช้พลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ.....	31
10	ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเส้นใยเชลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ.....	34
11	ค่าความหนา การต้านแรงดึงขาด และการยืดตัวของแผ่นฟิล์มเส้นใยเชลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ.....	35
12	ค่าการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเส้นใยเชลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ.....	35
13	ค่าการต้านทานน้ำมันของฟิล์มห่ออาหารทั่วไป กับแผ่นฟิล์มเส้นใยเชลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ เมื่อนำไปใช้ห่อเนื้อทุเรียนกวน.....	36

## สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะของต้นเงาะ.....	5
2 ลักษณะของใบเงาะ.....	6
3 ลักษณะของดอกเงาะ.....	6
4 ลักษณะของผลเงาะ.....	7
5 ลักษณะของเนื้อเงาะ.....	7
6 ลักษณะของเมล็ดเงาะ.....	8
7 เส้นทางการสังเคราะห์เซลล์ูโลสของ <i>Acetobacter xylinum</i> .....	11
8 โครงสร้างของ c-di-GMP.....	12
9 โมเดลระบบควบคุมการสังเคราะห์เซลล์ูโลสใน <i>Acetobacter xylinum</i> .....	13
10 ลักษณะของเส้นใยเซลล์ูโลสที่เกิดขึ้นในขวดรูปชมพู่ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส..	26
11 ลักษณะของเส้นใยเซลล์ูโลสหลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน...	27
12 ลักษณะของเส้นใยเซลล์ูโลสหลังจากการต้มและแช่ในน้ำสะอาดจนค่าความเป็นกรด - ค่าของน้ำสุดท้ายเป็น 7.0.....	27
13 ลักษณะของเส้นใยเซลล์ูโลสที่ผ่านการอบแห้ง.....	28
14 ลักษณะของเส้นใยเซลล์ูโลสที่ผ่านการปั่นละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง.....	29
15 ลักษณะของฟิล์มที่ได้ปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น.....	33
16 การประยุกต์ใช้ฟิล์มเป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มทุเรียนกวน.....	36

## บทนำ

ผลไม้มีบทบาททางเศรษฐกิจเป็นอย่างมากสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ ปลูกมากในเขตภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย ปี 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเงาะทั้งสิ้น 283,709 ไร่ ผลผลิตรวม 214,474 ตัน มูลค่าผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้รวม 7,319 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560 : 70) อย่างไรก็ตาม บางช่วงการผลิตมีเงาะปริมาณมากออกสู่ตลาดพร้อมกัน ประกอบกับคุณภาพของผลผลิตที่ไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ เช่น ขนาดของผลเล็ก น้ำหนักไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ราคาของผลผลิตตกต่ำ เดือนพฤษภาคม ปี 2555 ราคาผลผลิตเงาะตกต่ำ เหลืออยู่ที่ 6 - 7 บาทต่อกิโลกรัม เป็นเหตุให้เกษตรกรชาวสวนเงาะ จังหวัดตราด ออกมาชุมนุมปิดถนนเรียกร้องให้จังหวัดตราด รับผิดชอบต่อเงาะในราคาไม่ต่ำกว่า 10 บาทต่อกิโลกรัม (โพสต์ทูเดย์. ออนไลน์. 2555) แม้ว่าในปัจจุบัน เงาะมีราคาสูงขึ้น แต่มีข้อจำกัดคือ เงาะเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสำหรับการบริโภคสดได้ไม่นาน ดังนั้นหากสามารถนำผลผลิตเงาะที่นอกเหนือจากการบริโภคมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จะเป็นผลดีต่อเกษตรกร และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำผลผลิตจากเงาะมาใช้ประโยชน์ โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งของคาร์บอนให้กับแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* เพื่อผลิตเส้นใยเซลลูโลส และผลิตเป็นฟิล์มที่ใช้ในการถนอมอาหารแทนฟิล์มพลาสติกทั่วไป ซึ่งเป็นการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุจากวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทำให้เกิดมลพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เวลานาน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum* โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน
2. เพื่อศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้
3. เพื่อประยุกต์ใช้แผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหาร

### ประโยชน์ของการวิจัย

1. ได้องค์ความรู้และเทคโนโลยีในการผลิตฟิล์มที่ผลิตโดยใช้เส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะ และใช้เทคโนโลยีที่ได้เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นฟิล์มเพื่อประโยชน์ด้านอาหาร ด้านการแพทย์ และด้านอื่น ๆ
2. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจต่อไป
3. เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าจากเงาะ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เงาะ

### ปริมาณการผลิตเงาะ

เงาะเป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบหมู่เกาะมลายู ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ต่อมามีการกระจายพันธุ์ออกไปยังประเทศต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ พม่า ศรีลังกา และไทย อีกทั้งยังมีการแพร่กระจายไปยังประเทศในแถบอเมริกากลางด้วย การกระจายพันธุ์ของเงาะเข้ามาในประเทศไทยนั้นมีหลักฐานว่าได้รับพันธุ์มาจากประเทศมาเลเซีย ซึ่งประเทศไทยนับว่าเป็นแหล่งผลิตเงาะที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญคือ จังหวัดจันทบุรี ตราด ระยอง นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี พังงา พัทลุง นราธิวาส น่าน เชียงราย (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) จากตาราง 1 แสดงพื้นที่ปลูกและผลผลิตเงาะ รวมทั้งประเทศ และจังหวัดที่สำคัญ ปี 2557 - 2559 ซึ่งพบว่า ปี 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเงาะจำนวน 283,709 ไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี มีพื้นที่ปลูกเงาะจำนวน 76,127 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดตราด และจังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ปลูกจำนวน 50,865 ไร่ และ 33,744 ไร่ ตามลำดับ ปริมาณผลผลิต ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 214,474 ตัน จังหวัดที่มีผลผลิตเงาะมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี มีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 72,585 ตัน รองลงมาคือจังหวัดตราด และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณผลผลิตเงาะรวม 54,382 ตัน และ 31,060 ตามลำดับ

ตาราง 1 พื้นที่ปลูก และผลผลิตเงาะ รวมทั้งประเทศ และจังหวัดที่สำคัญ ปี 2557 - 2559

จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559
รวมทั้งประเทศ	299,010	292,738	283,709	322,748	313,870	214,474
จันทบุรี	84,629	80,107	76,127	138,520	125,160	72,585
ตราด	49,932	51,429	50,865	76,009	76,853	54,382
นครศรีธรรมราช	34,948	34,228	33,744	19,906	18,459	15,754
สุราษฎร์ธานี	34,188	33,396	32,930	23,722	37,401	31,060
นราธิวาส	27,825	27,231	26,835	11,433	8,834	8,390
ระยอง	9,631	9,558	8,907	14,928	13,950	8,593
น่าน	4,326	6,443	6,695	2,819	3,969	3,548

ตาราง 1 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559
เชียงราย	6,148	6,227	5,968	8,296	6,525	2,476
พังงา	5,618	5,487	5,409	2,888	2,650	2,252
พัทลุง	6,368	5,261	5,255	1,673	1,746	1,552

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560 : 70

### ลักษณะทั่วไปของเงาะ

เงาะมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaccum* Linn. มีชื่อสามัญว่า Rambutan สามารถพบเงาะได้ในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี จังหวัดตราด และจังหวัดระยอง ในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดนราธิวาส จังหวัดพัทลุง และจังหวัดพังงา

ลักษณะทั่วไปของเงาะ มีลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 14 - 25 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นประมาณ 40 - 60 เซนติเมตร (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) มีการแตกกิ่งก้านสาขาย่อยจำนวนมาก เปลือกสีเทาอมน้ำตาลเข้ม กิ่งมีขนาดเล็กสีน้ำตาลอมแดงคล้ำ มีรอยเหี่ยวละเอียดรอบ ๆ ต้น (นฤมล มานีพพาน. 2549 : 18) ดังภาพประกอบ 1

ใบเงาะเป็นใบรวม ใบยาวประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร กว้างประมาณ 5 - 8 เซนติเมตร ใบมีลักษณะคล้ายโล่ (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 8) มีจำนวนใบย่อยประมาณ 2 - 4 คู่ ก้านใบมีขนาดใหญ่ ลักษณะกลมสีน้ำตาลอมแดง ฐานก้านใบหนา ในใบอ่อนจะมีขน รูปร่างเป็นรูปไข่ หัวกลับ ฐานแหลม ปลายมน ขอบใบเรียบ สีเขียวอมเหลือง มีเส้นกลางใบขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นทั้งหน้าใบและหลังใบได้อย่างชัดเจนจำนวนประมาณ 6 - 15 คู่ (นฤมล มานีพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 2

ดอกของเงาะเกิดเป็นช่อบริเวณปลายกิ่งและตามซอกใบ ลักษณะช่อดอกตั้งตรง และแตกแขนงเป็นกลุ่มย่อย ๆ มีสีนวลอ่อน ๆ ในแต่ละต้นจะมีช่อหลายประเภททั้งดอกสมบูรณ์เพศและดอกไม่สมบูรณ์เพศ (นฤมล มานีพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 3

ผลของเงาะจะเกิดรวมกันอยู่เป็นช่อติดอยู่บนก้านช่อดอก ผลเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลมรี มีสีต่างกัน เช่น แดง ชมพู เหลือง เหลืองปนแดง ผลมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก คือ มีความยาวประมาณ 3.5 - 8 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2 - 5 เซนติเมตร บริเวณรอบ ๆ ผล จะมีขนยาวบ้างสั้นบ้าง ขนยาว

ประมาณ 0.5 - 1.8 เซนติเมตร ขนมีสีเดียวกับสีผิวผล เปลือกหนาพอสมควรดังภาพประกอบ 4 เนื้อในจะอ่อนนุ่ม สีขาวใสหรืออมเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว รสหวาน หวานอมเปรี้ยว หรือเปรี้ยวอมหวานแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (สมเกียรติ เสริมภักดี. 2547 : 10) ดังภาพประกอบ 5

เมล็ดเงาะมีลักษณะแบน ขาว รีย มีสีน้ำตาลอ่อน บางพันธุ์เมล็ดติดแน่นกับเนื้อ แต่บางพันธุ์เมล็ดล่อน (นฤมล มานีพพาน. 2549 : 19) ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 1 ลักษณะของต้นเงาะ

ที่มา : พณิตา สุใจ. 2557 : 7

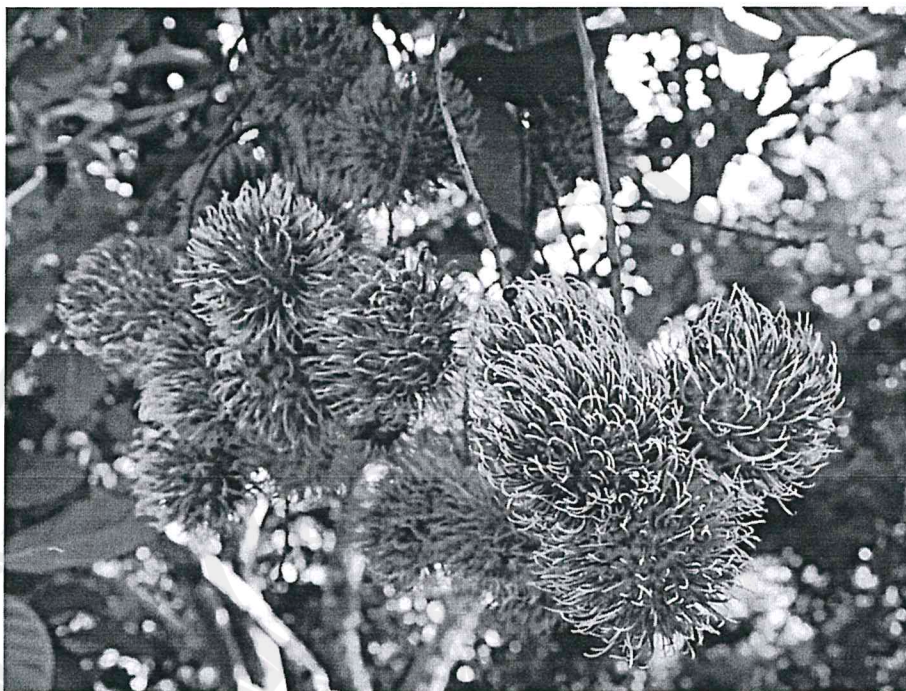
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 2 ลักษณะของใบเงาะ



ภาพประกอบ 3 ลักษณะของดอกเงาะ



ภาพประกอบ 4 ลักษณะของผลเงาะ  
ที่มา : พณิตา สุโข. 2556 : 7



ภาพประกอบ 5 ลักษณะของเนื้อเงาะ  
ที่มา : พณิตา สุโข. 2556 : 8



ภาพประกอบ 6 ลักษณะของเมล็ดเงาะ

ที่มา : วิมลศรี พรรชนประเทศ และคณะ. 2555 : 518

เงาะเป็นผลไม้เขตร้อนประเภทไม่เกิดการสุกหลังการเก็บเกี่ยวจากต้น (Non Climacteric) มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นเช่นเดียวกับผลไม้เขตร้อนหลายชนิด โดยมีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 3 - 4 วัน และมีลักษณะการเสื่อมเสีย คือ เปลือกจะแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและดำ เนื้อผลและแตงมีน้ำไหลซึม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 - 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 - 95 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ (จริงแท้ สิริพานิช. 2550 : 17) ระพีพรรณ ใจภักดี (2544 : 12) รายงานว่าในเงาะ 100 กรัม มีพลังงานและคุณค่าทางโภชนาการดังตาราง 2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะ 100 กรัม

พลังงานและคุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (Energy)	64 แคลอรี (Calories)
ไขมัน (Fat)	0.1 กรัม (gm.)
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	16.5 กรัม (gm.)
เส้นใย (Fiber)	1.1 กรัม (gm.)
โปรตีน (Protein)	1.0 กรัม (gm.)
แคลเซียม (Calcium)	20 มิลลิกรัม (mg.)
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	15 มิลลิกรัม (mg.)
เหล็ก (Iron)	1.9 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินบี 1 (Vitamin B1)	0.01 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	0.06 มิลลิกรัม (mg.)
วิตามินซี (Vitamin C)	53 มิลลิกรัม (mg.)

ที่มา : ระพีพรรณ ใจักดี. 2544 : 12

#### แบคทีเรีย *Acetobacter xylinum*

##### ลักษณะทั่วไป

ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ จุลินทรีย์สามารถสร้างเยื่อธรรมชาติ (Biomassfilms) เช่น เซลลูโลส เพื่อประโยชน์ในการดำรงชีวิต (Watnick and et al. 2000 : 2675 - 2679) ช่วยป้องกันตนเองจากอันตรายต่าง ๆ ภายนอกที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต (Costerton and et al. 1999 : 1318 - 1322) และจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสังเคราะห์เซลลูโลสได้ เช่น สาหร่าย เช่น *Valonia* sp. รา เช่น *Saprolegnia* sp., *Dictyostelium* sp., *Discoideum* sp. และแบคทีเรีย เช่น *Acetobacter* sp., *Achromobacter* sp., *Agrobacterium* sp., *Pseudomonas* sp. แต่ไม่ใช่จุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถปลดปล่อยเซลลูโลสที่สังเคราะห์ออกมาในลักษณะเส้นใยสู่ภายนอกเซลล์ได้ *Acetobacter xylinum* เป็นแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์เซลลูโลสแล้วปลดปล่อยเส้นใยเซลลูโลสออกสู่นอกเซลล์ได้ เป็นสายพันธุ์ที่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์เซลลูโลสมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ให้ผลผลิตเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง ปราศจากกลีโคลิน เพคติน หรือเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้ไม่มีความเป็นพิษ ไม่ก่อให้เกิดโรค และมีลักษณะโครงสร้างที่ดี คือ เส้นใยเซลลูโลสเป็นสายยาว ใช้เวลาในการสังเคราะห์เซลลูโลสในเวลาสั้น

มีคุณสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าสภาพการยืดหยุ่น (Modulus) ที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสจากพืช พบว่ามีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) และค่าความเป็นผลึก (Crystallinity) สูงกว่าเซลลูโลสจากพืช เซลลูโลสจากแบคทีเรียจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น อาหาร ผลิตเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรง ผลิตเป็นอะคูสติกไดอะเฟรมในไมโครโฟน และหูฟัง รวมทั้งนำมาประยุกต์ในด้านการแพทย์ เช่น แผ่นปิดแผล หลอดเลือดเทียม ผิวหนังเทียม และเป็นโครงสร้างให้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Czaja and et al. 2007 : 1 - 12, Fontana and et al. 1997 : 327 - 338, Wan and et al. 2006 : 1825 - 1832, Wan and et al. 2007 : 855 - 864) แต่ทั้งนี้ลักษณะของเซลลูโลสที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดสารเคมีหรือสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตด้วยเช่นกัน (George and et al. 2005 : 189 - 194)

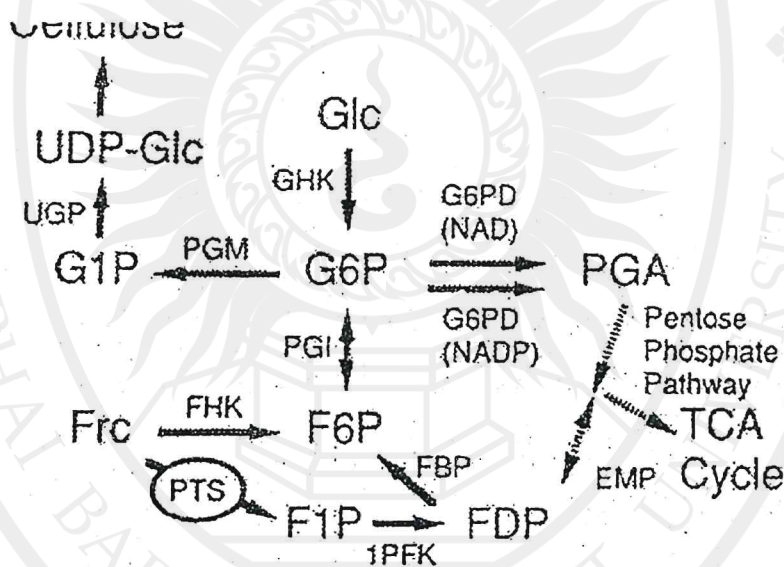
*A. xylinum* เป็นเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม Acetic Acid Bacteria มีลักษณะเซลล์เป็นแท่ง (Rod) ตรงหรือโค้งเล็กน้อย มีขนาดประมาณ 0.6 - 0.8 ไมครอน x 1.0 - 1.4 ไมครอน พบเป็นเซลล์เดี่ยวเป็นคู่ หรือเป็นสาย เซลล์เคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ก็ได้ โดยอาศัยแฟลกเจลลา (Flagella) ชนิด Peritrichous หรือ Lateval ในการเคลื่อนที่ ไม่พบการสร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) เซลล์ย้อมติดสีแกรมลบ แต่เมื่ออายุมากขึ้นอาจย้อมติดได้ทั้งแกรมบวกและลบ ต้องการอากาศในการเจริญ (Obligately Aerobic) โคโลนีมีสีซีดจาง ส่วนใหญ่ไม่มีการสร้างเมดิสี ผลิตเอนไซม์คาตาเลสได้ สามารถออกซิไดส์เอทานอลให้เป็นกรดอะซิติกได้ และบางชนิดสามารถออกซิไดส์กรดอะซิติกให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำต่อไปได้ เรียกว่าการเกิดโอเวอร์ออกซิเดชัน (Over Oxidation) สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดสำหรับการเจริญ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.4 - 6.3 สามารถพบได้ในธรรมชาติ โดยเฉพาะในพืชผัก ผลไม้ ที่สามารถเกิดการหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้ ลักษณะเด่นของ *A. xylinum* คือ สามารถผลิตเซลลูโลสได้ โดยในขั้นแรก กลูโคสจะถูกเปลี่ยนในอยู่ในรูปที่ต่อกันเป็นสายพอลิกลูโคแซน แล้วจึงถูกส่งออกนอกเซลล์ในขั้นที่สองและการพอลิเมอร์ไลซ์ก็จะดำเนินต่อไปเป็นสายของเซลลูโลสที่มีลักษณะ โครงสร้างที่แข็งแรง และมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (De Ley, Sning and Gossele. 1984 : 276 - 278)

#### ชีวเคมีและลักษณะทางกายภาพของการผลิตเซลลูโลสโดย *Acetobacter xylinum*

*A. xylinum* สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดในการผลิตเซลลูโลส เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ พอลิแซคคาไรด์ น้ำตาลแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารตัวกลาง (Intermediate) คือ กลูโคส-6-ฟอสเฟต (Glucose-6-Phosphate : G6P) โดยการผ่านเข้าสู่ตอนใดตอนหนึ่งของวิถีเมตาบอลิซึมหลักของเชื้อ อันได้แก่

วิถีเพนโทสฟอสเฟต (Pentose Phosphate Pathway) วัฏจักรกรดซิตริก หรือ วัฏจักรเครบส์ (Kreb's Cycle) กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis หรือ Embden-Meyerhof Parnas Pathway) และกระบวนการสร้างกลูโคส (Gluconeogenesis) เป็นต้น (Ross and et al. 1991 : 35 - 38)

G6P จะถูกเปลี่ยนเป็น กลูโคส-1-ฟอสเฟต (Glucose-1-Phosphate : G1P) ด้วย เอนไซม์ฟอสโฟกลูโคมิวเตส (Phosphoglucomutase : PGM) และ G1P จะถูกเปลี่ยนเป็นต่อไปให้เป็น ยูริดีนไดฟอสโฟกลูโคส (Uridinediphosphoglucose : UDP-glucose) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับ กระบวนการสร้างเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ยูริดีนไดฟอสโฟสไฟริเลส (UDP-glucosepyrophosphorylase : UGP) UDP-glucose จะถูกนำมาต่อกันเป็นสายเซลลูโลสโดยการทำงานของ Cellulose Synthase ที่อยู่บริเวณพลาสมาเมมเบรน (Plasma Membrane) ของเซลล์ (Yoshinaga and et al. 1997 : 219 - 224) เส้นทางการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *A. xylinum* ดังภาพประกอบ 7

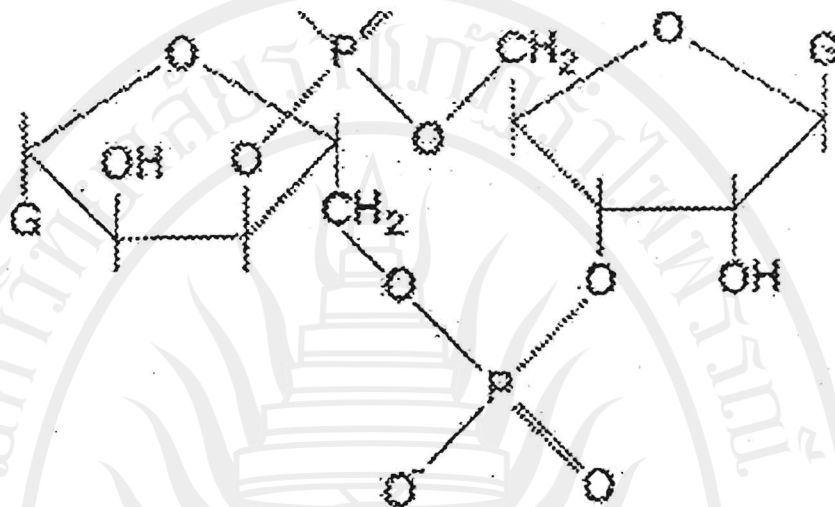


ภาพประกอบ 7 เส้นทางการสังเคราะห์เซลลูโลสของ *Acetobacter xylinum*

ที่มา : Yoshinaga and et al. 1997 : 219 - 224

โดยปกติ เอนไซม์เซลลูโลสซินเทส (Cellulose Synthase) จะอยู่ในรูป Non-activated Cellulose Synthase ซึ่งจะถูกระตุ้นให้เปลี่ยนเป็น Activated Cellulose Synthase และเกิดการ ทำงานได้โดย Cyclic Diguanylic Acid Monophosphate (c-di-GMP) ที่สร้างจาก GTP 2 โมเลกุล โดยเอนไซม์ Diguanylate Cyclase c-di-GMP เป็นสารตัวสำคัญที่มีบทบาทควบคุมการสังเคราะห์ เซลลูโลสใน *A. xylinum* ในการศึกษาแบบ in vitro พบว่าการเติม c-di-GMP เข้าไปในระบบเพียง

เล็กน้อยเท่านั้นก็สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างเซลล์โลสได้ถึง 50 - 200 เท่า (Valla, 1995 : 471 - 494) โครงสร้างของ c-di-GMP ดังภาพประกอบ 8



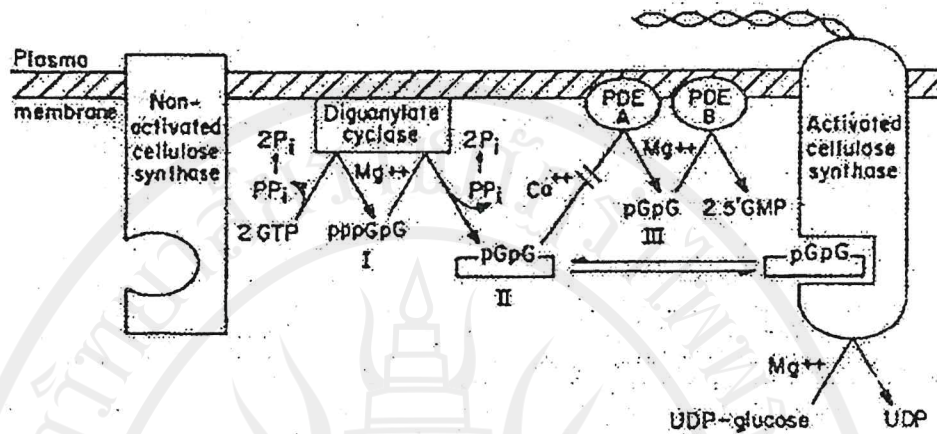
### ของ c-di-GMP

ภาพประกอบ 8 โครงสร้างของ c-di-GMP

ที่มา : Valla, 1995 : 471 - 494

อย่างไรก็ตามพบว่า c-di-GMP จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เซลล์โลสซินเทสได้ก็ต่อเมื่อภายในระบบมีแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$  ion) ในปริมาณมากเพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของ Phosphodiesterase A (PDE A) ได้ PDE A ทำหน้าที่เป็น Negative Regulator ต่อการสังเคราะห์เซลล์โลส ตรงข้ามกับ c-di-GMP ที่เป็น Positive Regulator PDE A จะทำให้ c-di-GMP เปลี่ยนเป็น pGpG (di-GMP) ซึ่งเป็น Linear Molecule ในขณะที่ PDE B จะเปลี่ยน pGpG ต่อให้เป็น GMP 2 โมเลกุล (Ross and et al. 1991 : 35 - 38) โมเดลระบบควบคุมการสังเคราะห์เซลล์โลสใน *A. xylinum* ดังภาพประกอบ 9

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 9 โมเดลระบบควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลสใน *Acetobacter xylinum*

ที่มา : Ross and et al. 1991 : 35 - 38

เมื่อเลี้ยง *A. xylinum* ในอาหารเหลวที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในการหมักแบบวางนิ่ง ในวันแรกเชื้อจะใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเหลวสร้างสายเซลลูโลส (Insoluble Polyglucosan Chain) และปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ เมื่อสายเซลลูโลสดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้น ก็จะสานและรวมตัวกันจนเห็นเป็นเส้นใยสีขาวขุ่นที่ค่อยๆ ลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ ในขณะนี้อาหารเหลวจะขุ่นและยังไม่ปรากฏแผ่นวุ้นบนผิวหน้าของอาหาร จากนั้นวันที่ 2 ของการเลี้ยง อาหารเหลวจะเริ่มใสขึ้นและเส้นใยดังกล่าวจะเริ่มสานตัวกันเกิดเป็นร่างแหของเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นเซลลูโลสสีขาวขุ่นลอยบนผิวหน้าของอาหารเหลว เนื่องจาก *A. xylinum* เป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญและการที่อาหารเหลวมีความใสขึ้นในเวลาเดียวกันกับการปรากฏของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่บริเวณผิวหน้าของอาหารเหลว จึงเกิดข้อสันนิษฐานว่าแผ่นวุ้นดังกล่าวทำหน้าที่พาเซลล์แบคทีเรียขึ้นสู่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่า โดยอาศัยฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียและถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างที่เป็นร่างแหของแผ่นวุ้น (Schramm and Hestrin, 1954 : 123 - 129) จากการทดลองของชรัม และเฮสทริน (Schram and Hestrin, 1954 : 123 - 129) พบว่าเชื้อจะสร้างชั้นของแผ่นวุ้นใหม่ขึ้นบนแผ่นวุ้นด้านที่สัมผัสกับอากาศ และชั้นของแผ่นวุ้นเก่าจะจมลงสู่ด้านล่าง

## ฟิล์ม

### ความหมายของฟิล์ม

ฟิล์ม หมายถึง วัสดุแผ่นบางมีความหนาน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร (0.01 นิ้ว หรือ 10 มิลลิเมตร) ถ้าฟิล์มมีความหนาเท่ากับหรือมากกว่า 250 ไมโครเมตร เรียกว่า ชีต (Sheet) ฟิล์มบริโภคได้ (Edible Film) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่นำมาใช้กับอาหาร โดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไออน้ำ ไอระเหย สารละลาย จุลินทรีย์ หรือ สารอื่น ๆ (Guibert, 1986 : 371 - 394) โดยทั่วไป คำว่า ฟิล์มหรือสารเคลือบไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การเคลือบเป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535 : 1 - 6) สารที่ใช้ทำฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด เช่น พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โปรตีน (Protein) ลิพิด (Lipid) และฟิล์มประกอบ (Composite Film) (Kester and Fernem, 1986 : 47 - 49 ; Krochta and De Mulder-Johnston, 1997 : 61 - 74 ; Gennadios and et al. 1997 : 337 - 350 ; Debeaufort and et al. 1998 : 299 - 313) ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรืออาจใช้สารหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535 : 1 - 6 ; Guibert, 1986 : 371 - 394) ในการใช้ฟิล์มใดในการห่อหุ้ม หรือเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานและคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟิล์ม โดยเฉพาะ โปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ ทำให้ฟิล์มสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของไออน้ำได้ไม่ดี (Maynes and Krochta, 1994 : 909 - 911 ; Stuchell and Krochta, 1995 : 28 - 31) ฟิล์มจากพอลิแซคคาไรด์ โปรตีน และลิพิด สามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาหาร โดยทำหน้าที่ขวางกั้นสารละลาย ก๊าซ และไอระเหย (Gennadios and et al. 1997 : 337 - 350) นอกจากนี้ยังช่วยรักษาคุณภาพของอาหารหลังจากมีการเปิดบรรจุภัณฑ์ โดยการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้น การเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจน และการสูญเสียกลิ่น และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (Lee and et al. 2003 : 99 - 106) ชะลอการระเหยของน้ำ ยับยั้งการหายใจ ปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัส ช่วยรักษากลิ่นสารประกอบที่ระเหยง่าย และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Kester and Fernnerma, 1986 : 47 - 49 ; Cuppett, 1994 : 121 - 137 ; Cuq and et al. 1995 : 111 - 142 ; Debeaufort and et al. 1998 : 299 - 313 ; Diab and et al. 2001 : 988 - 1000)

### การผลิตฟิล์ม

การเกิดฟิล์มโดยทั่วไป เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มได้ละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ขึ้นรูป แล้วแยกสารที่ละลายนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลาย

ระเหยไป การปรับความเป็นกรด-เบส หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มหลอมเหลวแข็งตัวได้ (Solidification) ฟิล์มโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสมบัติเกิดฟิล์มได้ ส่วนตัวทำละลายและสารแต่งเติมจะมีการเติมลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น (Kester and Fennema, 1986 : 47 - 49)

การเกิดฟิล์มจะเกิดแรง 2 ประเภท ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) เป็นแรงที่เกิดระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเอง เกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกัน สร้างพันธะที่แข็งแรงที่จะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลายและสภาวะการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ ลักษณะของกิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ สายพอลิเมอร์ที่ยาวทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างเป็นระเบียบในสายพอลิเมอร์ จะช่วยทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุด จะได้โครงสร้างเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Banker, 1996 : 457 - 472)

สภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่นและทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์เชื่อมกันอย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (Pinholes) หรืออาจทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) การอัดแน่น (Compactness) ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (Adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มนั้นทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ โดยมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1996 : 457 - 472)

## ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

### วิธีการผลิตฟิล์ม

วิธีการผลิตฟิล์ม สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. วิธีการเทสารละลายลงบนวัสดุต่างๆ (Solvent Casting) เป็นการผลิตฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มมาทาเป็นแผ่นบางลงบนภาชนะหรือภาชนะเฉพาะ ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้แห้ง

แล้วลอกออกจะทำให้ได้แผ่นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบซ้ำด้วยสารที่มีสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพฟิล์ม

ต่อมาได้มีการพัฒนาการเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจก โดยวิธีโครมาโตกราฟีแผ่นบาง (Thin-layer Chromatography) แล้วนำไปทำให้แห้ง โดยป่นดคาพวงเกษม (2537 : 3 - 27) ได้ดัดแปลงวิธีนี้ ซึ่งขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียวลงบนแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จึงบนก้นถาดเหล็กปลอดสนิมจนเรียบตึงแล้วนำไปทำแห้งในตู้อบแบบถาด (Tray Drier) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้โปร่งแสง พื้นผิวด้านที่สัมผัสกับพลาสติกเรียบมัน ส่วนที่สัมผัสอากาศมีลักษณะด้าน

2. วิธีเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นการผลิตฟิล์มที่ใช้กับสตาร์ชมีเอมิโลสร้อยละ 50 - 80 พลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 0 - 30 และน้ำร้อยละ 20 - 50 โดยต้องทำให้เอมิโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติกเหนียวก่อนที่จะขึ้นรูปวิธีนี้ได้ ฟิล์มที่ได้มีความชื้นร้อยละ 7 - 15 ความหนา 1 - 4 มิล (1 มิล = 0.0254 มิลลิเมตร)

3. วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (Drum Drier) เป็นวิธีการทำแห้งฟิล์มโดยใช้ลูกกลิ้ง โดยผ่านแผ่นฟิล์มไปยังลูกกลิ้งร้อน อุณหภูมิ 103 - 108 องศาเซลเซียส หมุนด้วยความเร็ว 70 - 110 วินาทีต่อรอบ เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ซึ่งความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับแรงกดอัดและระยะห่างของลูกกลิ้ง การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารที่ใช้ในการทำฟิล์มและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้มีผลต่อการลดลงของแรงที่ใช้เกาะตัวของฟิล์ม ส่งผลให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะไม่เกาะตัวกันหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในเกาะตัวกันของฟิล์มที่มีผลต่อคุณภาพฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ เช่น มวลโมเลกุล ขั้ว ความแข็งแรงของฟิล์ม และลำดับการแตกสาขาของสายพอลิเมอร์ที่ผลิตได้

### พลาสติกไซเซออร์

พลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) หรือสารเพิ่มความยืดหยุ่น คือ สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผสมเข้ากับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟิล์ม โดยการเพิ่ม Free Volume หรือ เพิ่มการเคลื่อนตัวของโมเลกุลของพอลิเมอร์โดยการรีดิวซ์พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ (Mathew and Dusfresne. 2002 : 1101 - 1108)

พลาสติกไซเซออร์เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติของฟิล์ม คุณสมบัติของพลาสติกไซเซออร์ ได้แก่ ส่วนประกอบ โครงสร้างทางเคมี ขนาด และรูปร่าง ความชอบน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของการเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นและคุณสมบัติของฟิล์มด้วย (Sothomvit and

Ktochta. 2001 : 149 - 155 ; Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108 ; Cao and et al. 2009 : 729 - 735) ดังตาราง 3 และตาราง 4

ตาราง 3 คุณสมบัติของพลาสติกไซเซอร

Plasticizer Type	Molecular Weight (MW)	Formular	Shape	Oxygen Atoms
Propylene Glycol	76	$C_3H_8O_2$	Straight Chain	2
Glycerol	92	$C_3H_8O_3$	Straight Chain	3
Sorbitol	182	$C_6H_{14}O_6$	Straight Chain	6
Polyethylene Glycol	200	$H(OCH_2-CH_2)_4OH$	Straight Chain	5
Sucrose	342	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Straight Chain	11
Polyethylene Glycol	400	$H(OCH_2-CH_2)_8OH$	Straight Chain	9

ที่มา : Sothronvit and Ktochta. 2001 : 153

ตาราง 4 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพลาสติกไซเซอร

คุณสมบัติ	Glycerol	Xylitol	Sorbitol	Maltitol	PEG 400
Carbon Number	3	5	6	12	16
Molecular Weight	92	152	182	344	400
Melting Point (°C)	20	94	100	157	4-8
Heat Stability (°C)	>160	>160	>160	>160	>160
Hygroscopy	High	High	Medium	Medium	Low
Tg (°C)	-75	-27	0	45	-25

ที่มา : Mathew and Dufresne. 2002 : 1105

การเลือกใช้พลาสติกไซเซอรขึ้นกับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพลาสติกไซเซอร และพอลิเมอร์ ขึ้นกับ Intermolecular Force ระหว่างองค์ประกอบทั้งสอง ซึ่งถ้ามี Intermolecular Force ที่ใกล้เคียงกันก็มีความสามารถในการเข้ากันได้ดีด้วย ส่วนด้านความคงทนถาวรต้องไม่ซึมออกจากฟิล์มและไม่สูญเสียโดยการระเหย พลาสติกไซเซอรที่มี

Molecular Weight สูง ๆ มี Vapour Pressure และ Diffusion Rate ต่ำอยู่ได้คงทนถาวร ตัวอย่างพลาสติกไซเซออร์ที่ส่วนใหญ่ใช้กับฟิล์มจากแป้ง ได้แก่ Glycogen และน้ำ (Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108) พลาสติกไซเซออร์ที่มักใช้กับฟิล์มจากโปรตีน ได้แก่ Glycerol, Polyethylene Glycol, Sorbitol และน้ำ (Sothornvit and Ktochta. 2001 : 149 - 155) เป็นต้น สำหรับปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ และชนิดของส่วนประกอบอื่นที่อาจเติมเข้าไปแล้วมีผลรบกวนการยึดเกาะของพอลิเมอร์ได้ พลาสติกไซเซออร์มักใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าพอลิเมอร์ เช่น ถ้าเป็นพอลิเมอร์จำพวกแป้ง จะใช้ พลาสติกไซเซออร์ประมาณ 10 - 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ เป็นต้น (Mathew and Dufresne. 2002 : 1101 - 1108) พอลิเมอร์แต่ละชนิดใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิด และปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยทำการทดสอบเพื่อให้ทราบข้อมูลเฉพาะดังกล่าว ดังนั้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากพอลิเมอร์หลาย ๆ ชนิด

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยหลายงานที่มีการผลิตฟิล์มจากพอลิเมอร์ธรรมชาติและการใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดต่าง ๆ เช่น ศรีณญ อุณหวิ และชัญญ ผลประไพ (2555) ได้ประยุกต์ใช้สารประกอบเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับพอลิเมอร์ ธรรมชาติเพื่อผลิตแผ่นฟิล์ม พบว่าการผสมเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับอัลจินेटทำให้แผ่นฟิล์มสามารถลอกได้ง่ายและมีความแข็งแรงสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มเซลลูโลส

จุฑาทิพย์ สีนสวัสดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบรีโกลได้ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมสารพอลิแซคคาไรด์ 5 ชนิด คือ คาราจีแนน ไคโตแซน เพคติน อการ์และเมธิลเซลลูโลส และเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 ชนิด คือ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล พบว่า ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมซอร์บิทอลและกลีเซอรอล มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมสารพอลิแซคคาไรด์ มีค่าอัตราซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่ไม่แตกต่างกัน

ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาผลของสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่น ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยใช้โซเดียม อัลจินेट เป็นสารก่อฟิล์มร่วม และใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มจากเนื้อในเมล็ดมะขามผสมกับโซเดียม อัลจินेट และกลีเซอรอล มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงเจาะ ความสามารถในการยึด และความสามารถในการยึดเกาะได้ดี

ปารณัท ทองสิน (Paranat Tongsin, 2008) ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มซีเอ็นทีที่ผลิตโดยวิธีปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้พลาสติกไซเซอรส์สองชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล และน้ำมันข้าวโพด สำหรับฟิล์มซีเอ็นทีนั้นผลิตจากสารละลายโปรตีนที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว (Tween 40) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อช่วยให้ผลิตเป็นเส้นใยนาโนได้ดีขึ้น จากการศึกษาสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ที่เติมพลาสติกไซเซอรส์พบว่าค่าความหนืดของสารละลายลดลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันข้าวโพดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซอรส์ ไม่ว่าจะเป็ นกลีเซอรอลหรือน้ำมันข้าวโพดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ลดลง แต่มีแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐาน โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า เส้นใยนาโนของโปรตีนซีเอ็นทีมีรูปร่างเหมือนริบบิ้น ซึ่งความกว้างของเส้นใยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอรส์ที่เติมลงไป เมื่อนำตัวอย่างฟิล์มที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ และบ่มในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์เป็น  $50 \pm 2$  เปอร์เซ็นต์ มาทำการศึกษาโดย Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบว่า IR Spectra ของตัวอย่างที่ได้ลึ่อกับโปรตีนซีเอ็นที และพลาสติกไซเซอรส์ที่เติมลงไปได้ดี ในการศึกษาสมบัติทางกลพบว่ากลีเซอรอลและน้ำมันข้าวโพด มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดและค่าการยืดตัวของฟิล์ม นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซอรส์ ไม่ว่าจะเป็ นกลีเซอรอลหรือน้ำมันข้าวโพด มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอรส์

แมทธิว และคูเฟรสเน่ (Mathew and Dufresne, 2002) ได้ศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรส์ ในกลุ่ม Polyol (Glycerol, Xylitol, Sorbitol และ Malitol) ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าวโพด พบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไซเซอรส์เพิ่มขึ้น และ Hygroscopy ลดลง ทำให้ Water Uptake ลดลง แต่ Tensile Stress เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไซเซอรส์

โสธรวิทย์ และครอชต้า (Sothornvit and Krochta, 2001) ได้ทำการศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรส์จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Propylene Glycol, Glycerol, Sorbitol, Polyethylene Glycol 200 (PEG 200) และ Polyethylene Glycol 400 (PEG 400) ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของ  $\beta$ -lactoglobulin Films พบว่า เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ พลาสติกไซเซอรส์เพิ่มขึ้น Tensile Stress และ Elastic Modulus ของฟิล์มจะลดลง

โอลิวาส และบาร์บอส คาโนวาส (Olivas and Barbos-Cánovas (2008) ได้ทำการศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรส์จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Glycerol, Sorbitol, Fructose และ Polyethylene Glycol 8000 (PEG 8000) ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม Alginate-calcium พบว่า เมื่อ % RH เพิ่มขึ้น Tensile

Strength (TS) ของฟิล์มที่ได้จากพลาสติกไซเซออร์ทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ส่วน % Elongation (E) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ไม่มีพลาสติกไซเซออร์มี Tensile Strength มากกว่าฟิล์มที่มีพลาสติกไซเซออร์ Glycerol, Sorbitol, Fructose และ PEG 8000 มี Tensile Strength ต่ำที่สุด ที่ % RH ที่เพิ่มขึ้น (76 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์) ฟิล์มที่มี Glycerol เป็นพลาสติกไซเซออร์ มี TS และ E สูงกว่า เมื่อเทียบกับ Sorbitol และ Fructose ซึ่งมีค่า TS และ E ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีขนาด และน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน คือ 182.17 และ 180.26 ตามลำดับ ส่วน PEG 8000 มีค่า TS และ E ต่ำที่สุด ซึ่งสรุปได้ว่าขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์มีผลต่อ Tensile Strength และ Elongation โดยหากพลาสติกไซเซออร์มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ TS และ E ลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

#### 1. วัตถุดิบ

1.1 น้ำเงาะ (Rambutan Juice) จากการนำเงาะพันธุ์โรงเรียนมาปอกเปลือกเอาเมล็ดเงาะออก นำเนื้อเงาะมาคั้นน้ำโดยใช้อัตราส่วน เนื้อเงาะ 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน บีบแยกน้ำเงาะออกจากส่วนเนื้อเงาะ

1.2 แบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* จากสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### 2. สารเคมี

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ยี่ห้อ UNIVAR

2.2 โซเดียม อัลจิเนต (Sodium Alginate) ยี่ห้อ Algin จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด

2.3 ซอร์บิทอล (Sorbitol) ชนิดผง ยี่ห้อ Sorbitol จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด

2.4 กลีเซอรอล (Glycerol) ยี่ห้อ UNIVAR

#### 3. อุปกรณ์

3.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำตาลในของเหลว (Hand Refractometer) ยี่ห้อ ATAGA รุ่น MASTER-53M

3.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น S210

3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง (Weight Scale) ยี่ห้อ DENVER รุ่น TB-214

3.4 เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) ยี่ห้อ SCHOTT GERATE รุ่น SLR

3.5 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ยี่ห้อ TOMY รุ่น ES 315

3.6 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Blower) ยี่ห้อ Binder รุ่น Ed53

3.7 เครื่องปั่น 4 ใบมีด ขนาด 1 ลิตร (Blender) ยี่ห้อ PHILIPS

3.8 ตู้แช่เย็น (Refrigerator) ยี่ห้อ the COOL

3.9 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.10 จานเพาะเชื้อ (Petri Dish) ขนาด 15 x 100 มิลลิเมตร

## วิธีการ

### 1. การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะ โดย *Acetobacter xylinum*

นำเงาะพันธุ์โรงเรียนมาปอกเปลือก เอาเมล็ดเงาะออก นำเนื้อเงาะมาคั้นน้ำโดยใช้อัตราส่วน เนื้อเงาะ 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน บีบแยกน้ำเงาะออกจากส่วนเนื้อเงาะ นำน้ำเงาะปริมาณ 100 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 20 องศาบริกซ์ ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) ค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็น 4.0 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เดิมเชื้อ *Acetobacter xylinum* ปริมาตรร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ  $30 \pm 1$  องศาเซลเซียส ในสภาวะนิ่ง เป็นเวลา 5 - 7 วัน นำแผ่นเส้นใยเซลลูโลสที่ได้มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที และแช่ในน้ำสะอาดจนเห็นเป็นสีขาว โดยเปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง นำแผ่นเส้นใยเซลลูโลสไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอบแห้งที่ได้ มาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร เก็บในที่แห้งเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

### 2. ศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกไซเซอรในการผลิตแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะ

เตรียมแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะร่วมกับสารก่อฟิล์ม คือ โซเดียม อัลจินต (Sodium Alginate, Alg) โดยผสมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะกับสารก่อฟิล์มร่วม ในอัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ดังตาราง 5 นำส่วนผสมของเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะกับสารก่อฟิล์มร่วม โปรยทีละน้อยลงในน้ำกลั่น บดให้เข้ากัน เป็นเวลา 10 นาที เติมพลาสติกไซเซอร 2 ชนิด คือ กลีเซอรอลและซอบิทอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6 และบดต่อให้ครบเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส หรือจนกว่าส่วนผสมเข้ากัน เทส่วนผสมปริมาณ 20 กรัม ลงในงานเพาะเชื้อ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 - 36 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากงานเพาะเชื้อ ศึกษาลักษณะการลอกเพื่อคัดเลือก พลาสติกไซเซอรที่เหมาะสมสำหรับผลิตแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะ และเก็บแผ่นฟิล์มใน โถควบคุมความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราซึมผ่านของไอน้ำ ความต้านทานไขมันและน้ำมัน

ตาราง 5 ปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ร่วมกับพลาสติกไซเซอร

Treatment	Bacterial Cellulose (g)	Sodium Alginate (g)	glyceral (g)	sorbital (g)	Distilled Water (ml)
1	0.50	0.50	-	-	100
2	0.50	0.50	0.2	-	100
3	0.50	0.50	0.4	-	100
4	0.50	0.50	0.6	-	100
5	0.50	0.50	-	0.2	100
6	0.50	0.50	-	0.4	100
7	0.50	0.50	-	0.6	100

### 3. การปรับปรุงคุณภาพของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะ

เตรียมแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะร่วมกับสารก่อฟิล์ม คือ โซเดียม อัลจิเนต (Sodium Alginate, Alg) โดยผสมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะกับสารก่อฟิล์มร่วมในอัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก นำส่วนผสมของเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะกับสารก่อฟิล์มร่วม โปรงทีละน้อยลงในน้ำกลั่น ปั่นให้เข้ากัน เป็นเวลา 10 นาที เติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 ตามตาราง 6 และปั่นต่อให้ครบเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หรือจนกว่าส่วนผสมเข้ากัน เทส่วนผสมปริมาณ 50 กรัม ลงในงานเพาะเชื้อ นำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากงานเพาะเชื้อ คุณลักษณะ การลอกและ เก็บแผ่นฟิล์มในโถควบคุมความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ความต้านทานไขมันและน้ำมัน ความหนาและการต้านแรงดึงขาด

ตาราง 6 ปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ร่วมกับพลาสติกไซเซอร

Treatment	Bacterial Cellulose (g)	Sodium Alginate (g)	glycerol (g)	Distilled Water (ml)
1	0.50	0.50	-	100
2	0.50	0.50	0.2	100
3	0.50	0.50	0.4	100
4	0.50	0.50	0.6	100

#### 4. การนำแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์

นำแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ไปใช้ในการห่อเนื้อทุเรียนกวน โดยเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มห่ออาหารทั่วไป และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการณ์ซึมผ่านของน้ำมันทุก 2 วัน

#### 5. วิธีการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้

##### 5.1 วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

วัดค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธีของ AOAC (1990) และ ASTM (2000) โดยนำภาชนะอลูมิเนียมมาชั่ง น้ำหนักและบรรจุซิลิกาเจล 25 กรัม แล้วชั่งน้ำหนัก นำแผ่นฟิล์มมาปิดปากด้วยฝาผนึกครอบปากด้วยถ้วยพาราฟิล์มเพื่อไม่ให้มีรอยร้าวแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เก็บภาชนะอลูมิเนียมที่ปิดผนึกแล้วไว้ในโถดูดความชื้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 27.5 เซนติเมตร ซึ่งใส่น้ำไว้ด้านล่างของโถปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร เพื่อรักษาความชื้นสัมพัทธ์ให้มีค่าเท่ากับ 100 เก็บโถดูดความชื้นไว้ที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมที่ปิดผนึกแล้วในโถดูดความชื้นทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน นำน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของซิลิกาเจลที่ชั่งได้มาคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate : WVTR)

$$\text{การซึมผ่านของไอน้ำ (g/m}^2\text{/day)} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (g)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}}{\text{พื้นที่ของฟิล์ม (m}^2\text{)} \times \text{ระยะเวลา (day)}}$$

##### 5.2 วิเคราะห์ความต้านทานไขมันและน้ำมัน

วัดค่าความต้านทานไขมันและน้ำมัน ตามวิธี TAPPI T 454 - OS - 77 (1989) โดยชั่งทรายชุดละ 2 กรัม วางกองบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งอยู่บนกระดาษขาวจัดกองทรายให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง

1 นิ้ว หยอดน้ำมัน 0.5 มิลลิลิตร ลงบนกองทราย สังเกตหยดน้ำมันว่าเกือบจะอึดตัว แต่ไม่ให้เลอะออกนอกกองทราย เริ่มจับเวลา สังเกตทุก ๆ 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาเมื่อมันทะลุผ่านแผ่นฟิล์ม คิวเวลาทั้งหมดเป็นค่าความต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์ม

### 5.3 วัดความหนา (Thickness)

วัดความหนา (Thickness) (ดัดแปลงจาก Bulterand and et al. 1996) โดยวัด ความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ ตัวอย่างละ 10 จุด แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย

### 5.4 วัดการต้านแรงดึงขาด

วิเคราะห์การต้านทานแรงดึงขาด ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามมาตรฐาน ASTM method D882

## 6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

## สถานที่ดำเนินการวิจัย

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

## ระยะเวลาการทดลอง

ประมาณเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## ผลและการวิจารณ์

### ผลการทดลอง

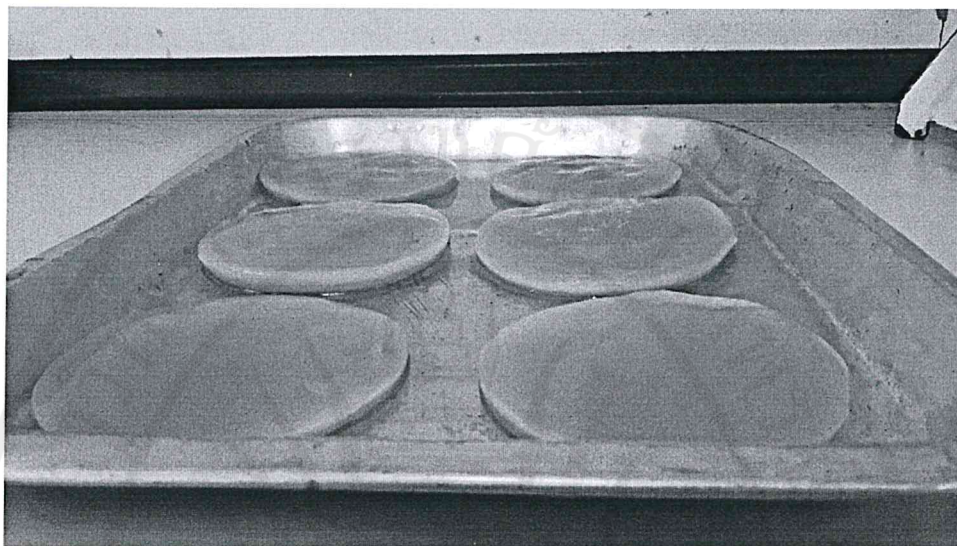
ผลการเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะโดย *Acetobacter xylinum*

จากการเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะโดยใช้เชื้อ *Acetobacter xylinum* ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ ดังภาพประกอบ 10 และ 11 โดยเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นวุ้น สีขาวขุ่นด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ ส่วนด้านล่างจะมีสีน้ำตาลเข้ม ความหนาประมาณ  $1.0 \pm 0.5$  เซนติเมตร หลังการหมักเป็นเวลา 7 วัน และเมื่อผ่านการต้มและแช่ในน้ำสะอาดจนค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำสุดท้าย เป็น 7.0 ได้ลักษณะเส้นใยเซลลูโลสเป็นสีขาวขุ่น ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 10 ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่เกิดขึ้นในขวดรูปชมพู่ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 11 ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสหลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ 12 ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสหลังจากการต้มและแช่ในน้ำสะอาดจนค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำสุดท้ายเป็น 7.0

การเตรียมสารแขวนลอยจากวุ้นเซลลูโลส โดยการนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ลักษณะของเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้ม ดังภาพประกอบ 13 แล้วจึงนำแผ่นเซลลูโลสอบแห้งที่ได้ มาปั่นให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร จนได้เซลลูโลสผงที่จะนำไปทำฟิล์มดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 13 ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 14 ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการบีบอัดและร้อนผ่านตะแกรง

ผลการศึกษานิตและปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกไซเซออร์ในการผลิตแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะ

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสโดยการนำเซลลูโลสผสมกับ โซเดียมอัลจิเนต และพลาสติกไซเซออร์ ตามส่วนผสมต่าง ๆ ที่ได้วางแผนการทดลอง พบว่า ลักษณะของฟิล์มที่ได้ มีลักษณะเป็นแผ่นใสเป็นมันสีเหลือง เมื่อนำมาลอกโดยใช้คีมในการลอกแผ่นฟิล์ม โดยจะเริ่มลอกจากขอบ ลอกเป็นแนวตามขอบเรื่อย ๆ มาจนถึงกลางแผ่น และบันทึกความยากง่ายในการลอกแผ่นฟิล์มโดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ได้ผลดังตาราง 7

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 7 ความยากง่ายในการลอกของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับตัวควบคุม เมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์ชนิดต่าง ๆ

Treatment	Bacterial Cellulose (g)	Sodium Alginate (g)	Glycerol (g)	Sorbital (g)	ความสามารถในการลอก
1	0.50	0.50	-	-	-
2	0.50	0.50	0.2	-	++
3	0.50	0.50	0.4	-	++
4	0.50	0.50	0.6	-	++
5	0.50	0.50	-	0.2	+
6	0.50	0.50	-	0.4	+
7	0.50	0.50	-	0.6	+

ความสามารถในการลอก

– หมายถึง ไม่สามารถลอกได้, + หมายถึง สามารถลอกได้, ++ หมายถึง สามารถลอกได้ดีกว่า

จากตาราง 7 จะเห็นได้ว่า ฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากการใช้กลีเซอรอลจะสามารถลอกออกจากงานเพาะเชื้อได้ดีกว่าการใช้ซอร์บิทอล ส่วนฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเพิ่มความยืดหยุ่นทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถลอกออกได้ มีลักษณะแตกหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ลักษณะปรากฏของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอล มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียวแต่บาง เป็นมันสีเหลือง ส่วนปริมาณที่ใช้ ไม่มีผลต่อการลอก ซึ่งพบว่า การใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ที่ปริมาณตั้งแต่ 0.2 - 0.6 ฟิล์มที่ได้สามารถลอกได้และมีความง่ายในการลอกระดับใกล้เคียงกัน

ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

เมื่อนำฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ได้มาวิเคราะห์การซึมผ่านไอน้ำเป็นเวลา 5 วัน ได้ผลดังตาราง 8 จากตารางพบว่า ในวันที่ 5 ของการทดสอบ ฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณร้อยละ 0.2 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงที่สุด คือ  $0.28975 \times 10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/day และฟิล์มเซลลูโลสที่มีซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณร้อยละ 0.2 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด คือ  $0.24055 \times 10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/day อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านไอน้ำจากสัดส่วนพลาสติกไซเซอร์ที่ต่างกัน ของสารแต่ละชนิด พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่มีโซเดียมแอลจิเนตเป็นสารก่อฟิล์มร่วม และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ

มากกว่าแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่มีโซเดียมแอลจินเตเป็นสารก่อฟิล์มร่วม และใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณของพลาสติกไซเซอร်ไม่มีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำ

ตาราง 8 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารพลาสติกไซเซอร်ที่ระดับต่าง ๆ

ชนิดของ พลาสติกไซเซอร်	ปริมาณ (ร้อยละ)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ ( $10^{-4}$ g/m <sup>2</sup> /day)				
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
กลีเซอรอล	0.2	0.09695 <sup>b</sup>	0.16405 <sup>b</sup>	0.21310 <sup>b</sup>	0.25465 <sup>b</sup>	0.28975 <sup>b</sup>
	0.4	0.08465 <sup>b</sup>	0.16020 <sup>b</sup>	0.21185 <sup>b</sup>	0.25190 <sup>b</sup>	0.28805 <sup>b</sup>
	0.6	0.09190 <sup>b</sup>	0.15755 <sup>b</sup>	0.20885 <sup>b</sup>	0.25580 <sup>b</sup>	0.28805 <sup>b</sup>
ซอร์บิทอล	0.2	0.06745 <sup>a</sup>	0.12260 <sup>a</sup>	0.16750 <sup>a</sup>	0.20760 <sup>a</sup>	0.24055 <sup>a</sup>
	0.4	0.06565 <sup>a</sup>	0.12400 <sup>a</sup>	0.17675 <sup>a</sup>	0.21305 <sup>a</sup>	0.24920 <sup>a</sup>
	0.6	0.06485 <sup>a</sup>	0.12350 <sup>a</sup>	0.17070 <sup>a</sup>	0.21135 <sup>a</sup>	0.24380 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษร ab ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

#### ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของน้ำมัน

จากการทดลองการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ แสดงดังตาราง 9 จากตารางพบว่าการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร် แผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 120 ชั่วโมง จึงสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่มีโซเดียมแอลจินเตเป็นสารก่อฟิล์มร่วมและใช้พลาสติกไซเซอร်ทั้ง 2 ชนิด สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้ไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 9 ค่าการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่ใช้พลาสติกไซเซออร์ที่ระดับต่าง ๆ

ชนิดของพลาสติกไซเซออร์	ปริมาณ (ร้อยละ)	การซึมผ่านของน้ำมัน
กลีเซอรอล	0.2	มากกว่า 120 ชั่วโมง
	0.4	มากกว่า 120 ชั่วโมง
	0.6	มากกว่า 120 ชั่วโมง
ซอร์บิทอล	0.2	มากกว่า 120 ชั่วโมง
	0.4	มากกว่า 120 ชั่วโมง
	0.6	มากกว่า 120 ชั่วโมง

#### ผลการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะ

จากผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกไซเซออร์ในการผลิตแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะ การใช้กลีเซอรอลเป็นสารก่อฟิล์มร่วมจะสามารถลอกออกจากงานเพาะเชื้อได้ดีกว่าการใช้ซอร์บิทอล จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นฟิล์ม โดยเตรียมแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะร่วมกับสารก่อฟิล์ม คือ โซเดียมอัลจิเนต ผสมเส้นใยเซลลูโลสจากน้ำเงาะกับสารก่อฟิล์มร่วมในอัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 โดยปรับการทดสอบผสมจากปริมาณ 20 กรัม เป็นปริมาณ 50 กรัม เพื่อให้ง่ายต่อการลอกและความแข็งแรงของฟิล์ม จากการทดสอบการลอกแผ่นฟิล์ม พบว่าลักษณะของฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นใสเป็นมันสีเหลือง มีความหนามากขึ้น และสามารถลอกได้ง่ายขึ้น ดังภาพประกอบ 15 จากนั้นเก็บแผ่นฟิล์มในโถควบคุมความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ความต้านทานไขมันและน้ำมัน ความหนาและการต้านแรงดึงขาด



ภาพประกอบ 15 ลักษณะของฟิล์มที่ได้ปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

จากผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ได้ผลดังตาราง 10 จากตารางพบว่า ในวันที่ 5 ของการทดสอบ ฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอลในปริมาณร้อยละ 0.6 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงที่สุด คือ  $0.31361 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2/\text{day}$  และฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอลในปริมาณร้อยละ 0.2 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด คือ  $0.30195 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2/\text{day}$  จึงสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่มีไซเดียมแอลจินตเป็นสารก่อกฟิล์มร่วม และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้น จะมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนา การต้านแรงดึงขาด และการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม ได้ผลดังตารางที่ 11 จากตารางพบว่า ค่าความหนาของฟิล์ม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีความหนายู่ระหว่าง 0.05750 - 0.06109 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าต้านแรงดึงขาด มีความแตกต่างกันทางสถิติ ฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอลในปริมาณร้อยละ 0.2

มีค่าต้านแรงดึงขาดสูงสุด คือ 0.07179 Mpa และฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ในปริมาณร้อยละ 0.6 มีมีค่าต้านแรงดึงขาดต่ำที่สุด คือ 0.03810 Mpa ค่าการยึดตัวของฟิล์ม ฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณร้อยละ 0.2 และ 0.4 มีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) คือร้อยละ 93.71 และ 93.99 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มเซลลูโลส ที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณร้อยละ 0.6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) และมีค่าการยึดตัวสูงสุดที่สุด คือ ร้อยละ 99.45 จึงสรุปได้ว่า การทดสอบความหนาของ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมกลีเซอรอลในระดับต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ด้านการทดสอบ การต้านแรงดึงขาด และการยึดตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) โดยฟิล์ม เซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณร้อยละ 0.2 มีค่าต้านแรงดึงขาดสูงสุด แต่มีค่าการยึดตัวต่ำที่สุด ในขณะที่ฟิล์มเซลลูโลสที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณ ร้อยละ 0.6 มีค่าต้านแรงดึงขาดต่ำที่สุด แต่มีค่าการยึดตัวสูงสุด

○ การทดลองการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ แสดงดังตาราง 12 จากตารางพบว่า แผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 30 วัน จึงสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่มี โซเดียมแอลจินเนตเป็นสารก่อก้อนร่วมและใช้กลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซออร์ สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้ดี

ตาราง 10 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ที่ระดับต่าง ๆ

ชนิดของ พลาสติกไซเซออร์	ปริมาณ (ร้อยละ)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ ( $10^{-4}$ g/m <sup>2</sup> /day)				
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
กลีเซอรอล	0.2	0.08006 <sup>a</sup>	0.13569 <sup>a</sup>	0.19649 <sup>a</sup>	0.25294 <sup>a</sup>	0.30195 <sup>a</sup>
	0.4	0.08143 <sup>ab</sup>	0.13546 <sup>a</sup>	0.19691 <sup>a</sup>	0.25461 <sup>a</sup>	0.30523 <sup>a</sup>
	0.6	0.08619 <sup>b</sup>	0.14261 <sup>a</sup>	0.20233 <sup>a</sup>	0.26390 <sup>b</sup>	0.31361 <sup>b</sup>

หมายเหตุ อักษร ab ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ )

ตาราง 11 ค่าความหนา การต้านแรงดึงขาด และการยึดตัวของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับต่าง ๆ

ชนิดของพลาสติกไซเซออร์	ปริมาณ (ร้อยละ)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าต้านแรงดึงขาด (Mpa)	ค่าการยึดตัว (ร้อยละ)
กลีเซอรอล	0.2	0.05906 <sup>a</sup>	0.07179 <sup>a</sup>	93.71 <sup>a</sup>
	0.4	0.06109 <sup>a</sup>	0.05399 <sup>b</sup>	93.99 <sup>a</sup>
	0.6	0.05750 <sup>a</sup>	0.03810 <sup>c</sup>	99.45 <sup>b</sup>

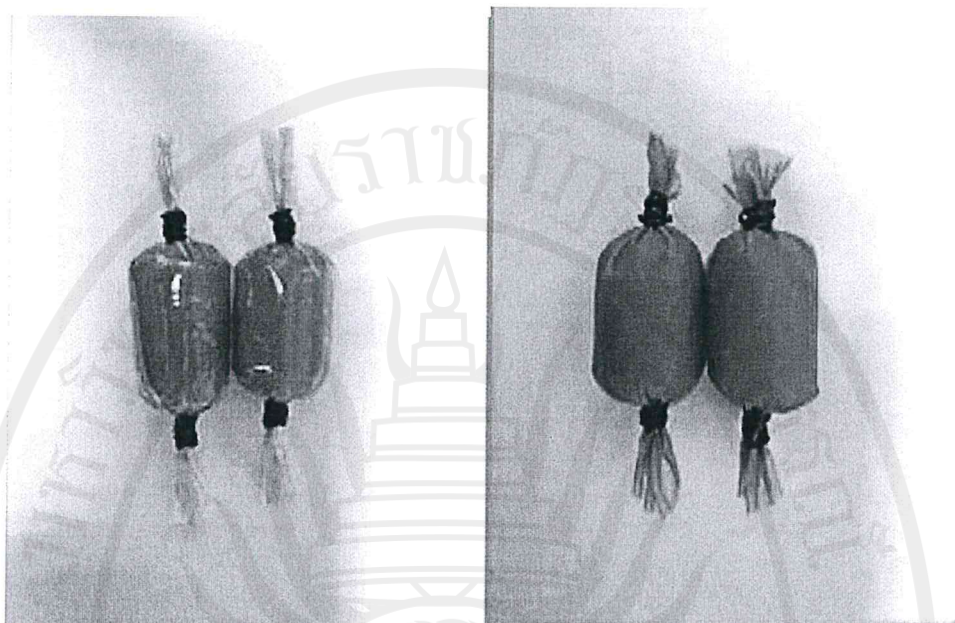
หมายเหตุ อักษร ab ที่แตกต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตาราง 12 ค่าการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับต่าง ๆ

ชนิดของพลาสติกไซเซออร์	ปริมาณ (ร้อยละ)	การซึมผ่านของน้ำมัน
กลีเซอรอล	0.2	มากกว่า 30 วัน
	0.4	มากกว่า 30 วัน
	0.6	มากกว่า 30 วัน

#### ผลการนำแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์

จากการทดสอบนำแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสน้ำเงาะที่ได้ปรับปรุงคุณภาพแล้ว มาห่อเนื้อทุเรียนกวน โดยเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มห่ออาหารทั่วไป พบว่า ลักษณะของฟิล์มห่อจะมีความแตกต่างกัน ฟิล์มห่ออาหารทั่วไปจะมีความใสจนสามารถเห็นเนื้อทุเรียนกวนได้ ขณะที่ฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจะมีลักษณะสีน้ำตาลอมเหลือง ไม่เห็นเนื้อทุเรียนกวนด้านในดังภาพประกอบ 16 เมื่อทดลองการต้านทานน้ำมันของฟิล์มห่ออาหารทั่วไป กับแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับต่าง ๆ เมื่อนำไปใช้ห่อเนื้อทุเรียนกวน แสดงดังตาราง 13 จากตารางพบว่า ฟิล์มห่ออาหารทั่วไปกับฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 30 วัน



ภาพประกอบ 16 การประยุกต์ใช้ฟิล์มเป็นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มทุเรียนกวน

ตาราง 13 ค่าการต้านทานน้ำมันของฟิล์มห่ออาหารทั่วไป กับแผ่นฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้สารกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรที่ระดับต่าง ๆ เมื่อนำไปใช้ห่อเนื้อทุเรียนกวน

ชนิดของฟิล์ม	การซึมผ่านของน้ำมัน
ฟิล์มห่ออาหารทั่วไป	มากกว่า 30 วัน
ฟิล์มผสมกลีเซอรอล ร้อยละ 0.2	มากกว่า 30 วัน
ฟิล์มผสมกลีเซอรอล ร้อยละ 0.4	มากกว่า 30 วัน
ฟิล์มผสมกลีเซอรอล ร้อยละ 0.6	มากกว่า 30 วัน

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองฟิล์มที่เตรียมโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำได้มากกว่าฟิล์มที่เตรียมโดยใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของสารทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นจากอากาศ (Hygroscopic) สูง (Mathew and Dufresne, 2002 : 1101 - 1108) เมื่อนำไปผสมกับสารก่อฟิล์มทำให้ฟิล์มดูดซับไอน้ำเข้าไปในแผ่นฟิล์มมากขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย (Pongjanyakul

and Puttipipatkachorn. 2007 : 34 - 44; ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และคณะ. 2557 : 665 - 668) สำหรับแผ่นฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลมีค่าการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล เนื่องจากซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีคุณสมบัติในการคูดน้ำน้อยกว่ากลีเซอรอล จึงทำให้การกักเก็บน้ำในแผ่นฟิล์มน้อยลง ค่าการซึมผ่านไอน้ำจึงมีค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล (Cerqueira and et al. 2012 : 3181 - 3192) การทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และคณะ (2557 : 665 - 668) Olivas and Barbosa-Ca'novas (2008 : 359 - 366) และบัวตุม (Bourtoom. 2008 : 149 - 165) ที่มีรายงานการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลในการเตรียมแผ่นฟิล์มเนื้อในเมล็ดมะขาม แผ่นฟิล์มแคลเซียมอัลจิเนตและแผ่นฟิล์มแป้งข้าวเจ้าร่วมกับไคโตซาน ซึ่งพบว่าการใช้กลีเซอรอลมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าการใช้ซอร์บิทอล ฟิล์มที่ผลิตจากการใช้พลาสติกไซเซออร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้สอดคล้องกับรายงานของรัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไผ่เพชร (2549 : 36 - 44) ซึ่งรายงานผลของพลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอลและโพลีเอทธิลีนไกลคอล ซึ่งพบว่าการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 90 วัน แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้ในระดับเดียวกัน พบว่าการใช้กลีเซอรอลสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้สูงกว่าซอร์บิทอล การผลิตฟิล์มโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้เนื่องจากโมเลกุลของกลีเซอรอลมีส่วนที่ชอบน้ำปริมาณมาก เมื่อนำมาทดสอบการต้านทานน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง และคณะ. 2558 : 665 - 668) จึงทำให้น้ำมันไม่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำฟิล์มเซลลูโลสมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง ซึ่งตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.654-2529) ระบุความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์มที่สามารถใช้บรรจุน้ำมันและไขมันบริโภคต้องต้านทานได้อย่างน้อย 120 ชั่วโมง เมื่อปรับปรุงคุณภาพของแผ่นฟิล์ม พบว่าแผ่นฟิล์มสามารถในการลอกได้ดีขึ้น ค่าการซึมผ่านไอน้ำ มีค่าไม่แตกต่างจากฟิล์มเดิม และสามารถต้านทานน้ำมันได้ดีเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุห่ออาหารที่มีไขมันสูงอย่างเนื้อทุเรียนกวน หลังจากผ่านไป 30 วัน เนื้อฟิล์มยังมีสามารถต้านทานน้ำมันได้ดี แต่เนื้อสีของฟิล์มเส้นใยเซลลูโลส อาจจะยังไม่ใสเท่ากับแผ่นฟิล์มห่ออาหารทั่วไป

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum* โดยใช้น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การใช้ น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตเส้นใยเซลลูโลสสามารถทำได้ โดยเมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 5 - 7 วัน สามารถผลิตเส้นใยเซลลูโลสได้ โดยมากกว่ามีความหนา 1.0 เซนติเมตร
2. การผสมเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับ โซเดียม อัลจิเนตสามารถทำให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น เมื่อผสมสารพลาสติกไซเซอร์ จะเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นฟิล์ม ทำให้สามารถนำแผ่นฟิล์มไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
3. จากการทดสอบความต้านทานไขมันและน้ำมัน น้ำมันไม่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำฟิล์มเซลลูโลสมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูงได้
4. ฟิล์มเส้นใยเซลลูโลสจาก *A. xylinum* โดยใช้ น้ำเงาะเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถนำไปใช้ในการห่อหุ้มอาหารที่มีไขมันสูง อย่างเช่น เนื้อทุเรียนกวนได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์ สามารถไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มอาหาร หรือนำไปใช้ในทางการแพทย์ได้ เช่น ฟิล์มปิดแผล
2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรพัฒนาคุณภาพของฟิล์มและศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับงานที่จะไปใช้ประโยชน์ และควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารร่วมก่อฟิล์มชนิดอื่น ๆ



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. (2550). ชีวิตวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- จุฑาทิพย์ ลินสวัสดิ์, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลหากุลจิตต์. (2555). “การศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ได้จากแป้งมันสำปะหลังผสมสารพอลิแซคคาไรด์,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 (2 พิเศษ) : 501 - 504.
- นฤมล มานีพพาน. (2549). การปลูกและการขยายพันธุ์เงาะ ไม้ผลเศรษฐกิจสร้างรายได้ ทางเลือกธุรกิจที่น่าสนใจในการลงทุน. กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์เพชรกระรัต จำกัด.
- ปนัดดา พวงเกษม. (2537). การเตรียมฟิล์มบริโกลด์จากแป้งชนิดต่าง ๆ. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยนุสรณ์ น้อยดวง, ลลิตา ท้าวลา และอรพรรณ ปะอ้าย. (2558). “ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากสตาร์ชแห้วจีน,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 46 (3 พิเศษ) : 665 - 668.
- ปิยะนุช สุวรรณรัตน์, แสงระวี สุทธิปริญญาพันธ์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส. (2557). ผลของสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแผ่นฟิล์มเนื้อเมล็ดมะขาม. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15, หน้า 1522 - 1532.
- พนิตา สุโข. (2560). ผลการ GA<sub>3</sub>, NAA และสารคล้ายบราสซิโน (BS) ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการเกษตร). จันทบุรี : เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- โพสต์ทูเดย์. (2555). มือบเงาะปิดถนนสุขุมวิทร้องแก้ราคาจวบ. (ออนไลน์) แหล่งที่มา : <https://www.posttoday.com/social/local/154767>. 30 พฤษภาคม 2560.
- มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. (2535). “ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้,” อาหาร. 22 (1) : 1 - 6.
- ระพีพรรณ ใจภักดี. (2544). ผลไม้ชุดที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แสงแดดเพื่อนเด็ก.
- รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไฝเพชร. (2549). “อิทธิพลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลายของฟิล์ม โปรตีนถั่วเขียว,” วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2 (1) : 36 - 44.
- วิมลศรี พรพรรณประเทส, ศรีศักดิ์รังวัชรกุล, โสรดา วัฒนา, จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์, ภูริน บุญโกสุมภ์ และกุลนที เลหากุล. (2555). “การประยุกต์ใช้แป้งเมล็ดเงาะในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเคลือบ,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 (2 พิเศษ) : 517 - 520.

- ศรัณยู อุ๋นทวิ และชนัญ ผลประไพ. (2555). การประยุกต์ใช้สารประกอบเซลลูโลสจากแบคทีเรีย  
กับพอลิเมอร์ธรรมชาติเพื่อผลิตแผ่นฟิล์ม. การประชุมเครือข่ายวิชาบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ  
ครั้งที่ 1. 18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ : หน้า 86.
- สมเกียรติ เสริมภักดี. (2547). การปลูกเงาะ. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพฯ : สำนักงาน  
เศรษฐกิจการเกษตร.
- Banker. G.S. (1996). "Water Vapor Transmission Properties of Free Polymer Films,"  
**J. Pharmac.** 18 (7) : 457 - 472.
- Bourtoom, T. (2008). "Plasticizer Effect on the Properties of Biodegradable Blend Film from  
Rice Starch-chitosan," **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 30 (1) : 149 - 165.
- Cao N, Yang X and Fu Y. (2009). "Effects of Various Plasticizers on Mechanical and Water  
Vapor Barrier Properties of Gelatin Films," **Food Hydrocolloids.** 23 (3) : 729 - 735.
- Cerqueira, M.A., Souza, B.W. S., Teixeira J.A. and Vicente, A.A. (2012). "Effects of  
Interactions between the Constituents of Chitosan-edible Films on Their Physical  
Properties," **Food Bioprocess Technol.** 5 (8) : 3181 - 3192.
- Costerton, J.W., Stewart, P.S. and Greenberg, E.P. (1999). "Bacterial Biofilms: a Common  
Cause of Persistent Infections," **Science.** 284 (5418) : 1318 - 1322.
- Cuppett, S.L. (1994). "Edible Coating as Carriers of Food Additives, Fungicides and  
Natural Anti-oxidants," In Edible Coatings and Films to Improve Food Quality.  
Krocha, J.M., Baldwin, E.A., and Nisperos-Carriedo, M.O. (Eds.), Technomic  
Publishing Company, Lancaster, PA, pp. 121 - 137.
- Cuq, B., Gontard, N., and Guilbert, S. (1995). "Edible Films and Coatings as Active Layers",  
**In Active Food Packaging.** Rooney, M. (Ed.), Blackie Academic and Professional,  
London, pp. 111 - 142.
- Czaja, W., Young, DJ., Kawecki, M. and Brown, RM. (2007). "The Future Prospect of  
Microbial Cellulose in Biomedical Applications," **Biomacromolecules.** 8 (1) : 1 - 12
- De Ley, J., Swings, J. and Gossele, F. (1984). **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.**  
Vol.1. Bsltimore : The Williams and Wilkins. pp. 276 - 278

- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.A., and Voilley, A. (1998). "Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review," **Critical Review Food Science**. 38 (4) : 299 - 313.
- Diab, T., Billiaderis, C.G., Gerasopoulos, D., and Sfakiotakis, E. (2001). "Physicochemical Properties and Application of Pullulan Edible Films and Coating in Fruits Preservation," **Journal Science Food Agriculture**. 81 (10) : 988 - 1000.
- Fontana, J.D., Joerke, C.G., Baron, M., Maraschin, M., Ferreira, A.G. and Torriani, I. (1997). "Acetobacter Cellulose Biofilms Search for New Modulators of Cellulogenesis and Native Membrane Treatment," **Appl Biochem Biotechnol**. 6 (65) : 327 - 338.
- Gennadios, A., Hanna, M.A., and Kurth, L.B. (1997). "Application of Edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods: A Review," **Lebensmittel-Wissenschaft and- Technologie**. 30 (4) : 337 - 350.
- George, J., Ramana, K., Sabapathy, Sh., Jagannath, J. and Bawa, A. (2005). "Characterization of Chemically Treated Bacterial (*Acetobacter xylinum*) Biopolymer Some Thermo-mechanical Properties," **Int J Biol Macromol**. 37 (4) : 189 - 194.
- Guilbert, S. (1986). "Technology and Application of Edible Films", In Food Packing and Preservation Theory and Practice, Mathalouthi N. (ed.), Elsevier Applied Science Publisher, London, pp. 371 - 394.
- Kester, J.J. and Fernema, O. (1986). "Edible Films and Coatings: A Review," **Food Technology**. 12 (40) : 47 - 49.
- Krochta, J.M. and De Mulder-Johnston, C. (1997). "Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities," **Food technology**. 2 (51) : 61 - 74.
- Lee, C.H., An, D.S., Park, H.F. and Lee, D.S. (2003). "Wide-spectrum Antimicrobial Packaging Materials Incorporating Nisin and Chitosan in the Coating," **Packaging Technology and Science**. 16 (3) : 99 - 106.
- Mathew, Aji P. and Dufresne, Alain. (2002). "Plasticized Waxy Maize Starch: Effect of Polyols and Relative Humidity on Material Properties," **Biomacromolecules**. 3 (5) : 1101 - 1108.
- Maynes, J.R. and Krochta, J.M. (1994). "Properties of Edible Films from Total Milk Protein," **Journal of Food Science**. 59 (4) : 909 - 911.

- Olivas, GI. and Barbosa-Ca'novas, GV. (2008). "Alginate-calcium Films: Water Vapor Permeability and Mechanical Properties as Affected by Plasticizer and Relative Humidity," **LWT Food Science and Technology**. 41 (2) : 359 - 366.
- Paranat Tongsin. (2008). **Effects of Plasticizers (Glycerol and Corn Oil) on Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Electrospun Zein Film**. Thesis. B.Sc. (Food Process Engineering). Bangkok : King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Pongjanyakul, T. and Puttipipatkachorn, S. (2007). "Alginate-magnesium Aluminum Silicate Films: Effect of Plasticizers on Film Properties, Drug Permeation and Drug Release from Coated Tablets," **International Journal of Pharmaceutics**. 333 (1 - 2) : 34 - 44.
- Ross, P., Mayer. R., and Beniman, M. (1991). "Cellulose Biosynthesis and Function in Bacteria," **Journal of Microbiological Reviews**. 55 (1) : 35 - 38.
- Schramm, M., and Hestrin, S. (1954). "Factors Affecting Production of Cellulose at the Air/liquid of a Culture of *Acetobacter xulinu*," **J.Gen.Microbiol**. 11 (1) : 123 - 129.
- Sothornvit R, Krochta JM. (2001). "Plasticizer Effect on Mechanical Properties of  $\beta$ -lactoglobulin Films," **J Food Eng**. 50 (3) : 149 - 155.
- Stuchell, Y.M. and Krochta, J.M. (1995). "Edible Coatings on Frozen King Salmon: Effect of Whey Protein Isolate and Acetylated Monoglycerides on Moisture Loss and Lipid Oxidation," **Journal of Food Science**. 1 (60) : 28 - 31.
- Valla, S. (1995). "**Microorganisms for cellulose production**," In Food biotechnology. eds. Hui, Y.H. and Khachatourians G., G.(NY: VCH, 1995). pp 471-494.
- Wan, Y.Z., Hong, L., Jia, S.R., Huang, Y., Zhu, Y. and Wang, Y.L. (2006). "Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite-bacterial Cellulose Nanocomposites," **Compos Sci Technol**. 66 (11-12) : 1825 - 1832.
- Wan, Y.Z., Huang, Y., Yuan, C.D., Raman, S., Zhu, Y. and Jiang, H.J. (2007). "Biomimetic Synthesis of Hydroxyapatite/bacterial Cellulos Nanocomposites for Biomedical Applications". **Mater Sci Enf C**. 27 (4) : 855 - 864.
- Watnick, P. and Kolter, R. (2000). "Biofilm, City of Microbes," **J Bacterial**. 182 (10) : 2675 - 2679.

Yoshinaga, F., Tonouchi, N. and Watanabe, K. (1997). "Research Progress in Production of Bacterial Cellulose by Aeration and Agitation Culture and its Applications as a New Industrial Material," **Biosci. Biotech. Biochem.** 61(2) : 219 - 224.



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	นายคณิตสิทธิ์ บัญญูวัตวิวัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลหัวเฉียว เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 24 หมู่ที่ 1 ตำบลพลับพลา อำเภอเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ตำแหน่งนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรชำนาญการ กลุ่มยุทธศาสตร์และสารสนเทศ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2536	ประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 โรงเรียนพร้อมมิตรพิทยา เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2542	มัธยมศึกษาตอนต้น - ปลาย โรงเรียนนวมินทราชูทิศ กรุงเทพมหานคร เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2547	วิทยาศาสตร์บัณฑิต วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
พ.ศ. 2562	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี