

ฟิล์มคอมโพสิตย่อยสลายได้จากอัลจินตและเมล็ดขุ่นที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์

นางสาวกานติมา จันทร์พันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

BIODEGRADABLE COMPOSITE FILM FROM ALGINATE-JACK FRUIT SEED WITH
ANTIMICROBIAL ACTIVITY

Miss. Kantima Juntarapun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มคอมโพลีท่อย่อยสลายได้จากอัลจินตและเมล็ดขนุน ที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์
โดย	นางสาวกานติมา จันทราพันธุ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ชุตินันท์ สติรพิพัฒน์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ธนาภัทร ปาลกะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. ชุตินันท์ สติรพิพัฒน์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนาภัทร ปาลกะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน)

กานติมา จันทราพันธุ์ : ฟิล์มคอมโพสิทที่ย่อยสลายได้จากอัลจิเนตและเมล็ดขนุนที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ (BIODEGRADABLE COMPOSITE FILM FROM ALGINATE-JACK FRUIT SEED WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
 อ.ดร. ชุตติมฉานน์ สติธิพิพัฒน์กุล : อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ชนาภัทร ปาลกะ,
 127 หน้า

ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล ไคคอลลอโรไมเทน และเฮกเซนของสมอพิเภกและใบจากต่อทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ได้ทำการทดสอบด้วยวิธี Disc diffusion method และ broth dilution assay ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดจากตัวทำละลายเมทานอลแสดงฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียได้สูงสุดต่อสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบ ขนาดวงใสเฉลี่ยของการยับยั้งของสารสกัดสมอพิเภกมีค่าตั้งแต่ 7.06 ถึง 23.00 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าที่ได้จากสารสกัดใบจากมีค่าตั้งแต่ 7.50 ถึง 21.60 มิลลิเมตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจากมีค่าตั้งแต่ 0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 0.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดทั้งหมดแสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ปอด (WI-38) เมื่อวัดด้วยวิธี MTT assay

ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพเตรียมได้จากอัลจิเนตและแป้งดิบขนุน จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนของอัลจิเนต/แป้งดิบขนุน ความเข้มข้นของกลีเซอรอลส่งผลต่อสมบัติเชิงกล และการละลายน้ำ โดยฟิล์มด้านจุลินทรีย์ที่เตรียมจากอัลจิเนตร้อยละ 60 แป้งดิบขนุน ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสารละลายฟิล์ม ได้นำไปศึกษาในขั้นต่อไป สารสกัดสมอพิเภกและใบจาก ได้ถูกนำมาใส่ในฟิล์ม ทำหน้าที่สารต้านจุลินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทำให้ลดค่าต้านทานแรงดึงขาด และเพิ่มค่าความสามารถการยืดตัว การละลายและอัตราการซึมผ่านออกซิเจน ฟิล์มด้านจุลินทรีย์แสดงฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบโดยใช้วิธี Disc diffusion method แบคทีเรียแกรมลบมีความทนทานต่อฟิล์มมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก ขนาดวงใสเฉลี่ยของการยับยั้งของฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกมีค่าตั้งแต่ 8.36 ถึง 12.63 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าที่ได้จากฟิล์มที่มีสารสกัดใบจากมีค่าตั้งแต่ 7.43 ถึง 11.86 มิลลิเมตร ฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกร้อยละ 15 มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์สูงสุด สมบัติของฟิล์มอัลจิเนต/แป้งดิบขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภกร้อยละ 15 มีความหนา, ค่าต้านทานแรงดึงขาด, ค่าความสามารถการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านออกซิเจน เป็น 0.30 มิลลิเมตร, 22.67 เมกะปาสคาล, 57.79 เปอร์เซ็นต์, 1858 ± 13 กรัม/ตารางเมตร/วัน และ 15.25 ± 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5470502021: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ANTIMICROBIAL / JACK FRUIT FLOUR / ANTIMICROBIAL FILM

KANTIMA JUNTARAPUN : BIODEGRADABLE COMPOSITE FILM FROM ALGINATE-JACK FRUIT SEED WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY. ADVISOR : CHUTIMON SATIRAPIPATHKUL, Ph.D., CO-ADVISOR : ASSOC. PROF TANAPAT PALAGA, Ph.D., 127 pp.

The antibacterial activities of methanol, dichlorometane and hexane extracts of *Terminalia bellerica* Roxb (TB) and *Nypa fruticans* Wurmb (NF) against both gram-positive bacteria (*Bacillus subtilis* and *Staphylococcus aureus*) and gram-negative bacteria (*Escherichia coli*) were determined by Disc diffusion method and the broth dilution assay. The results showed that the methanolic extracts displayed the highest activity against all the tested strains. Gram-negative bacteria strain was generally more resistant to the tested extracts than Gram-positive strains. The average clear zone of the inhibition of TB extract ranged from 7.06 to 23.00 mm, whereas the values of NF extract ranged from 7.50 to 21.60 mm. The minimum bactericidal concentration (MIC) of TB and NF extracts was ranged from 0.16 mg/ml to 0.31 mg/L. All extracts were shown non cytotoxicity to human lung fibroblast cell line (WI-38) as determined by MTT assay.

Biodegradable films were prepared from a mixture of alginate and jackfruit flour. The study showed that alginate/jackfruit flour ratio and glycerol concentration affected on mechanical properties and solubility. The antimicrobial film prepared from alginate 60%, jackfruit flour 40% and glycerol 10% (w/weight of film solution) was selected to further study. The TB and NF extracts were incorporated in the films to act as natural antimicrobial agent. Increasing concentration of the extract provided decrease of tensile strength and increase of elongation at break, solubility and OTR. The films exhibited antimicrobial activities against both gram-positive bacteria and gram-negative bacteria by using agar diffusion assay method. Gram-negative bacteria strain was more resistant to the films than Gram-positive strains. The average clear zone of the inhibition of antimicrobial TB extracts film ranged from 8.36 to 12.63 mm, whereas the values of NF extract films ranged from 7.43 to 11.86 mm. The film with 15% of the TB extract showed the highest antimicrobial activity. The properties of alginate/jackfruit flour film with 15% of the TB extract, the thickness, tensile strength, elongation, WVTR and OTR were 0.30 mm, 22.67 MPa, 57.79 %, $1853 \pm 13 \text{ g/m}^2/\text{day}$, and $15.25 \pm 0.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$, respectively.

Department :Chemical Engineering..... Student's Signature

Field of Study :Chemical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year : 2012..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือที่ดีจากบุคคลต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชุตินันท์ สตรีพิพัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร. ธนาภัทร ปาลกะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือ และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เจียวหอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเพื่อน พี่และน้องๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ทุกคนในครอบครัว และท่านผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าในการศึกษามาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้อมูลทั่วไปของขนุน	4
2.2 แป้งและสตาร์ช	6
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง	6
2.4 สมบัติของแป้งและสตาร์ช	10
2.5 กระบวนการผลิตแป้งจากพืช	12
2.6 การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์	15
2.7 ข้อมูลทั่วไปของสมอพิเภก.....	16
2.8 ข้อมูลทั่วไปของใบจาก	18
2.9 องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรร	18
2.10 การสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย.....	20
2.11 แบคทีเรีย	24
2.12 การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์	26
2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์	27
2.14 บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้.....	28

	หน้า
2.15 ประเภทของฟิล์มย่อยสลายได้.....	29
2.16 ฟิล์มจากแป้ง	30
2.17 ฟิล์มจากอัลจินเตอัลจินต	32
2.18 ฟิล์มหลายองค์ประกอบ	36
2.19 กระบวนการผลิตฟิล์ม	38
2.20 สารเจือปนที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม	39
2.21 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม	40
2.22 บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์	40
บทที่ 3 อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	47
3.1 อุปกรณ์.....	47
3.2 เคมีภัณฑ์	48
3.3 เชื้อแบคทีเรีย	49
3.4 เซลล์ที่ใช้ทดสอบ	49
3.5 สมุนไพรที่ใช้ทดสอบ	49
3.6 เมล็ดที่ใช้สกัดแป้ง.....	49
3.7 วิธีดำเนินงานวิจัย	50
3.7.1 การสกัดสมุนไพร	50
3.7.2 การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิก	50
3.7.3 การเตรียมสารละลายเชื้อ	50
3.7.4 การตรวจสอบฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์.....	51
3.7.5 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์โดยเทคนิค MTT assay.....	51
3.7.6 การผลิตแป้งเมล็ดขนุน	52
3.7.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้ง.....	52
3.7.8 การเตรียมฟิล์มอัลจินต.....	54
3.7.9 การเตรียมฟิล์มแป้งเมล็ดขนุน.....	54
3.7.10 การเตรียมฟิล์มสององค์ประกอบ.....	55
3.7.11 การเตรียมฟิล์มด้านจุลินทรีย์.....	55
3.7.12 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม.....	55

3.7.13 การวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม	56
3.7.14 การศึกษาการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม	56
3.7.15 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้ง.....	56
3.7.16 การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของแผ่นฟิล์ม	56
3.7.17 การปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นบรรจุภัณฑ์	56
บทที่ 4 ผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	57
4.1 ปริมาณผลได้และองค์ประกอบของแป้งเมล็ดขนุน.....	57
4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสมุนไพรไทย	58
4.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากสมุนไพร	61
4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก	70
4.5 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน.....	75
4.6 สมบัติเชิงกลของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน	81
4.7 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มด้านจุลินทรีย์.....	84
4.8 สมบัติเชิงกลของฟิล์มด้านจุลินทรีย์	86
4.9 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารด้านจุลินทรีย์.....	89
4.10 ความสามารถในการปลดปล่อยสารสกัดสมุนไพร.....	96
4.11 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม	98
4.12 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์ม	99
4.13 วิเคราะห์องค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม	101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	103
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	105
รายการอ้างอิง	106
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก.....	115
ภาคผนวก ข.....	118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางอาหารของยวงขนุน ชั่งขนุนและเมล็ด5
2.2	ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ7
2.3	ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ 7
2.4	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ9
2.5	การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์15
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารสกัดจากสมอพิเภกที่ใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์.....17
2.7	คุณสมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดสมุนไพร23
2.8	วิธีตรวจความมีชีวิตและการตายของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนของเซลล์.....27
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแป้งมาใช้ทำฟิล์ม.....31
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำอัลจินตมาใช้ทำฟิล์ม35
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไบโอพอลิเมอร์สององค์ประกอบมาใช้ทำฟิล์ม37
4.1	องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแป้งดิบเมล็ดขนุนตามมาตรฐาน AACC (2000)57
4.2	การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งดิบเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ58
4.3	ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร64
4.4	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมอพิเภกด้วยเมทานอลยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเข้มข้น 10^6 เซลล์ ใน 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัด 1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....68
4.5	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมอใบจากด้วยเมทานอลยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเข้มข้น 10^6 เซลล์ ใน 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัด 1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง69
4.6	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารสกัดสมอพิเภก ต่อเชื้อ <i>E. coli</i> <i>B. subtilis</i> และ <i>S. aureus</i> สังเกตผล ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....90
4.7	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารสกัดใบจาก ต่อเชื้อ <i>E. coli</i> , <i>B. subtilis</i> และ <i>S. aureus</i> สังเกตผล ที่เวลา 24 ชั่วโมง91

ตารางที่	หน้า
4.8	ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่ผสมและไม่ผสม สารสกัด.....99
4.9	ค่าการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่ผสมและไม่ผสม สารสกัด.....100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขนุน.....	4
2.2	โครงสร้างอะไมโลส.....	7
2.3	โครงสร้างอะไมโลเพคติน.....	8
2.4	การเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ช.....	10
2.5	กระบวนการสกัดแป้งจากเมล็ดพืช.....	13
2.6	สมอพิเภก.....	16
2.7	ต้นจาก.....	18
2.8	กระบวนการสกัดสารจากพืช.....	21
2.9	โครงสร้างโมเลกุลของอัลจินต.....	32
2.10	โครงสร้างอัลจินตที่มีการเชื่อมขวาง(cross-linking) ด้วยแคลเซียมไอออน.....	34
2.11	ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารจากวัสดุบรรจุไปยังอาหารตามรูปแบบของการบรรจุแบบด้านจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน.....	41
2.12	รูปแสดงการเปรียบเทียบสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์.....	42
2.13	การปลดปล่อยมวลสารภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณสารยับยั้งเริ่มต้นเท่ากัน.....	44
2.14	การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของฟิล์มและสารเคลือบด้านจุลินทรีย์.....	46
4.1	ค่าผลได้สารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 กรัม สมุนไพรแห้งต่อมิลลิลิตรตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิห้อง (30±5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	60
4.2	ค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการสกัดสมุนไพรด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 สมุนไพรแห้งต่อมิลลิลิตรตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิห้อง (30±5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	63
4.3	ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	65
4.4	ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดใบจากที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	66

รูปที่	หน้า
4.5	ความสัมพันธ์ ระหว่างร้อยละการอยู่รอดของเซลล์ไลน์ WI-38 กับความเข้มข้นของสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจาก โดยใช้วิธี MTT assay..... 72
4.6	การเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ WI-38 ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเซลล์ เซลล์ที่อยู่ในสารสกัดสมอพิเภก 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเซลล์ที่อยู่ในสารสกัดสมอพิเภก 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 73
4.7	การเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ WI-38 ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเซลล์ เซลล์ที่อยู่ในสารสกัดใบจาก 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเซลล์ที่อยู่ในสารสกัดใบจาก 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 74
4.8	ลักษณะของฟิล์มอัลจินตองค์ประกอบเดี่ยว ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน แผ่นฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก และแผ่นฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก 76
4.9	ความหนาของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน..... 78
4.10	ค่าร้อยละการละลายของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน 80
4.11	ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน..... 83
4.12	ค่าร้อยละการยึดตัวของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน..... 83
4.13	ความหนาของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่เพิ่มสารสกัด ที่อัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุน 60 ต่อ 40 ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 85
4.14	ค่าร้อยละการละลายของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่เพิ่มสารสกัด ที่อัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุน 60 ต่อ 40 ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 86
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มด้านจูลินทรีและปริมาณร้อยละสารสกัดโดยน้ำหนักของแผ่นฟิล์ม ที่มีสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก 88

รูปที่	หน้า
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดตัวของฟิล์มด้านจุลินทรีย์และปริมาณร้อยละสารสกัด โดยน้ำหนักของแผ่นฟิล์ม ที่มีสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก..... 88
4.17	ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่ไม่มีสารสกัด บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง..... 92
4.18	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 92
4.19	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 93
4.20	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 93
4.21	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 94
4.22	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 94
4.23	ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 95
4.24	ค่าร้อยละการปลดปล่อยสารสารประกอบฟีนอลิกของแผ่นฟิล์มที่มีความเข้มข้น สารสกัดสมอพิเภกต่างกัน ในระยะเวลา 60 ชั่วโมง..... 97
4.25	ค่าร้อยละการปลดปล่อยสารสารประกอบฟีนอลิกของแผ่นฟิล์มที่มีความเข้มข้น สารสกัดใบจากต่างกัน ในระยะเวลา 60 ชั่วโมง 98
4.26	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในโมเลกุลของสารของฟิล์มอัลจิเนต (a) ฟิล์มแป้งเมล็ดขนุน (b) ฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุน (c) ฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนคอสติงค์ด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (d)..... 102
4.27	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในโมเลกุลของสารของ ฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุน (a) สารสกัดสมอพิเภก (b) สารสกัดใบจาก (c) ฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก (d) ฟิล์มอัลจิเนตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก (e).....102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ได้เข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก ปริมาณพลาสติกที่ใช้แล้วมีเพิ่มขึ้นทุกๆปี ซึ่งอาจสะสมกันมากจนเกิดเป็นมลพิษได้ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งผลิตมาจากวัตถุดิบในธรรมชาติมีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ ทั้งยังสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยแบคทีเรียในธรรมชาติโดยมีคุณสมบัติในการใช้งานเทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ปัจจุบันมีการตื่นตัวกับการนำวัตถุดิบทางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อสุขภาพและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือสารสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอาหาร อาจจะมีสาเหตุมาจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สามารถป้องกันความชื้นและออกซิเจน ส่งผลให้มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ ถึงแม้ว่าผู้บริโภคจะหันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น โดยการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายแต่ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมากับอาหารได้ ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้ในอาหารที่บริโภคเข้าไปมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียอยู่ และยังเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดผลเสียต่างๆ ได้แก่ ทำให้อาหารเน่าเสีย ทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยหรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้น จึงได้มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติให้มีสมบัติในการป้องกันและยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย คือ การนำสารสกัดจากธรรมชาติที่ได้จากพืชมาใช้ทดแทนสารเคมีสำหรับป้องกันเชื้อแบคทีเรียซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยการเตรียมเตรียมจากวัตถุดิบในธรรมชาติคือ แป้งจากเมล็ดขนุน อีกทั้งยังมีการนำอัลจินตมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานและนำสารสกัดจากสมุนไพร คือ สมอพิเภกและใบจาก มาใช้ทดแทนสารเคมีสำหรับป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางเคมีของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มที่ได้ เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการผลิตฟิล์มจากอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน
- 1.2.2 ศึกษาการสกัดสารสมุนไพรจากสมอพิเภกและใบจาก และทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและความเป็นพิษต่อเซลล์มนุษย์
- 1.2.3 ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ ความสามารถในการปลดปล่อยสารสกัดและฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มที่ผสมสารสกัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากเมล็ดขนุน ดังนี้
 - 1.3.1.1 ศึกษาองค์ประกอบของแป้งเมล็ดขนุน ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเซลล์ลูโลส ปริมาณเส้นใย และปริมาณเถ้า
- 1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* *S.aureus* และ *B.subtilis* ดังนี้
 - 1.3.2.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) และเมทานอล (Methanol) อัตราส่วนของสมุนไพรต่อตัวทำละลายคือ 1 ต่อ 10 ระยะเวลาในการสกัด 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
 - 1.3.2.2 ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดแต่ละชนิดที่ตัวทำละลายต่างกัน
 - 1.3.2.3 ศึกษาความสามารถในการต้านเชื้อ *E.coli* *S.aureus* และ *B.subtilis*
 - 1.3.2.4 ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก
- 1.3.3 เพื่อศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก
 - 1.3.3.1 ศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์
 - 1.3.3.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50})
- 1.3.4 ศึกษาการผลิตและสมบัติของฟิล์มเมื่อทำการแปรผันความเข้มข้นของ อัลจินต แป้งเมล็ดขนุน และกลีเซอรอล ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ดังนี้
 - 1.3.4.1 ความหนาของฟิล์ม (Film thickness)
 - 1.3.4.2 ค่าการละลายน้ำ (Solubility in water)
 - 1.3.4.3 ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength)

1.3.4.4 ค่าการยืดตัว (Elongation at break)

1.3.4.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR)

1.3.4.6 อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (OTR)

1.3.4.6 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

1.3.5 ศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรียของฟิล์มเมื่อผสมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด

1.3.5.1 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากในฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านแบคทีเรีย

1.3.5.2 ศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดสมอพิเภกและใบจากของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านแบคทีเรีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบธรรมชาติที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เพื่อเป็นแนวทางในการนำฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านแบคทีเรียที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของขนุน



รูปที่ 2.1 ขนุน (Baliga และคณะ, 2011)

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.
ชื่อสามัญ	Jack Fruit
ชื่อวงศ์	MORACEAE
ชื่อท้องถิ่น	ขนุน (กลาง) ขะหนุน (เหนือ-ใต้) นากอ (จันทบุรี) ขะนู (ตะวันออกเฉียงเหนือ)
ถิ่นที่พบได้	พบได้ในประเทศแถบเอเชีย
ส่วนที่ใช้เป็นยา	ใบ ราก ขาง เนื้อหุ้มเมล็ด
ลักษณะ	ขนุนเป็นต้นไม้ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ อายุยืน มีน้ำยางสีขาว ทรงพุ่มทึบ ออกดอกและผลตามส่วนของลำต้น ภายนอกเป็นหนามถี่ ภายในขวงสีเหลืองหรือสีจําปา น้ำหนักของผลเฉลี่ยประมาณ 18 ถึง 50 กิโลกรัม มีการเจริญเติบโตของต้นรวดเร็วและการตกผลจะใช้เวลาประมาณ 3 – 5 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของขนุน

ระจับประสาท แก้วโรคลมชัก ยาง รสจืด ฝาดเพื่อน แก้วอีกเสบบวม แผลมีหนองเรื้อรัง แก้วต่อม น้ำเหลืองอักเสบ ขับพยาธิ ขับน้ำนม เนื้อหุ้มเมล็ด รสหวานมันหอม บำรุงกำลัง ชูหัวใจให้ชุ่มชื้น เนื้อในเมล็ด รสหวานมัน บำรุงน้ำนม ขับน้ำนม บำรุงกำลัง เมล็ดขุ่นมีลักษณะเป็นรูปทรงไข่และ ใต้เนื้อเมล็ดมีสีขาวออกเหลืองซึ่งส่วนใหญ่เป็น cotyledon มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง

2.1.1 คุณค่าทางอาหารของขุ่น

ขุ่นเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำมาบริโภค นอกจากนี้มีขั้วขุ่นและเมล็ดขุ่นที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่สามารถนำมาบริโภคได้ และมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า เมล็ดขุ่นมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 30.6 และมีการนำเมล็ดขุ่นมาแปรรูปเป็นแป้ง เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของขุ่นขุ่น ขั้วขุ่นและเมล็ดขุ่น (Baliga และคณะ, 2011)

องค์ประกอบเคมี	เนื้อขุ่นแก่	ขั้วขุ่น	เมล็ดขุ่น
ความชื้น(กรัม)	72.9	66.6	60.7
ไขมัน(กรัม)	0.3	0	0.2
คาร์โบไฮเดรต(กรัม)	23.7	29.2	30.6
เส้นใย(กรัม)	0.9	1.8	1.6
โปรตีน(กรัม)	1.7	1.4	5.5
ค่าพลังงานความร้อน(Cal)	94	122	146
แคลเซียม(มก.)	27	21	0
ฟอสฟอรัส(มก.)	38	13	105
เหล็ก(มก.)	0.6	0.2	2.9

2.2 แป้งและสตาร์ช

แป้งสามารถแบ่งได้เป็น แป้งฟลาว (flour) และ แป้งสตาร์ช (starch) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันส่งผลให้คุณสมบัติของแป้งทั้งสองแตกต่างกันไปด้วย

2.2.1 แป้งฟลาว

ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ ลำต้นสาถุ เป็นต้น โดยการบดหรือโม่ ดังนั้นส่วนประกอบของแป้งฟลาว จึงประกอบด้วย สารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

2.2.2 แป้งสตาร์ช

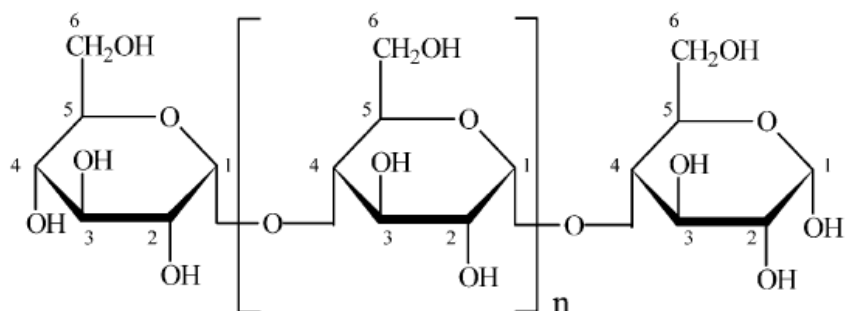
ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตแป้งฟลาวเช่นเดียวกัน แต่นำมาผ่านกระบวนการกำจัดส่วนของโปรตีนออกไปเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยมีสารอินทรีย์ปะปนมาน้อยที่สุด ดังนั้นแป้งสตาร์ชจึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งการแยกโปรตีนมักใช้การแยกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลายๆ ครั้งและล้างออกด้วยน้ำ จากนั้นแยกน้ำและนำตะกอนที่ได้มาอบแห้ง (ศยามล, 2544)

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ สูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ พบมากในพืช ส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดธัญพืชและบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช มีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage โดยที่ตำแหน่งในส่วนทางด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group เกาะอยู่ โดยทั่วไปเม็ดแป้งมีความชื้นร้อยละ 10-20 ประกอบด้วยแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังประกอบด้วยไขมัน ฟอสฟอรัสและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

2.3.1 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง เกิดจากกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1,4) กลูโคซิดิก (glucosidic linkage) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40,000 - 340,000 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอะไมโลเพกทินมาก ไม่ละลายในน้ำเย็นแต่การละลายจะดีขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และสามารถดูดน้ำได้ประมาณ 4 เท่าของน้ำหนัก ทำให้ได้ของเหลวในลักษณะเหนียวหนืด จะจับตัวเกิดเป็นเจลเมื่อได้รับความเย็น เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นสายตรง จึงมักเรียงตัวกันในลักษณะผลึก (crystal)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลส (Herrero-Martinez และคณะ, 2004)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ (เกษกัญญา., 2552)

แหล่งของสตาร์ช	อะไมโลส (ร้อยละ)
ข้าวเจ้า	18
ข้าวเหนียว	1
ข้าวโพด	22
มันฝรั่ง	23
มันสำปะหลัง	16
เมล็ดขนุน	27.7-28.5
เมล็ดทุเรียน	25.2-29.0
เมล็ดมะม่วง	20.3-26.9
เมล็ดลำไย	26.0-27.7

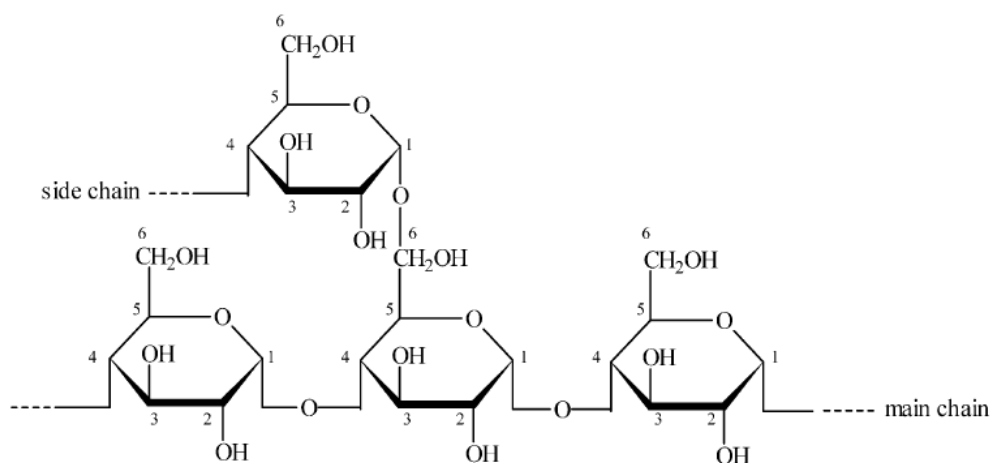
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาปริมาณอะไมโลสจากสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งได้แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ

ปริมาณอะไมโลส	คณะผู้วิจัย
27.70-28.50	Oates และ Powell (1995)
32.05	Tulyathan (2002)
52.53	Makprasirt และ Sajjaanatakul (2004)
24.40	Tongdang (2008)

2.3.2 อะไมโลแพคติน

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1,4) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1,6) ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย และมีอัตราการรีโทรเกรเดชันต่ำเนื่องจากอะไมโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) สามารถละลายได้ในน้ำเย็นเมื่อได้รับความร้อนจะมีลักษณะใสและมีความหนืดสูงกว่าอะไมโลสเมื่อทิ้งให้เย็นจะไม่สามารถจับตัวเกิดเป็นเจลได้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างอะไมโลแพคติน (Herrero-Martinez และคณะ, 2004)

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลแพคตินมีผลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของแป้ง กล่าวคือ ผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความใสและความหนืดของแป้ง โดยที่แป้งที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและมีการพองตัวของเม็ดแป้งที่ช้าลง ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าปริมาณอะไมโลสต่ำเกินไปส่งผลให้แป้งไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้เช่นกัน ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินต่างกันส่งผลให้สมบัติของแป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ

2.3.3 ไขมัน

สตาร์ชมีไขมันอยู่ทั้งในเมล็ดสตาร์ชและบริเวณผิวด้านนอกของเมล็ดสตาร์ช โดยไขมันที่อยู่ในบริเวณผิวด้านนอกของเมล็ดสตาร์ชสามารถเกิดการออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (Singh และคณะ, 2003) ประเภทของไขมันส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) กลูโคลิพิด (glucolipids) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) และไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ โมเลกุลอะไมโลส

2.3.4 โปรตีน

แป้งจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสตาร์ช โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดสตาร์ช ทำให้มีผลต่อการกระจายของเมล็ดสตาร์ชในน้ำ ส่งผลให้มีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาทีนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปและทำให้เกิดปฏิกิริยามอลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นกับสตาร์ชจากธัญพืช เนื่องจากมีโปรตีนสูง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

2.3.5 เถ้า

แป้งและสตาร์ชโดยทั่วไปมีเถ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากเถ้าจากการเผาไหม้ โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในสตาร์ชมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในสตาร์ช สำหรับเถ้าในสตาร์ชจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิพิด (Swinkels, 1985)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ ได้ถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ (Tongdang, 2008 ; มณฑกานต์, 2549)
(หน่วย : ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)

สตาร์ช	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
เมล็ดขนุน	11.66	0.10	0.02	0.29	-	-
เมล็ดทุเรียน	12.18	0.09	0.01	0.48	-	-
เมล็ดถั่วเขียว	11.94	0.09	0.04	0.34	-	-
เมล็ดเกาลัด	-	0.28	trace	race	0.15	99.58

2.4 สมบัติของแป้งและสตาร์ช

2.4.1 การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) เมื่อนำสารละลายน้ำแป้งไปให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลงและเม็ดแป้งคูดน้ำและพองตัวตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนส่วนผสมของน้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน อุณหภูมิที่สารละลายเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) แสดงในรูปที่ 2.4 ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาการเกิดเจลาตินในเซชัน ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) เพื่อหาค่าพลังงานเอนทัลปีและช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, T_p) และอุณหภูมิสิ้นสุดการเกิดเจลาตินในเซชัน (conclusion temperature, T_c) โดยใช้หลักการวิเคราะห์จากค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (James, 1999)



รูปที่ 2.4 การเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ช (Murphy, 2000)

2.4.2 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินขนาดเล็กจะกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่แขวนลอยอยู่จะไม่เสถียร เมื่อทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น โมเลกุลจึงพยายามจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยการพันกันเป็นเกลียวคู่ (double-helix) สายเกลียวคู่สามารถรวมตัวกันจนเป็นโครงร่างผลึกสามมิติ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการ

คุณน้ำกลับเข้ามาอีก มีความหนืดคงที่มากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์ม หรือผลึกปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า ริโทเกรเดชันหรือการคืนตัว

2.4.3 การพองตัว (Swelling)

แป้งหรือสตาร์ชไม่สามารถละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชัน แต่สามารถพองตัวได้ประมาณร้อยละ 10-20 ในน้ำเย็นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่และถูกดูดซึมเข้าไปในส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งได้ (Appelqvist และ Debet, 1997) โดยเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้งและกวนตลอดเวลาจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นให้แก่เม็ดแป้งทำให้โครงสร้างผลึกในเม็ดแป้งถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเข้าไปเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลอะไมโลเพกทินและอะไมโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นสาเหตุให้เม็ดสตาร์ชพองตัว (Tester, 1997) การพองตัวของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและลักษณะโครงสร้างของ โมเลกุล ปัจจัยที่มีผลคือ อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทิน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล ระดับความเป็นกิ่ง การจัดเรียงตัวและความยาวของสายกิ่งในอะไมโลเพกทิน นอกจากนี้สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตก็มีผลต่อการพองตัวเช่นเดียวกัน จากงานวิจัยของ Tongdang (2008) ได้ศึกษากำล้างการพองตัว อุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีนในเซชันของสตาร์ชชนิดต่างๆ พบว่า กำล้างการพองตัวของสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีล้างการพองตัว 2 ชั้นตอน ซึ่งจะค่อยๆพองตัวที่อุณหภูมิ 55-75 องศาเซลเซียสและพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวคือขนาดเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพกทิน ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินและส่วนประกอบอื่นๆในสตาร์ช

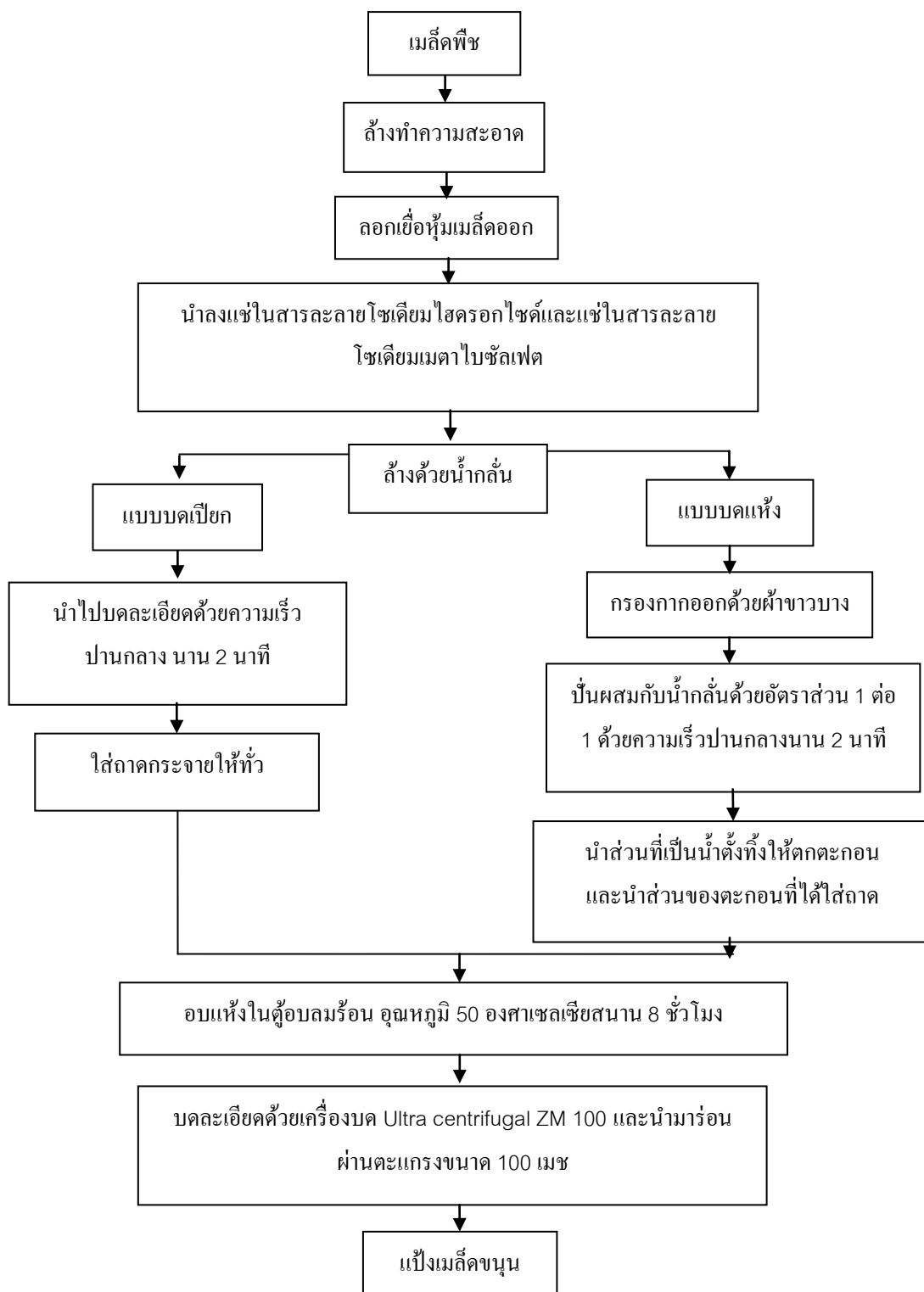
2.4.4 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อเม็ดสตาร์ชหรือเม็ดแป้งพองตัวจะเกิดการเสียดสีกันทำให้เริ่มมีความหนืดขึ้น (Lund, 1984) เมื่อเม็ดสตาร์ชคุณน้ำเข้าไปเรื่อยๆจะเกิดการพองตัวได้มากขึ้น เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวได้มากขึ้น หลายเท่าตัว จนกระทั่งถึงจุดความหนืดวิกฤต (critical pasting stage) จุดนี้โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชไม่สามารถฟื้นกลับได้และความหนืดเริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำได้ซึมออกมาส่งผลให้สารละลายน้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น โมเลกุลอะไมโลสที่ซึมออกมาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหนืด (Kokini และคณะ, 1992) และมีโมเลกุลสตาร์ชที่ละลาย ซึ่งโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอกว่าจึงเกิดความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เมื่อเม็ดสตาร์ชแตกออกทำให้ความหนืดลดลง (breakdown) (Wang และคณะ, 2000) เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความหนืดของสตาร์ช คือ เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบเร็ว (Rapid Visco Analyser: RVA) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องมือนี้ช่วยในการควบคุมกระบวนการผสม การให้ความร้อนและลดอุณหภูมิ โดยเครื่อง

วิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วเป็นเครื่องมือที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถให้ความร้อนและดึงความร้อนออกจากระบบได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีความคงที่ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ศึกษาการเกิดเจลลาทีโนเซชัน รีโทรเกรดชันและผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อสตาร์ช (Phillips และ Williams, 2000)

2.5 กระบวนการผลิตแป้งจากพืช

กระบวนการผลิตแป้งโดยทั่วไปเป็นแบบบดเปียก (wet milling) และการบดแห้ง (dry milling) ซึ่งการบดเปียกเป็นวิธีการสกัดแยกแป้ง ในขณะที่การบดแห้งจะใช้วิธีการบดวัตถุดิบที่แห้งแล้วแยกเอาแป้งออกโดยใช้ตะแกรง (screening) และใช้ลม (air classification) ซึ่งการบดแห้งจะแยกสกัดแป้งออกจากวัตถุดิบได้น้อยกว่าการบดเปียก แม้ว่าจะใช้กระบวนการที่บดอย่างละเอียดและใช้ลมแยกก็ตาม ซึ่งกระบวนการผลิตแป้งจากพืชได้แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการสกัดแบ่งจากมิลล์ค็ฟิช (Makprasirt และ Sajjaanatakul, 2004)

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุน

Tulyathan และคณะ (2002) ได้สกัดแป้งจากเมล็ดขนุนแบบแห้งโดยการนำเมล็ดขนุนล้างทำความสะอาดนำส่วนของเปลือกที่เป็นสีขาวออกแล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีน้ำตาลออก หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วหั่นเป็นแผ่นบางๆ อบที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 70 เมช ได้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของแป้งเมล็ดขนุน คือ 36.4 เปอร์เซ็นต์ ได้องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง คือ คาร์โบไฮเดรต 78.0% โปรตีน 11.2% และไขมัน 0.99%

Narklaor และคณะ (2004) ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยพรีเจลาทีไนซ์ โดยวิธีใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งได้นำเมล็ดขนุนมาปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 2 นาที กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำแป้งที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ได้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของแป้งเมล็ดขนุน คือ $19.26 \pm 0.10\%$ อีกทั้งยังพบว่ามีค่าดัชนีการละลาย ดัชนีการดูดซับระดับการเกิดเจลาทีไนซ์ และความหนืดสูงขึ้นด้วย

Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ได้สกัดแป้งจากเมล็ดขนุนแบบแห้งและแบบเปียกโดยการนำเมล็ดขนุนล้างทำความสะอาดนำส่วนของเปลือกที่เป็นสีขาวออกแล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งกระบวนการผลิตแบบเปียกจะทำเช่นเดียวกับ Tulyathan และคณะ (2002) ส่วนกระบวนการผลิตแบบเปียก ซึ่งได้นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการแช่มาปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 2 นาที กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำแป้งที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ซึ่งพบว่า กระบวนการผลิตแบบเปียกจะให้องค์ประกอบทางเคมีที่มากกว่าแบบเปียก

Tongdang (2008) ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้ได้แก่ เมล็ดขนุน เมล็ดทุเรียน โดยนำเมล็ดเหล่านี้ปอกเปลือกสีน้ำตาล นำเมล็ดผลไม้ต่างๆปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 2 นาที กรองสารละลายด้วยผ้าไนลอนและล้างตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 อีก 3 ครั้ง กรองและนำตะกอนที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์มาหมุนเหวี่ยงแยก ทำซ้ำจนส่วนบนของสารละลายใส ปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายไฮดรอกลอร์ริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรองสารละลายสตาร์ชด้วยผ้าไนลอนและนำสตาร์ชอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส วิธีการสกัดนี้ให้ปริมาณผลผลิตของ

สตาร์ชเมล็ดขนุนเท่ากับร้อยละ 18.20 (น้ำหนักแห้ง) สตาร์ชจากเมล็ดทุเรียนร้อยละ 10.20 (น้ำหนักแห้ง)

Rengsutthi และ Charoenrein (2011) ได้สกัดแป้งจากเมล็ดขนุน โดยนำเมล็ดขนุนล้างทำความสะอาดนำส่วนของเปลือกที่เป็นสีขาวออกแล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที นำเมล็ดขนุนล้างน้ำสะอาด และลอกเยื่อสีน้ำตาลออก นำเมล็ดขนุนที่ลอกเยื่อสีน้ำตาลแล้วเข้าเครื่องหั่นผ่านและหั่นฝอย อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสจากนั้นนำเมล็ดเข้าเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช ให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 31.90 ได้คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 88.07 ส่วนโปรตีน เส้นใย ไขมัน และ ไขมันเท่ากับร้อยละ 5.92 4.18 1.57 และ 0.26 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

2.6 การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์

แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอาหารหลากหลายชนิดจึงได้มีการศึกษาการนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

ตารางที่ 2.5 การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์

การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์	เอกสารอ้างอิง
นำแป้งเมล็ดขนุนไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปัง	Tulyathan และคณะ (2002)
ใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศ	อมรรัตน์ (2546)
ใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ไส้พาย	อมรรัตน์ (2546)
นำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก	Rengsutthi และ Charoenrein (2011)

2.7 ข้อมูลทั่วไปของสมอพิเภก



รูปที่ 2.6 สมอพิเภก

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Terminalia bellerica</i> Roxb.
ชื่อสามัญ	Beleric myrobalan
ชื่อวงศ์	Combretaceae
ชื่อท้องถิ่น	สมอพิเภก
ชื่ออื่น	ลัน แหน แหนขาว แหนตัน สะคู้ และชิบะคู้
ส่วนที่สามารถใช้เป็นยา	ราก เปลือกต้น แก่นต้น ใบ ดอก และผลอ่อน
ลักษณะ	สมอพิเภกเป็นไม้ยืนต้น ลำต้นต้นขนาดใหญ่ มีพุ่มพอกขนาดใหญ่ กิ่งอ่อนจะมีขน ใบจะเรียงเดี่ยวสลับยาวประมาณ 7 ถึง 11 เซนติเมตร ออกดอกบริเวณซอกใบ แคนกลางมีสีเหลือง ดอกย่อยจะมีสีครีม ผลสดเป็นรูปกระสวยกว้างเกือบกลม บริเวณผิวจะมีขนนุ่ม ละเอียดเป็นสีเหลือง แสดงดังรูป 2.6
สรรพคุณทางยา	ผลแก่จะมีรสฝาด สามารถใช้แก้โรคในตา บำรุงธาตุ แก้ไข้ แก้โรคริดสีดวงทวารหนัก โรคท้องร่วง และท้องเดิน เมล็ดภายในผลสามารถใช้แก้โรคบิด จนถึงบิดเป็นมูกเลือด ดอกสามารถใช้แก้โรคในตา เปลือกต้น นำมาต้มขับปัสสาวะ และแก่น ใช้แก้โรคริดสีดวง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารสกัดจากสมอพิเภกในการยับยั้งแบคทีเรีย

ตารางที่ 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารสกัดจากสมอพิเภกที่ใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์

ส่วนที่นำมาสกัด	ตัวทำละลาย	สภาวะที่ใช้ในการสกัด			แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ	Inhibition zone เซนติเมตร	เอกสารอ้างอิง
		อัตราส่วน (g/ml)	เวลา วัน	อุณหภูมิ			
ผล	เอทิลแอลกอฮอล์	1:2	7	อุณหภูมิห้อง	<i>Erwiniacarotovora</i> sub <i>Sp.carotovora</i>	2.80	Vudhivanich (2004)
ผล	เมทิลแอลกอฮอล์	2:5	2	อุณหภูมิห้อง	<i>S. aureus, S. typhi E. coli,</i> <i>C.albicans, S. pneumonia,</i> <i>S.typhimurium,</i>	1.4-3.0	Elizabeth (2005)
ผล	เอทิลแอลกอฮอล์	1:2	3	อุณหภูมิห้อง	<i>R.solanacearum</i>	1.83	Vudhivanich และ Supanuntorn (2005)
ผล	เมทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ อะซิโตน	-	3	อุณหภูมิห้อง	<i>E. coli, S. aureus, P. aeruginosa,</i> <i>P. vulgaris</i>	สามารถยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียที่ใช้ ทดสอบได้ ทั้งหมด	Tambekar (2007)

2.8 ข้อมูลทั่วไปของใบจาก



รูปที่ 2.7 ต้นจาก

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Nypa fruticans</i> Wurm.
ชื่อสามัญ	Mangrove palm, Nipa palm, Atap palm
ชื่อวงศ์	Palmae
ชื่อท้องถิ่น	ต้นจาก
ชื่ออื่น	อัครตะ (ภาษามลายู-ใต้)
ส่วนที่สามารถใช้เป็นยา	ใบ น้ำตาลจาก
ลักษณะ	ต้นจากเป็นไม้จำพวกปาล์ม มีขนาดเล็ก ลำต้นเป็นเหง้าอยู่ใต้ดิน มีรากอวบอ้วนอัดแน่นบริเวณกอเหง้ามีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มักจะจมอยู่ในโคลน ใบเป็นแบบขนนก ยาว 4-9 เมตร ลักษณะแข็งคล้ายใบมะพร้าว
สรรพคุณทางยา	ใบมีรสฝาดแก้ลมจืดต่างๆ ขับเสมหะ และดับพิษ น้ำตาลจากสมาน ริดสีดวงทวาร

2.9 องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรมะพร้าว

สมุนไพรมะพร้าวแต่ละชนิดมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพหรือยาแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของพืช ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้สามารถสกัดและแยกสารเคมีบริสุทธิ์ที่มีคุณประโยชน์ทางยาในพืชสมุนไพรมะพร้าว และได้สารสำคัญซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.9.1 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบในพืช ผัก และผลไม้ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วยคาร์บอนทั้งหมด 15 อะตอม โครงสร้างหลักคือ ไดฟีนิลโพรเพน (diphenylpropane) ซึ่งอะตอมจัดเรียงเป็นวงแหวน 3 วงเรียงต่อกัน การจำแนกกลุ่มของฟลาโวนอยด์ สามารถจำแนกได้ตามโครงสร้างโดยฟลาโวนอยด์ ได้มีการจำแนก ออกเป็นกลุ่มไว้มากกว่า 13 กลุ่ม ประโยชน์ของฟลาโวนอยด์ ได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidation) ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันหรือต้านอนุมูลอิสระ สามารถช่วยป้องกันการถูกทำลายของเซลล์ เนื้อเยื่อร่างกายจากอนุมูลอิสระและออกซิเจนอิสระ

2. สารต้านแบคทีเรีย เช่น สารเคอเวซิดิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย สาร โนบิลิตินแทนเจอร์ดิน และเฮสเพอริดิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านเชื้อรา

3. สารต้านเชื้อไวรัส เช่น สารเคอเวซิดิน มอริน รูติน ไดไฮโดรเคอเวซิดิน เอพิจินิน คะเตซิน และเฮสเพอริดิน สามารถต้านทานไวรัสได้ถึง 11 ชนิด

4. สารต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) ทำหน้าที่ยับยั้งการอักเสบ เนื่องจากเมื่อเกิดการอักเสบจะเป็นการเพิ่มอนุมูลอิสระ และเร่งการพัฒนาอนุมูลอิสระ เช่น สารเคมเฟอรอล เคอเวซิดิน ไมริเซติน และ ฟิเซอิดิน

2.9.2 สารอัลคาลอยด์ (Alkaloid)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นด่างไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เป็นสารที่พบมากในพืชสมุนไพร มักจะมีสมบัติทางเภสัชวิทยาที่เด่นชัด ตัวอย่าง เช่น สารควินิน (quinine) มีสรรพคุณรักษาโรคมาลาเรีย สารเรเซอร์พีน (reserpine) มีสรรพคุณลดความดันเลือด สารมอร์ฟีน (morphine) มีสรรพคุณระงับอาการปวด เป็นต้น

2.9.3 สารแทนนิน (Tannin)

เป็นสารที่พบในพืชทั่วไป มีรสฝาด มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน และสามารถตกตะกอน โปรตีนได้ มีฤทธิ์ในการสมานแผลและฆ่าเชื้อแบคทีเรีย จึงนิยมนำมาใช้เป็นยารักษาอาการท้องเสีย นอกจากนี้ในทางเภสัชกรรมมักจะใช้ กรดแทนนิก (Tannic acid) แต่งรสยาลดกรด ทั้งยังมีฤทธิ์รักษาแผลอาการอักเสบของผิวหนังและเยื่อผิวหนัง

2.9.4 น้ำมันหอมระเหย (essential oil)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อน ได้จากการสกัดน้ำมันที่พืชสร้างขึ้นโดยเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น เมล็ด เปลือกของลำต้น เหง้าละราก เป็นต้น ลักษณะโดยทั่วไปเป็นของเหลว

โต สีส่อนถึงไม่มีสี มีกลิ่นที่เฉพาะตัวของพืชแต่ละชนิดสามารถใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นยา กลิ่นอาหาร ใช้เป็นน้ำหอม และบางชนิดยังมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

2.9.5 สารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside)

เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแบ่งเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นน้ำตาลกับส่วนที่ไม่ได้เป็นน้ำตาลที่เรียกว่า อะไกลโคน (aglycone) หรือ เจนิน (genin) ส่วนที่ไม่ใช่ น้ำตาลมีโครงสร้างแตกต่างกันไปหลายประเภท ดังนั้น ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารประกอบในกลุ่มนี้จึงมีได้กว้างขวางแตกต่างกันออกไป ส่วนที่เป็นน้ำตาลไม่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา แต่เป็นส่วนช่วยทำให้การละลายและการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายดีขึ้น อาจจำแนกไกลโคไซด์ตามสูตร โครงสร้างของอะไกลโคน เช่น คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ มีฤทธิ์ต่อระบบกล้ามเนื้อหัวใจ และระบบการไหลเวียนของโลหิต แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (anthraquinone glycoside) มีฤทธิ์เป็นยาระบาย เป็นต้น

2.9.6 สเตียรอยด์ (Steroid)

เป็นสารประกอบจากพืชที่ละลายได้ดีในไขมันหรือตัวทำละลายที่สามารถละลายไขมันได้ เป็นสารเคมี ที่มีสูตร โครงสร้างคล้ายกับฮอร์โมนและยาต้านการอักเสบ ดังนั้น สารในกลุ่มนี้บางตัวจึงใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยาต้านการอักเสบและฮอร์โมนบางชนิด ตัวอย่างของสเตียรอยด์ ได้แก่ ไดออกสเจนิน (diosgenin) ซึ่งพบในหัวกลอย เป็นต้น

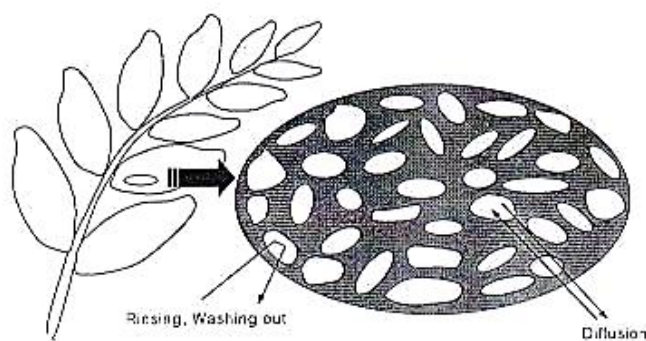
2.10 การสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นกระบวนการถ่ายโอนส่วนประกอบหนึ่งจากของแข็งของเหลวด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว สามารถแบ่งการสกัดด้วยของเหลวออกเป็นสองประเภท คือ การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (solid - liquid extraction) หรือการชะละลาย (leaching) และการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (liquid - liquid extraction) การสกัดของแข็งด้วยของเหลวเป็นการใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลวละลายสารที่อยู่ในของแข็งที่ละลายได้ในตัวทำละลาย (Solute) ออกมาจากของผสมที่เป็นของแข็ง ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมส่วนใหญ่ใช้ได้แก่ เฮกเซน อีเธอร์ เมทิลีนคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม อะซีโตน แอลกอฮอล์ และน้ำ

2.10.1 หลักการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืช

การแยกสารออกจากพืช โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลายจากสารที่ต้องการที่อยู่ในของแข็งจะถูกสกัดด้วยของเหลวออกมา เกิดการถ่ายเทมวลสารขึ้นเนื่องจากการพา (Convection) การแพร่เชิงโมเลกุล (Molecule diffusion) และการแพร่แบบเอ็ดดี้ (Eddy diffusion) ที่เกิดขึ้นจากการไหลแบบ Turbulence flow ซึ่งการพา และการแพร่แบบเอ็ดดี้ จะส่งผลต่อการสกัดมากกว่าการแพร่เชิงโมเลกุล แต่เนื่องจากภายในโมเลกุลของแข็งอยู่กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ

การแพร่ของสารที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลจะเป็นการแพร่แบบสุ่ม (Random Molecular Diffusion) ที่เป็นอิสระจากกัน จะมีผลอย่างมากในขั้นตอนการแพร่ของสารที่สกัดจากของแข็ง ไปยังตัวทำละลายใหม่ จึงกำหนดให้การแพร่เชิงโมเลกุลในของแข็งเป็นขั้นกำหนดอัตรา (Rate limiting step) การสกัดสารที่มีอยู่ในพืชสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการสกัดสารจากพืช (List และ Schmidt., 1989)

จากรูปที่ 2.8 ในการกระบวนการสกัดสารจากพืชจะมี 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นคือ การชะล้างสารที่ถูกสกัดออกจากเซลล์พืช และการละลายหรือการสกัดโดยการแพร่ ซึ่งกระบวนการนี้ต้องทำให้เซลล์เปียกและเต็มไปด้วยตัวทำละลายก่อน จึงจะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้ จากงานวิจัยของ (List และ Schmidt, 1989) ได้อธิบายขั้นตอนของการสกัดออกเป็น 3 ขั้นตอน คือการที่ตัวทำละลายซึมเข้าไปในเซลล์พืชซึ่งทำให้เซลล์เต็มไปด้วยตัวทำละลาย การละลายสารที่สกัดออกมา และการแพร่ของสารที่ละลายออกมาจากเซลล์พืช

2.10.2 กระบวนการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืช

เทคนิคการสกัดเอาสารตั้งต้นออกจากของแข็งในพืชและสมุนไพร เพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพออกมามากที่สุด จำเป็นต้องมีเทคนิคที่เหมาะสม โดยทั่วไปสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การแช่ (Percolation) คือ การแช่พืชที่ผ่านการบดเป็นผงในตัวทำละลาย และมีการเติมตัวทำละลายใหม่ตลอดเวลา อาจจะทำในภาชนะที่เรียกว่า percolator มีข้อเสียคือ ใช้ตัวทำละลายเป็นจำนวนมากและใช้เวลานาน

2. การสกัดแบบหมุนเวียน (Repercolation) คือ การสกัดโดยนำตัวทำละลายใหม่กับสารที่สกัดจากการแช่หมุนเวียนการสกัด โดยที่วิธีนี้จะทำให้ได้สารที่ต้องการมีความเข้มข้นมากกว่าแบบแช่ (Percolation)

3. การสกัดต่อเนื่องแบบสวนทาง (Continuous-Counter current extraction) คือ กระบวนการสกัดโดยใช้วิธีการไหลสวนทางต่อเนื่องเป็นชั้นๆ ในหลายๆ เครื่องสกัดหรืออาจใช้เครื่องสกัดเป็นเพียงเครื่องเดียว โดยในการสกัดตัวทำละลายจะทำหน้าที่ละลายตัวถูกละลายทุกชนิดที่อยู่ในของแข็งที่ป้อนเข้ามา และไม่มีการดูดซึมของตัวทำละลายกับของแข็ง ดังนั้น การที่ตัวทำละลายเข้าไปละลายตัวถูกละลายอย่างสมบูรณ์จนสารละลายทั้งสองวัฏภาคมีความเข้มข้นเท่ากัน นั่นคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในทั้งสองวัฏภาค

2.10.3 หลักการเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสม

ในการเลือกตัวทำละลายจะอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ตัวทำละลายสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้
2. ตัวทำละลายต้องไม่ละลายสารอื่นๆ ที่เราไม่ต้องการสกัด
3. ตัวทำละลายต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่เราต้องการสกัด
4. ตัวทำละลายต้องแยกออกจากสารที่เราต้องการสกัดได้ง่ายและมีจุดเดือดต่ำระเหยได้ง่าย
5. ตัวทำละลายไม่เป็นพิษ และมีราคาถูก

คุณสมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารจากสมุนไพรสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดสมุนไพร (Leela และ Satirapipathkul, 2010)

ตัวทำละลาย	คุณสมบัติ
แอลกอฮอล์	เมทานอล และเอทานอล เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีความเป็นพิษต่ำ มีอำนาจในการละลายสารกว้างมาก ลดปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำ ขจัดออกได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้ความร้อนสูง และยังใช้ทำละลายเอนไซม์ในพืชได้
น้ำกลั่น	เป็นตัวทำละลายที่สำคัญ ไม่ไวไฟ ไม่เป็นพิษ หาง่าย ราคาถูก และสกัดสารได้หลายชนิด แต่ไม่มีความคงตัวอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย ก่อนนำมาใช้ต้องผ่านกระบวนการกำจัดเชื้อให้เรียบร้อย
อะซิโตน	เป็นตัวทำละลายที่กำจัดไขมันได้ดีและสามารถละลายสารพื้นฐานในพืชได้บ้าง แต่มีข้อเสียคือ มีกลิ่นฉุน กำจัดออกได้ยาก
อีเทอร์	เป็นตัวทำละลายที่ละลายสารได้จำกัดชนิด ไม่ละลายสารพื้นฐานชนิดอื่นๆที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อสมุนไพร
คลอโรฟอร์ม	เป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายได้ในสารเกือบทุกชนิด แต่มีข้อเสียคือ หากได้รับประทานเข้าไปจะเป็นสารก่อมะเร็ง
เฮกเซน	เหมาะสำหรับสารไม่มีขี้ และราคาถูก
เอสเทอร์	เป็นตัวทำละลายในการสกัดยาสมุนไพร ทำให้ด้วยสำคัญเข้มข้นและทำให้บริสุทธิ์
เมทิลีนคลอไรด์	เกิดอิมัลชัน แต่ทำให้แห้งหรือระเหยได้ยาก

2.10.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด

1. ระยะเวลาในการสกัด เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากต่ออัตราการสกัด โดยสารในของแข็งจะแพร่เข้าสู่ของเหลวระยะเวลาตั้งแต่เริ่มสัมผัสกันของของเหลวจนถึงความเข้มข้นทั้งสองสถานะมีความเข้มข้นเข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งถ้าเวลาน้อยกว่าระยะที่เข้าสู่จุดสมดุลจะสกัดสารสำคัญได้น้อยลง

2. ขนาดของอนุภาคของแข็ง เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสกัด โดยที่ขนาดของอนุภาคเล็กจะทำให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นและระยะทางของตัวทำละลายที่อยู่ภายในของแข็งจะแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายได้ดี ซึ่งมีผลให้สกัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. ชนิดตัวทำละลาย ตัวทำละลายมีผลต่อการสกัด โดยในการสกัดให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม ตัวทำละลายที่ดีควรมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายสารที่เราต้องการสกัดได้ดีพอ ไม่ระเหยง่ายหรือยากจนเกินไป ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่เราต้องการสกัด ไม่เป็นพิษและราคาไม่แพงมากนัก

4. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด กระบวนการสกัดทั่วไปจะกระทำที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการละลายของตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงเกิดขึ้นได้ดีกว่า จึงทำให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายในส่วนที่สกัดสูงขึ้น อัตราการชะละลายจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดของของเหลวลดลงและการแพร่ของตัวทำละลายสูงกว่าค่าที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้ได้สารที่ไม่ต้องการ ถูกสกัดออกมามากเกินไปหรือตัวทำละลายอาจสูญหายไปมาก ดังนั้นจึงต้องอาศัยการพิจารณาความเหมาะสม

5. การปั่นกววน การกววนเป็นการเพิ่มการแพร่แบบเอ็ดดี้ (eddy diffusion) ทำให้เพิ่มการเคลื่อนที่ของอนุภาคและสารละลาย ช่วยป้องกันการตกตะกอนและการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับพื้นผิว

6. อัตราการป้อนตัวทำละลาย ในการสกัดแบบต่อเนื่องการป้อนตัวทำละลายจะส่งผลต่อการสกัด เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นมากเมื่อความแตกต่างความเข้มข้นของสารในบริเวณตัวทำละลายกับบริเวณพื้นที่ผิวของอนุภาคมีค่ามาก เมื่อป้อนตัวทำละลายใหม่แบบต่อเนื่องจะทำให้การถ่ายเทมวลสาร โดยการพาเกิดขึ้นได้มากกว่าการสกัดแบบกะ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนมากเกินไปอาจทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทมวลสารที่มาก ดังนั้นควรเลือกใช้อัตราการป้อนที่เหมาะสม

2.11 แคลทเทรีย

แคลทเทรียที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าเสียมี 3 ประเภท ได้แก่ แคลทเทรีย ยีสต์ และรา

2.11.1 แคลทเทรีย

เป็นสิ่งมีชีวิตประเภทใหญ่ประเภทหนึ่ง มีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ส่วนใหญ่มีเซลล์เดียว และมีโครงสร้างเซลล์ที่ไม่ซับซ้อนมาก มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น มีลักษณะเกลียว

ทรงกระบอก และเป็นท่อนกลม อาจเกาะเรียงตัวกันเป็นสายหรือกลุ่ม มีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งเซลล์ เมื่ออยู่ในสภาวะเหมาะสมจะเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าทุก 20 ถึง 30 นาที หากในอาหารมีแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมากจะทำให้อาหารเน่าเสียเกิดขึ้น แบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้โดยอาจพิจารณาจากความสามารถในการย่อยสลายประเภทของอาหารและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เช่น

1. แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายน้ำตาล แบคทีเรียเหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง หรือ น้ำตาล

2. แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายโปรตีน เช่น *Clostridium*, *Pseudomonas* และ *Proteus* แบคทีเรียเหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายโปรตีนทำให้เกิดการเน่าเสีย แบคทีเรียบางชนิดในกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายโปรตีนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดสารที่มีกลิ่นเหม็น เช่น แก๊ส ไฮโดรเจนซัลไฟด์

3. แบคทีเรียที่ย่อยสลายเพกทิน แบคทีเรียกลุ่มนี้มีน้อยชนิด เช่น *Bacillus*, *Clostridium* และ *Erwinia* เป็นต้น แบคทีเรียเหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ออกมาช่วยย่อยสลายเพกทิน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้อาหารประเภทผักและผลไม้เกิดการเสียหายและเน่าเสียได้

4. แบคทีเรียที่สามารถสร้างกรด เช่น กรดแอซิดิก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะเครื่องดื่มน้ำอัดลมรสชาติจะเปลี่ยนไป เนื่องจากเกิดรสเปรี้ยวจากกรดแอซิดิก ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างกรดแอซิดิก เช่น *Acetobacter* และ *Gluconobacter* เป็นต้น

2.11.2 ยีสต์

เป็นแบคทีเรียที่มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย มีเซลล์เดียว มีรูปร่างหลายแบบ เช่น รูปร่างกลม รี สามเหลี่ยม รูปร่างแบบมะนาว และฝรั่ง เป็นต้น ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ พบทั่วไปในธรรมชาติในดิน ในน้ำ ในส่วนต่างๆ ของพืช ยีสต์บางชนิดพบอยู่กับแมลง และในกระเพาะของสัตว์บางชนิด ยีสต์เจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลสูง คือแหล่งที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ผลไม้แช่อิ่ม หรือแห้ง รวมทั้งอาหารที่มีปริมาณเกลือมาก เช่น ผักดอง แสม เบคอน และเนื้อเค็ม ยีสต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ มักจะปนลงไปในการเป็นเหตุให้อาหารเน่าเสียได้ สปอร์ของยีสต์ไม่ทนความร้อนเหมือนกับสปอร์ของแบคทีเรีย ตัวอย่างยีสต์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย เช่น *Saccharomyces Pichia* และ *Torulopsis* เป็นต้น

2.11.3 รา

เป็นเซลล์ยูแคริโอตที่อยู่ในอาณาจักรเห็ดรา มีโครโมโซมเพียงชุดเดียว มีผนังเซลล์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไคติน ไม่มีคลอโรพลาสต์ ดำรงชีพแบบ saprophyte คือ หลั่งเอนไซม์ออกนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อนให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่สุดแล้ว

จึงดูดซับเข้าไปภายในเซลล์ ชนิดของเชื้อราที่มีความหลากหลายมาก มีรูปร่างลักษณะ และสีแตกต่างกัน เช่น ยีสต์ เส้นใย และดอกเห็ด เส้นใย เมื่อรวมกลุ่มจำนวนมาก เรียกว่า mycelium

ราเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผัก ผลไม้และอาหารเกิดการเน่าเสีย มีสี กลิ่น ที่ผิดปกติ โดยทั่วไปราเจริญได้ช้ากว่าแบคทีเรียและยีสต์ แต่เมื่อราเจริญได้สักระยะหนึ่ง ก็จะเจริญได้อย่างรวดเร็ว เราสามารถทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดี เช่น มีน้ำน้อย ความเป็นกรด จึงเป็นปัญหาในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมาก ตัวอย่างราที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร เช่น *Aspergillus Penicilli* เป็นต้น

2.12 การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

วิธีการตรวจสอบที่นิยมใช้กับเซลล์เพาะเลี้ยงแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบซึ่งต่างก็เป็นการวัดความมีชีวิตของเซลล์หลังการบ่มเซลล์กับสารทดสอบ จากนั้นนำค่าความมีชีวิตของเซลล์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับความเข้มข้นต่างๆของสารที่ทดสอบ ค่าความเข้มข้นของสารทดสอบที่ให้ผลยับยั้งความมีชีวิตลดลงเป็นครึ่งหนึ่งจากสภาวะที่ไม่มีสารทดสอบ คือ IC_{50}

2.12.1 ความเป็นพิษต่อเซลล์ที่เกิดจากการทำลายทางกายภาพเคมี (physical-chemical damage)

มีผลให้เซลล์ตายทันที วิธีการวัดความมีชีวิตของเซลล์จะสามารถทำได้รวดเร็วและมักเป็นวิธีที่เกี่ยวข้องกับ membrane integrity จึงอาจตรวจความเป็นพิษโดยการบ่มเซลล์กับสารทดสอบในระยะเวลาสั้นๆ แล้ววัดความมีชีวิตของเซลล์ได้หลายวิธี ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งเป็นวิธีที่วัดความสมบูรณ์ของเซลล์เมมเบรนขณะนั้นเท่านั้น จึงไม่สามารถบอกความเป็นพิษที่ส่งผลกระทบต่อความบกพร่องส่วนอื่นของเซลล์ หรือพิษที่เกิดขึ้นภายหลังได้ (delay cytotoxicity)

2.12.2 ความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ออกฤทธิ์ต่อเมตาโบลิซึม

มักออกฤทธิ์แสดงความเป็นพิษในช่วงเวลา 2-3 ชั่วโมง หลังการบ่มกับสารทดสอบ เป็นการตรวจความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ให้ผลชัดเจนกว่าวิธีแรกแต่การตรวจวัดความเป็นพิษจะต้องคำนึงถึงการออกฤทธิ์แบบผันกลับ-ไม่ผันกลับ (reversible-irreversible cytotoxicity) รวมทั้งระยะเวลาในการบ่มกับสารทดสอบด้วยเพื่อให้ครอบคลุมการออกฤทธิ์ของสาร แล้ววัดกิจกรรมเมตาโบลิซึมของเซลล์ เช่น การวัดความสามารถเจริญของเซลล์โดย plating efficiency หรือการวัดปริมาณ ATP เป็นต้น

ตารางที่ 2.8 วิธีตรวจความมีชีวิตและการตายของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนของเซลล์

วิธี	หลักการ
Trypan blue	เซลล์เมมเบรนที่มีชีวิตจะไม่ติดสี ส่วนเซลล์เมมเบรนที่ถูกทำลายจะติดสีฟ้า
Neutral red	Lysosomal membrane ที่สภาพดีจะมีสีแดง แต่เซลล์ที่ตายจะไม่ติดสี
FAD/PI	เซลล์เมมเบรนที่สมบูรณ์ติดสีเขียว ส่วนเซลล์ตายติดสีแดง
LDH assay	เซลล์เมมเบรนที่สมบูรณ์กัก LDH อยู่ในเซลล์ได้ แต่เซลล์ตาย LDH จะออกจากเซลล์ และวัดการตายโดยวัดปริมาณของ LDH

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

2.13.1 ประเภทของเซลล์เพาะเลี้ยง

เซลล์ที่ใช้เป็นแบบตรวจสอบการเป็นพิษควรเลือกให้เหมาะสมต่อการศึกษา โดยทั่วไปมักใช้เซลล์ไลน์ต่างๆ ส่วนการตรวจสอบความเป็นพิษที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติ differentiation ของเซลล์จะใช้เซลล์ปฐมภูมิโดยเซลล์ที่ใช้ควรมีความแข็งแรงและมีระยะการเจริญอยู่ในช่วง log phase เพื่อให้ผลการตรวจสอบไม่มีความบกพร่องที่เกิดจากเซลล์เองมาเกี่ยวข้อง

2.13.2 ความเข้มข้นและความเสถียรของสารทดสอบ

สารทดสอบไม่ควรตกตะกอนหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหารเลี้ยงเซลล์ ไม่เสียสภาพ ที่สภาวะและระยะเวลาบ่มที่ใช้ทดสอบ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงเหมาะสมและเซลล์สามารถสัมผัสกับสารได้ สารทดสอบที่ต้องละลายในตัวทำละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ควรใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ก่อความเป็นพิษต่อเซลล์ และควรใช้ปริมาณน้อย นอกจากนี้ควรมี negative control ที่มีตัวทำละลายอย่างเดียว เพื่อระบุความปลอดภัยจากความเป็นพิษต่อเซลล์ของตัวทำละลายนั้นๆ

2.13.3 ความหนาแน่นของเซลล์ที่ใช้ทดสอบ

ความหนาแน่นของเซลล์ในช่วงเวลาที่เซลล์สัมผัสกับสารทดสอบอาจมีผลต่อการตอบสนองของฤทธิ์ยา เช่น HeLa cell มีความไวต่อ alkylating agent ลดลงเมื่อเซลล์มีความหนาแน่นสูง ระยะเวลาการหยุดทดสอบควรเหมาะสมเพื่อที่จะให้ผลการทดสอบที่ชัดเจน แต่ควรครอบคลุมระยะเวลาที่สารสามารถออกฤทธิ์ นอกจากนี้เซลล์ที่ทดสอบควรอยู่ในระยะที่ตอบสนองต่อสารทดสอบได้

2.14 บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้

ปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตพลาสติกจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตหรือปลูกทดแทนขึ้นใหม่ได้ (renewable) แทนการใช้น้ำมันดิบที่มีราคาสูงขึ้นเนื่องจากมีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ วัตถุดิบที่นิยมใช้ได้แก่ พอลิเมอร์จากสิ่งมีชีวิตทั้งจากพืช เช่น แป้ง เซลลูโลส และจากสัตว์ เช่น โปรตีน เจลาติน หรือพอลิเมอร์ที่ได้จากแบคทีเรีย เช่น Polyhydroxyalkanoates (PHAs) วัสดุที่ผลิตจากพอลิเมอร์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ โดยแบคทีเรีย (biodegradable polymer) ในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ บรรจุภัณฑ์ที่บริโภคไม่ได้ และบรรจุภัณฑ์ที่บริโภคได้

2.14.1 บรรจุภัณฑ์ที่บริโภคไม่ได้

บรรจุภัณฑ์ที่บริโภคไม่ได้ (non-edible packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตมาจากวัตถุดิบธรรมชาติผสมเส้นใย (fiber) หรือพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้แล้วนำมาขึ้นรูป หรือผลิต แต่ไม่สามารถรับประทานได้โดยนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เพื่อแทนที่โฟม หรือ ถุงพลาสติกเพื่อเป็นแนวทางในการรักษาสิ่งแวดล้อม (Tharanathan,2003)

2.14.2 บรรจุภัณฑ์ที่บริโภคได้

บรรจุภัณฑ์ที่บริโภคได้ (edible packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ จัดเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารชนิดหนึ่ง เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน อาจอยู่ในรูปของฟิล์ม และสารเคลือบที่มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ นำมาใช้กับอาหารโดยการ ห่อหุ้ม การจุ่ม การทา หรือ การพ่น และความสามารถในการเกิดฟิล์มของวัตถุดิบต่างๆจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของอาหารได้ดี ถึงแม้ว่าฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ยังไม่สามารถใช้แทนวัสดุสังเคราะห์หรือพลาสติกทั้งหมดแต่ก็สามารถใช้เป็น ส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร หรือยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากฟิล์มที่รับประทานได้มีข้ออื่นๆ ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกหลายประการ (ศรีอนันต์, 2550) ดังนี้

1. สามารถรับประทานได้พร้อมผลิตภัณฑ์ทำให้ลดปัญหาในเรื่องของขยะเนื่องจากการใช้ฟิล์มลดลง
2. บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษ
3. ฟิล์มที่ทำมาจากโปรตีนสามารถเสริมคุณค่าทางอาหารได้
4. สามารถทำหน้าที่เก็บสารต้านเชื้อแบคทีเรียและสารกันเหี่ยว และยังควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่อาหาร
5. สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติกโดยให้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง

2.15 ประเภทของฟิล์มย่อยสลายได้

2.15.1 ฟิล์มและสารเคลือบพอลิแซคคาไรด์

พอลิแซคคาไรด์เป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรฟิลิกที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่มากกว่า 10 หน่วยขึ้นไป ตัวอย่างของพอลิแซคคาไรด์บางชนิดที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบที่บริโภคนได้ เช่น อัลจินเนต (Alginate) เพกทิน (Pectin) สตาร์ช (Starch) สตาร์ชไฮโดรไลเซต (Starch - Hydrolysed) คาร์ราจีแนน (Carrageenan) อนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose Derivatives) แต่เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (Hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามพอลิแซคคาไรด์บางชนิดที่ใช้ผลิตเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบที่มีลักษณะคล้ายวุ้น (Gellatinous) และมีความชื้นสูง ซึ่งจะช่วยให้ชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในระหว่างการเก็บรักษาสั้นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหารมากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการซึมผ่านของความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซคคาไรด์บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน (Lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อาหารเกิดการเหม็นหืน

2.15.2 ฟิล์มโปรตีน

ฟิล์มโปรตีน (Protein film) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดจำเป็น (Essential Amino acid) และไม่จำเป็น (Nonessential Amino Acid) การศึกษาฟิล์มที่บริโภคได้จากโปรตีนยังมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแซคคาไรด์ ในปัจจุบันการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนโดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น การทำให้เสถียรภาพของโปรตีน การเติมสารเชื่อมข้าม (Cross Linking or Tanning Agent) ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดแทนนิก (Tannic Acid) หรือการใช้ความร้อน เป็นต้น

2.15.3 ฟิล์มและสารเคลือบจากไขมัน

ไขมัน (Lipid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ละลายได้ดีในอีเทอร์ (Ether) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และตัวทำละลายอินทรีย์แต่ไม่ละลายในน้ำ การใช้ไขมันห่อหุ้มอาหารมีมานานแล้วในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น การเคลือบช็อกโกแลต หรือการใช้กับผักผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข สารประกอบไขมันหลายชนิดรวมทั้งอะซิทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ ไชธรรมชาติ (Natural Wax) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ก็สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ เนื่องจากเป็นสารที่มีขี้ด้า มีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความชื้นได้ดี โดยทั่วไปการเคลือบอาหารด้วยไขมันเพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่ในกรณีการเคลือบผลไม้ด้วยไขมันจะให้ผลอย่างอื่น เช่น การลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนถ่ายไม่ให้เกิดรอยขีดหรือเคลือบผลแอปเปิ้ลทันทีหลังเก็บ

เกี่ยวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ เช่น กรดลอริก กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริกโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก เป็นต้น หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและเลซินติน

2.16 फिल्मจากแป้ง

สำหรับการผลิตฟิล์มและสารเคลือบจากแป้งโดยตรงนั้นสามารถทำได้ แต่ฟิล์มที่ได้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการแยกส่วนอะไมโลสจากสตาร์ช เพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มและสารเคลือบ ลักษณะของฟิล์มอะไมโลสมีความโปร่งแสง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีความเป็นพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้สูงและยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ต่ำ (Laohakunjit และ Noomhorm, 2004) ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งต่างชนิดกันย่อมมีสมบัติแตกต่างกัน โดยฟิล์มที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังมีความยืดหยุ่น การต้านทานแรงดึงขาด และความแข็งแรงสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวโพดและข้าวสาลีและมีการละลายน้ำและความโปร่งแสงดีกว่าฟิล์มแป้งธัญพืชอื่นด้วย

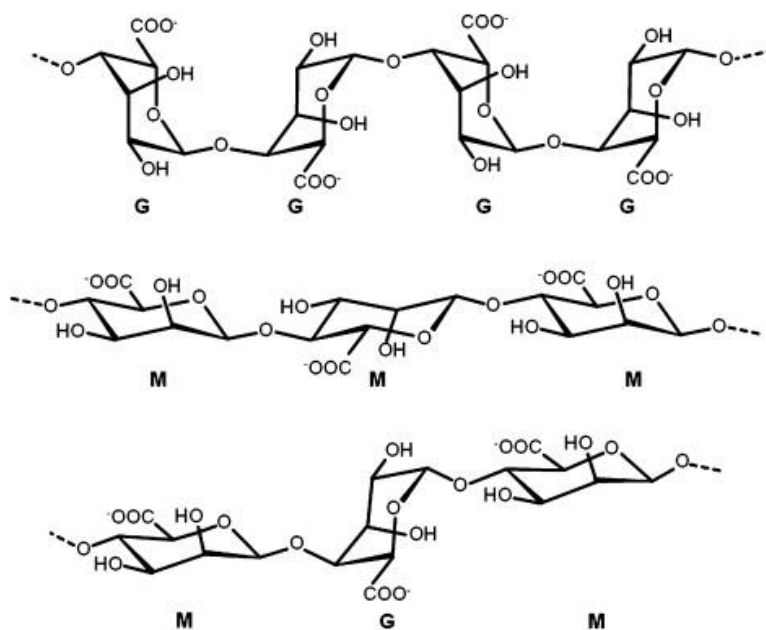
2.16.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแป้งมาใช้ทำฟิล์ม

ตารางที่ 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแป้งมาใช้ทำฟิล์ม

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์ม	พลาสติกไซเซอร์	คุณสมบัติเชิงกล และการซึมผ่านไอน้ำ			เอกสารอ้างอิง
		ค่าความเค้น แรงดึง (เมกะ ปาสคาล)	ค่า ความเครียด ก่อนขาด (%)	การซึมผ่านไอน้ำ (กรัม มิลลิเมตรต่อ ตารางเมตร วัน กิโลปาสคาล)	
แป้งข้าวเจ้า 3% w/v (edible film)	กลีเซอรอล	3.2 ± 0.30	265.6 ± 13.60	130.93 ± 21.08	Mehyar และ Han (2004)
แป้งสาเก 3 %w/v (edible film)	กลีเซอรอล	43.50-50.93	5.92 - 8.90	0.4-0.6	Leovasut (2008)
แป้งข้าวโพด 5 %w/w (non-edible film)	กลีเซอรอล	53.51 ± 0.37	2.51 ± 0.34	-	Lopez (2011)
แป้งมันสำปะหลัง 5%w/v (non-edible film)	ซูโคส	3.8 ± 0.7	171.2 ± 19.1	5.89 ± 0.80	Kechichian และคณะ (2012)
แป้งกล้วย 4% w/w (non-edible film)	กลีเซอรอล	9.2 ± 0.2	24.2 ± 1.9	2.1 ± 0.2	Pelissari และคณะ (2012)

2.17 พอลิเมอร์จากอัลจินเนต

อัลจินเนตเป็นโคโพลิเมอร์สายตรงที่ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วย 1,4-linked B-D-mannuronic acid (M) และ α -L-guluronic(G) ดังรูปที่ 2.9 อัลจินเนตผลิตได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล มีข้อดีคือไม่มีความเป็นพิษและเข้ากันได้ดีกับโมเลกุลของอัลจินเนตส่วน G สามารถเชื่อมส่วน G ของโมเลกุลอีกสายได้ด้วย Ca^{2+} หรือ multivalent cation อื่นๆ โดย Ca^{2+} จะวางตัวอยู่ใน G block เหมือนไข่ที่บรรจุในกล่องไข่ (egg-block) การเชื่อมของสายอัลจินเนตเข้าด้วยกัน โดยมีบริเวณเชื่อมคือ G-Block ทำให้เกิดเป็นเจล โมเลกุลของน้ำจะถูกกักเก็บไว้ในอัลจินเนตเมทริกซ์และยังสามารถเคลื่อนย้ายโมเลกุลได้อย่างอิสระ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลนี้เนื่องจากแรงแคปิลลารี กรดอัลจินิกมีความชอบน้ำเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลิกในโมเลกุล กรดอัลจินิกสามารถพองตัวได้ในน้ำโดยดูดซึมน้ำได้ถึง 200-300 เท่าของน้ำหนัก



รูปที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของอัลจินเนต (Lee และ Mooney, 2012)

พอลิเมอร์ของอัลจินเนตเกิดการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1, 4) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของอีกโมเลกุลหนึ่ง (Imeson, 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดสายพอลิเมอร์ได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ

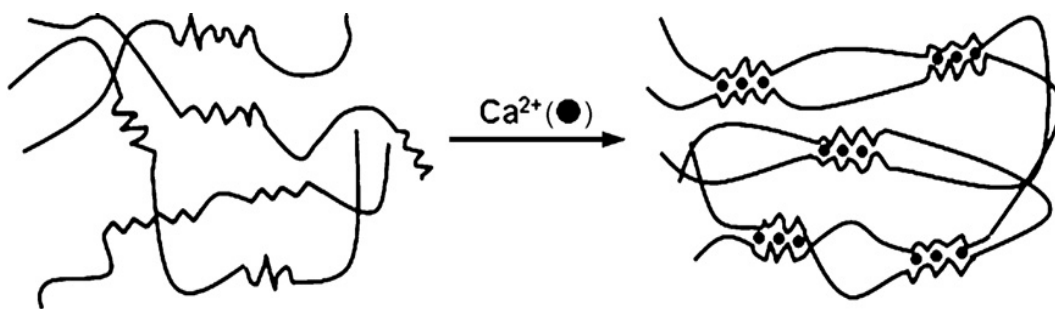
1. M-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid เพียงอย่างเดียว ซึ่งเกิดจาก equatorial group ทั้ง C1 และ C4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายริบบิ้น เจลที่ได้มีความอ่อนนุ่ม มี

ความยืดหยุ่น ไม่ทนความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง เพราะสามารถทนต่อวัฏจักรการละลายและการแข็งตัวได้ดี

2. G-block ประกอบด้วย L-guluronic acid เพียงอย่างเดียว เกิดจาก axial group ทั้ง C1 และ C4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมา ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดเจล ทำให้มี Gel strength สูง เจลที่ได้มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น มีความคงทนต่อความร้อนได้ดี แต่เกิดการสูญเสีย น้ำง่าย จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

3. MG-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid และ L-guluronic acid การจัดเรียงตัวของ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ในสายพอลิเมอร์มีผลต่อลักษณะและสมบัติของอัลจินเต สมบัติของอัลจินเตขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเกิดพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่าย และสมบัติทางกายภาพของอัลจินเตขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ ในการเกิดเจลถ้ามี G-block มากจะทำให้มีความเหนียว (Gel strength) สูง เจลที่ได้มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น มีความคงทนต่อความร้อนได้ดี แต่เกิดการสูญเสีย น้ำง่าย จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง ในขณะที่อัลจินเตที่มี M-blocks มาก จะให้เจลที่มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น แต่ไม่ทนความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง เพราะสามารถทนต่อวัฏจักรการละลายและการแข็งตัวได้ดี ส่วนอัลจินเตที่มีปริมาณ MG-blocks มากจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี

ความหนืดของสารละลายอัลจินเตขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของอัลจินเตพอลิเมอร์ โดยสารละลายอัลจินเตที่อัตราเฉือน (shear rate) ต่ำ มีค่าความหนืดสูง โมเลกุลของอัลจินเตจะเรียงตัวกันอย่างสุ่ม แต่ที่อัตราเฉือนสูง ความหนืดจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างมีแนวโน้มการจัดเรียงตัวขนานกันมากขึ้น สมบัติที่ดีของอัลจินเต คือ เกิดเจลได้ในน้ำเย็นเมื่อมีแคลเซียมไอออนรวมอยู่ด้วย โดยการเกิดเจลในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า egg box ดังรูปที่ 2.10 และเจลที่ได้จะคงตัวไม่คืนกลับด้วยความร้อน (thermally irreversible gelling agent) อัลจินเตมักใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเช่น ไข่เค็มในอาหารกระป๋องบางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม ขนมหวานแช่เยือกแข็ง และน้ำสลัด เป็นสารยับยั้งการเกิด Syneresis โดยใช้โซเดียมอัลจินเตเป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็น เพื่อให้เกิดความคงตัวในระหว่างการแช่แข็งและละลาย นอกจากนี้อัลจินเตยังใช้เคลือบผิวเนื้อปลาก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแห้งกับเนื้อปลา (freezer burn) (Imeson, 1997)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างแอกตินเน็ตที่มีการคอสมลิงค์ (cross-linking) ด้วยแคลเซียมไอออน
(Lee และ Mooney, 2012)

2.17.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำอัลจินตมาใช้ในการทำฟิล์ม

ตารางที่ 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำอัลจินตมาใช้ในการทำฟิล์ม

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์ม	พลาสตีไซเซอร์	คุณสมบัติเชิงกล และการซึมผ่านไอน้ำ			เอกสารอ้างอิง
		ค่าความเค้นแรงดึง (เมกะปาสคาล)	ค่าความเครียดก่อนขาด (%)	การซึมผ่านไอน้ำ (กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเมตร วัน กิโลปาสคาล)	
อัลจินต 1.5% w/v (non-edible film)	กลีเซอรอล	85.67±7.75-160.26±13.30	2.16±0.54-4.08±0.76	6.96±0.37-11.93±0.22	Zactiti และ Kieckbusch (2006)
อัลจินต 2% w/w (edible film)	กลีเซอรอล	2.90 ±0.52	51.06 ± 3.89	4.95 ± 0.43	Rojas-Grau และคณะ (2007)
อัลจินต 2 %w/v (non-edible film)	กลีเซอรอล	22.20 ± 4.00	19.32 ± 6.81	1.72 ± 0.07	Norajit และคณะ (2010)
อัลจินต 3.75 %w/v (edible film)	กลีเซอรอล	35.0 ± 8.2	8.6 ±2.3	0.84±0.07	Galus และ Lenart (2012)
อัลจินต 1.5 %w/w (non-edible film)	กลีเซอรอล	39.7-52.9	2.76-3.55	3.0-3.9	Benavides และคณะ (2012)

2.18 फिल्मหลายองค์ประกอบ

ฟิล์มประกอบ (Composite film) เป็นการเชื่อมไบโอพอลิเมอร์ของสารเดี่ยวหรือต่างชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดคุณสมบัติที่เด่นชัดในการประยุกต์ใช้ เช่น ฟิล์มประกอบที่เกิดจากการรวมกันของลิวินกับ เพ็กทิน จะสามารถป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำได้ดีขึ้น ฟิล์มประกอบที่เกิดจากเซลลูโลสและลิวิน สามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีส่วนประกอบต่างกัน ฟิล์มที่มี Methyl Cellulose หรือ Hydroxypropyl-methyl Cellulose และกรดไขมันเป็นส่วนประกอบจะป้องกันเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่อาหารได้ ฟิล์มประกอบระหว่างโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ สามารถลดราคาของฟิล์มลงได้ เช่น ฟิล์มบริโกลได้สององค์ประกอบ แป้งและอัลจินต พบว่า มีคุณสมบัติในการควบคุมการสูญเสียความชื้นสำหรับก้อนเนื้อปรุงถึงสุก และเมื่อเพิ่มโทโคเฟอรอล (Tocopherol) พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของลิวินได้ (Wu และคณะ, 2001) ในขณะที่ของฟิล์มบริโกลได้จากส่วนผสมของโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ในอัตราส่วน 95 ต่อ 5 โดยเตรียมจากเวย์โปรตีนเข้มข้นร้อยละ 45 และอัลจินต เพ็กทิน คาราจีแนน หรือแป้งบุก เมื่อเพิ่มพอลิแซคคาไรด์จะทำให้การแพร่ผ่านไอน้ำต่ำลงและการต้านแรงดึง อีลาสติกโมดูลัสและการยืดตัวสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีฟิล์มประกอบจากเจลาติน สตาร์ช โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งกลีเซอรอลจะทำให้อีลาสติกโมดูลัสและการต้านแรงดึงลดลง และเจลาตินจะทำให้การต้านแรงดึง และการยืดตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ลดการแพร่ผ่านของแก๊สและไอน้ำได้ดีขึ้น (Arvanitoyannis และคณะ, 1997)

2.18.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไบโอพอลิเมอร์สององค์ประกอบมาใช้ทำฟิล์ม

ตารางที่ 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไบโอพอลิเมอร์สององค์ประกอบมาใช้ทำฟิล์ม

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์ม	พลาสติกไซเซอร์	คุณสมบัติเชิงกล และการซึมผ่านไอน้ำ			เอกสารอ้างอิง
		ค่าความเค้น แรงดึง (เมกะปาสคาล)	ค่าความเครียด ก่อนขาด (%)	การซึมผ่านไอน้ำ (กรัม มิลลิเมตรต่อ ตารางเมตร วัน กิโลเมตร ปาสคาล)	
แป้งข้าวเหนียว/ไคโตซาน (non-edible film)	กลีเซอรอล	33.69-40.25	33.3-61.1	4.65	Xua (2005)
แป้งข้าวเจ้า/ไคโตซาน (non-edible film)	ซอร์บิทอล	133.43-252.57	6.90-16.69	-	Jarujutarat และคณะ (2009)
แป้งข้าวเจ้า/แพคติน (edible film)	ซอร์บิทอล	26.63-27.03	23.50-25.03	5.92-9.26	Tassavil และคณะ (2010)
อัลจินต/แพคติน (edible film)	กลีเซอรอล	22.5±2.4- 42.3±7.0	5.9±1.2- 14.9±2.2	0.84±0.07- 1.73±0.08	Galus และ Lenart (2012)
พอลลูลูเลน/อัลจินต/ซีเอ็มซี (non-edible film)	กลีเซอรอล	29-67	10-45	1.3 - 4.2	Tong และคณะ (2008)
แป้งข้าวโพด/ซีเอ็มซี (edible film)	กลีเซอรอล	6.57 - 16.11	66.18 - 58.49	2.34 - 2.45	Ghanbarzadeh (2010)

2.19 กระบวนการผลิตฟิล์ม

ฟิล์มโดยทั่วไปเกิดจากสารประกอบที่เป็นพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลและมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาว ซึ่งเป็นผลมาจากแรง adhesion และ cohesion ที่เกิดขึ้นในฟิล์ม โดยการผลิตฟิล์มเพื่อเคลือบบนผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ ที่เป็นพอลิเมอร์ฟิล์มนั้น ต้องพิจารณาถึงโครงสร้างและแรงที่กระทำระหว่างโมเลกุลของฟิล์มที่เชื่อมต่อกันกับสารตั้งต้นที่ใช้ผลิต ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม เช่น ความหนา การยึดตัวกันของแผ่นฟิล์ม ความยืดหยุ่น ความแข็ง และความเปราะ เป็นต้น สำหรับกระบวนการผลิตฟิล์มนั้นมีการผลิตที่คล้ายกับการผลิตฟิล์มโดยทั่วไป สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.19.1 การหล่อฟิล์ม (casting)

เป็นการผลิตฟิล์มโดยการนำสารผสมของฟิล์มที่เตรียมไว้เทบนภาชนะที่มีผิวเรียบ เช่น แผ่นพลาสติก กระดาษ หรือ ฟอรั่มไมกา หลังจากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยลมร้อน แล้วลอกออก อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีคุณสมบัติในด้านการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม เช่น การเคลือบด้วยไฮพาราฟินเพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการอบแห้งนาน

2.19.2 การอัดรีด (Extrusion)

เป็นการผลิตฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในการทำให้ฟิล์มขึ้นรูปเป็นแผ่นบาง ลักษณะคล้ายการผลิตฟิล์มฟิล์มสังเคราะห์โดยทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้ เช่น การผลิตฟิล์มคอลลาเจนเพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอก

2.19.3 การอัด (Compression)

เป็นการนำสารผสมของฟิล์มมาเติมลงในแบบ แล้วอัดแบบโดยใช้ความร้อน เช่น การทำฟิล์มแป้งผสมโปรตีนข้าวโพด หรือซีน (zein) ทำโดยใช้ซีนละลายในสารละลายเมทานอลเข้มข้น 75% จากนั้นเติม พลาสติกไซเซออร์ สี่ และแป้งลงไป ส่วนผสมที่ได้จะถูกทำแห้งจนมีลักษณะคล้ายโด (dough) จากนั้นนำไปกดอัดจนได้รูปร่างตามต้องการ ซึ่งเวลาในการผลิตทั้งหมดจะขึ้นกับความชื้นของโด

สารที่ใช้ผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นเหล่านี้อาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ซึ่งประสิทธิภาพของฟิล์มแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับ กระบวนการในการผลิตที่จะต้องมีการควบคุมเทคนิคและวิธีการผลิตให้เหมาะสม การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารละลายที่ใช้ทำฟิล์ม และความเข้มข้นของตัวกลางที่ใช้มีผลต่อแรงในการเกาะตัวกันของแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะทำให้มีลักษณะของฟิล์มที่ไม่เกาะตัวกันหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในการเกาะตัวของฟิล์มมีทั้ง

แรง adhesion และ cohesion มีผลต่อคุณภาพของแผ่นฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของสารพอลิเมอร์ที่ผลิต เช่น ค่าของมวลโมเลกุล ความเป็นขั้ว (polarity) และความแข็งแรงของฟิล์ม ลำดับการแตกสาขาของสายพอลิเมอร์

2.20 สารเจือปนที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม (additive)

การเปลี่ยนแปลงสมบัติหรือปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของฟิล์มรวมทั้งชนิดและความหนาของสารที่ใช้เคลือบ อาจมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ลงในฟิล์มเพื่อให้ฟิล์มนุ่มขึ้นและมีความยืดหยุ่น

2.20.1 พลาสติกไซเซอร์

เป็นสารเจือปนชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตฟิล์มโดยมีคุณสมบัติในการรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม มีการระเหยได้ยาก จุดเดือดสูง อาจละลายในตัวทำละลายได้ดี เพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้กับอาหารหลายประเภท

1. โมโน ไค และ โอลิโกแซคคาร์ไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและน้ำผึ้ง
2. โพลีออล ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล โพลีเอทิลีนไกลคอล
3. ไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน ได้แก่ กรดไขมัน

พลาสติกไซเซอร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลงจึงทำให้ฟิล์มมีสภาพยืดหยุ่น (flexibility) ได้ดี

2.20.2 สารให้ความชื้น (wetting agent)

การเตรียมฟิล์มบางชนิดอาจต้องใช้สารให้ความชุ่มชื้นเพื่อทำให้สารละลายกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ หรืออาจใช้อิมัลซิไฟเออร์ เพื่อทำให้เกิดความคงตัวของอิมัลชัน อย่างไรก็ตามสารทั้งสองชนิดอาจมีผลให้สารบางชนิดผ่านฟิล์มที่เตรียมไว้ได้มากขึ้น ในการเตรียมฟิล์มอาจผสมสารชนิดต่างๆ ลงไปในการทำฟิล์ม เช่น สารกันหืน (antioxidant) สารป้องกันแบคทีเรีย (antimicrobial) อีกทั้งยังสามารถเติมสารที่มีคุณค่าทางอาหาร สารให้รสชาติหรือรงควัตถุลงไปในฟิล์มขณะเตรียมด้วย แต่การเตรียมสารเจือปนต่างๆ ให้ได้ผลนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของสารเจือปนเหล่านั้นด้วย เพราะอาจทำให้ฟิล์มลดความสามารถในด้านการต้านทานไอระเหยหรือก๊าซ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของสารเจือปนที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มยังขึ้นกับความเข้มข้นของสารเจือปนที่ใช้ โครงสร้างทางเคมีของสารและระดับการกระจายตัวของสารในฟิล์มด้วย

2.21 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

2.21.1 สมบัติเชิงกล (mechanical property)

สมบัติเชิงกลของวัตถุ หมายถึง สมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงเชิงกลที่มากระทำ ไม่ว่าจะแรงเชิงกลนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม โดยทั่วไปแล้วสมบัติเชิงกลมักพิจารณาถึงเทอมต่อไปนี้

1. ความเครียด (strain) คือ ผลที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับสิ่งรบกวน จะทำให้วัสดุยืดออกหรือหดเข้าตามแนวแรงที่กระทำ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ

2. ความทนแรงดึง (tensile strength) เป็นการวัดความสามารถของวัสดุที่ต้านทานต่อการขาดภายใต้แรงดึง นับเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลอย่างง่ายของวัสดุที่เป็นแผ่นหรือฟิล์ม

3. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation) คือ การยืดออกของชิ้นทดสอบที่แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวเริ่มต้น ซึ่งการยืดตัวนี้เกิดขึ้นภายใต้แรงดึง ก่อนชิ้นงานจะขาด

2.21.2 สมบัติทางด้านการซึมผ่านของไอของน้ำ (Water Vapor Transmission)

การทดสอบสมบัติทางด้านการซึมผ่านของไอของน้ำ เป็นการทดสอบศักยภาพของวัสดุด้านการซึมผ่านของไอของน้ำ วัสดุที่อาจต้องมีการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ได้แก่ กระดาษฟิล์มพลาสติก วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น ไม่อัด เป็นต้น

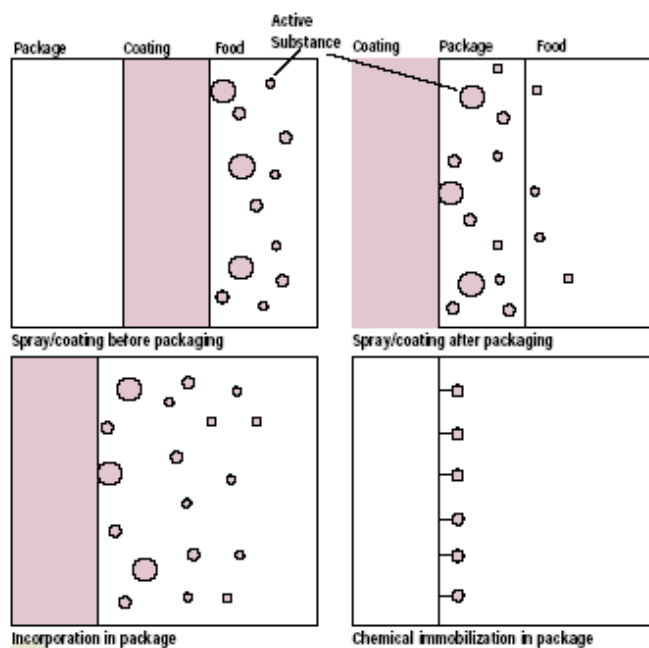
1. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) คือ ปริมาณไอของน้ำที่ซึมผ่านผิวหน้าด้านหนึ่งไปยังผิวหน้าอีกด้านหนึ่งในระยะเวลาที่กำหนด ต่อหน่วยพื้นที่ภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์

2. สภาพให้ไอของน้ำซึมได้ (Water Vapor Permeability, WVP) คืออัตราการซึมผ่านของไอของน้ำ ผ่านหน่วยพื้นที่ของวัสดุแบบที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่ง

2.22 บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์

บรรจุภัณฑ์ด้านแบคทีเรีย (Antimicrobial Packaging) คือ ระบบการบรรจุที่สามารถฆ่าหรือยับยั้งแบคทีเรีย โดยการลดอัตราการเจริญของแบคทีเรีย (Han, 2000) เพื่อช่วยรักษาความปลอดภัยของอาหาร รวมทั้งถนอมรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บของอาหารด้วย บรรจุภัณฑ์ด้านแบคทีเรียมิใช่กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากแบคทีเรีย หลักการของบรรจุภัณฑ์ด้านแบคทีเรีย คือ การใช้สารด้านแบคทีเรียร่วมกับระบบการบรรจุ ซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของบรรจุสารด้านแบคทีเรีย การแต่งเติมสารด้านแบคทีเรียในวัสดุบรรจุ หรือการใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติด้านแบคทีเรีย (Appendini และ Hotchkiss, 2002)(Suppakul, 2003) โดยการเติม (incorporation) หรือการเกาะติด (immobilizing) สารด้านแบคทีเรียลงในบรรจุภัณฑ์ หรือโดยการเคลือบสารด้านแบคทีเรียบนพื้นผิวบรรจุภัณฑ์ซึ่ง

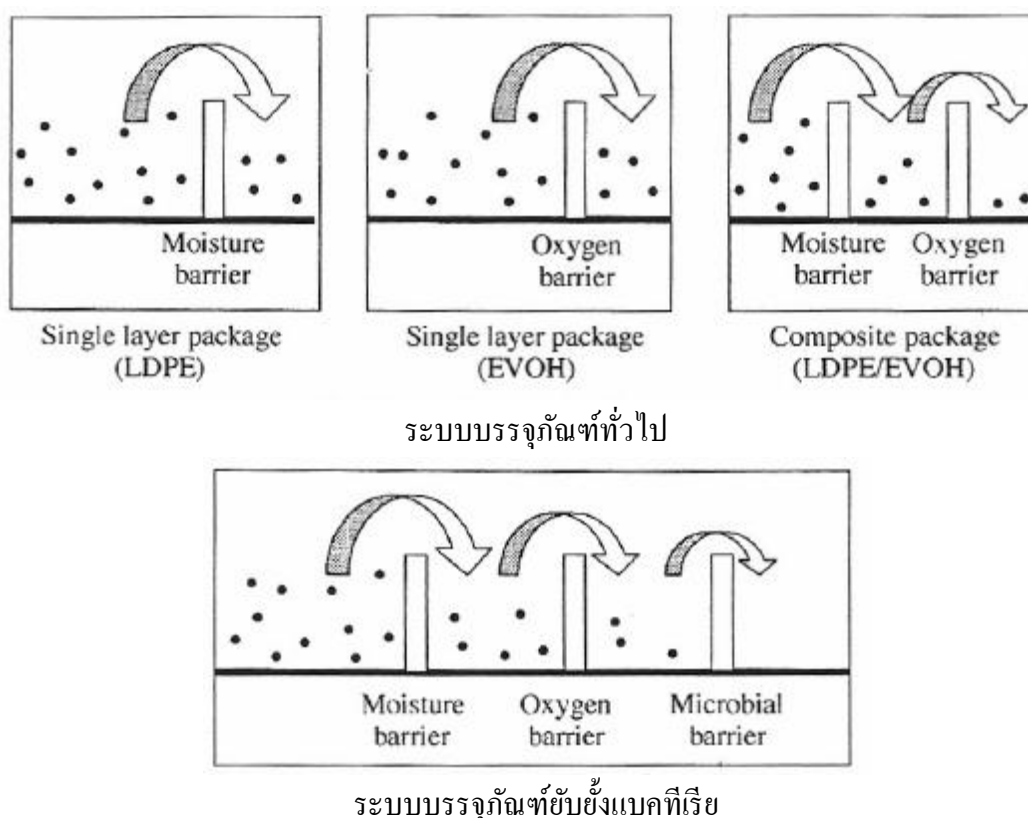
จะเป็นวิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับระบบการบรรจุที่สร้างขึ้น สารต้านแบคทีเรียและผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ สารต้านแบคทีเรียที่เติมในวัสดุบรรจุสามารถเคลื่อนย้ายสู่ผลิตภัณฑ์อาหารได้ ในขณะที่สารต้านแบคทีเรียแบบเกาะติดไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณพื้นผิวของวัสดุบรรจุได้ บริเวณที่เกิดการยับยั้งแบคทีเรียในอาหารจะเกิดเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุบรรจุเท่านั้น ดังรูปที่ 2.11 ในส่วนของสารต้านแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นสารระเหยจะมีการปลดปล่อยมวลสารสู่ช่องว่างภายในภาชนะบรรจุโดยกระบวนการระเหย การควบคุมอัตราการแพร่ของสารต้านแบคทีเรียจากวัสดุบรรจุสู่ผลิตภัณฑ์อาหารหรือช่องว่างภายในภาชนะบรรจุสามารถทำได้โดยเพิ่มชั้นของฟิล์มที่ทำหน้าที่ขัดขวางการแพร่ของสารต้านแบคทีเรียแทรกอยู่ระหว่างชั้นของฟิล์มต้านแบคทีเรียและผลิตภัณฑ์อาหาร (Han, 2000)



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารจากวัสดุบรรจุไปยังอาหารตามรูปแบบของการบรรจุแบบต้านแบคทีเรียที่แตกต่างกัน (Han, 2000)

วัตถุประสงค์ของบรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรีย เพื่อเป็นการรับประกันความปลอดภัย คุณภาพ และยืดอายุการเก็บของอาหาร ปัจจุบันการรับประกันความปลอดภัยของอาหารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง บรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรียได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น (Han, 2003) เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรียดังรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรียนอกจากสามารถป้องกันได้ทั้งความชื้น ออกซิเจน เนื่องจาก

สมบัติของฟิล์มแต่ละชนิดแล้ว ยังสามารถป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรียเข้าสู่อาหารได้ เนื่องจากมีสารยับยั้งแบคทีเรียอยู่ในฟิล์ม เช่น ฟิล์ม Low Density Poly Ethylene (LDPE) ช่วยป้องกันการซึมผ่านของความชื้น ฟิล์ม Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH) ช่วยป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และต้องใช้ร่วมกันเพื่อป้องกันการซึมผ่านของทั้งความชื้นและออกซิเจน บรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรีย (Han, 2003)



รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรีย

(Han, 2003)

บรรจุภัณฑ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่เพียงป้องกันและต่อต้านแบคทีเรียในอาหารที่ถูกบรรจุอยู่ แต่ยังรวมถึงแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนมากับบรรจุภัณฑ์ด้วย (Appendini และ Hotchkiss, 2002) ลักษณะการทำงานของสารยับยั้งแบคทีเรียที่ใส่ลงในบรรจุภัณฑ์มี 3 ลักษณะ คือ การปลดปล่อย (Release) การดูดซึม (Absorption) และอิมโมบิไลเซชัน (Immobilisation)

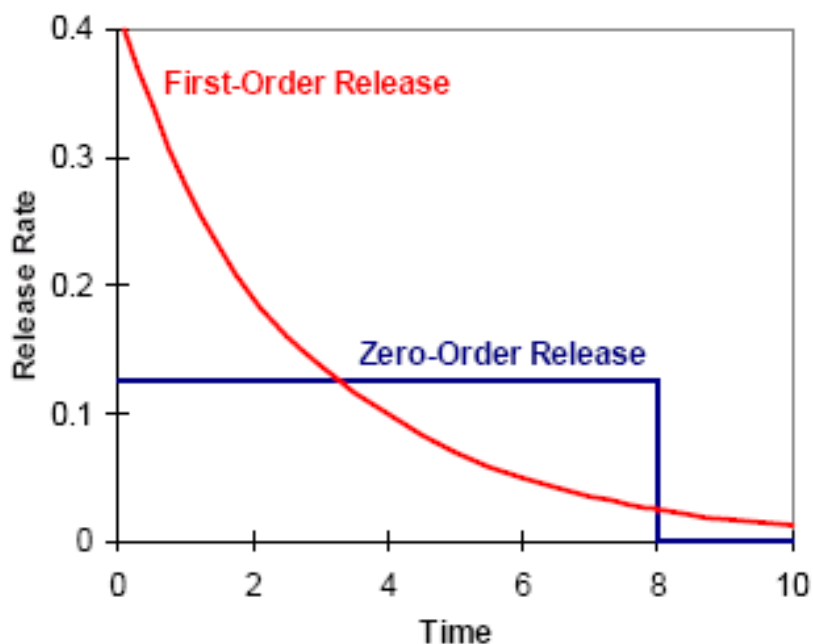
การปลดปล่อยเกิดขึ้นจากสารยับยั้งแบคทีเรียที่มีทั้งประเภทสารละลาย หรือแก๊ส ถ้าเป็นแก๊สจะเคลื่อนที่ไปสู่อาหารหรือช่องว่างระหว่างอาหารกับบรรจุภัณฑ์ได้ แต่หากเป็นสารละลายจะไม่สามารถทำได้

การดูดซึมมีหลักการทำงานคือ เคลื่อนย้ายปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียออกจากบรรจุภัณฑ์และต่อต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ระบบ Oxygen-Absorber สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อรา ซึ่งต้องการออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ และการอิมโมบิไลเซชันจะต่อต้านการเจริญของเชื้อที่ผิวอาหารเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับบรรจุภัณฑ์ เมื่อใช้บรรจุอาหารแข็งจึงแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าอาหารเหลว เพราะโอกาสในการสัมผัสระหว่างผิวอาหารกับบรรจุภัณฑ์น้อยกว่า ดังนั้นการสัมผัสระหว่างบรรจุภัณฑ์ยับยั้งแบคทีเรียกับผิวอาหาร จึงมีความสำคัญอย่างมาก จึงมักใช้การบรรจุอาหารด้วยสุญญากาศ หรือใช้การเคลือบผิวโดยการสเปรย์หรือจุ่ม

2.22.1 การปลดปล่อยสารต้านแบคทีเรียจากบรรจุภัณฑ์ (Release of Antimicrobial from Packages)

การควบคุมการปลดปล่อยสารของบรรจุภัณฑ์ต้านแบคทีเรียได้อย่างเหมาะสมจะช่วยทำให้สามารถควบคุมปฏิริยาการเสื่อมเสียของอาหารซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียปฏิริยาการเกิดกลิ่นเหม็น เพราะการเสริมประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องของสารต้านแบคทีเรียจะช่วยรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารเอาไว้ได้ ซึ่งมีข้อดี ดังนี้

1. สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารต้านแบคทีเรียทำให้ยืดระยะเวลาในการแสดงประสิทธิภาพของสารต้านแบคทีเรียได้นานขึ้น
2. ทำให้ทราบถึงปริมาณของสารต้านแบคทีเรียที่อาจสูญเสียไประหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และสามารถที่จะเติมเข้าไปทดแทนตั้งแต่แรกเพื่อให้ยังคงประสิทธิภาพในการยับยั้งอย่างเพียงพอ
3. สามารถแยกสารประกอบที่ต่อต้านกันหรือเข้ากันไม่ได้ออกมาโดยส่วนใหญ่รูปแบบของการปลดปล่อยสารของระบบที่มีการควบคุมการปลดปล่อยจะมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.13 คือ การปลดปล่อยอันดับศูนย์ (zero-order release) อัตราการปลดปล่อยจะคงที่จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์ไม่เหลือสารอยู่อีกและการปลดปล่อยอันดับหนึ่ง (first-order release) อัตราการปลดปล่อยจะเป็นสัดส่วนกับมวลของสารที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์ โดยอัตราการปลดปล่อยจะค่อยๆ ลดลงในรูปของกราฟเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential)



รูปที่ 2.13 รูปแบบการปลดปล่อยมวลสารภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณสารขั้วยังเริ่มต้นเท่ากัน
(Baker, 1987)

สารต้านแบคทีเรียที่มีการเติมลงในวัสดุบรรจุสามารถเคลื่อนย้ายออกจากตัววัสดุได้ 2 รูปแบบคือ โดยการระเหยหรือการแตกตัว และโดยการแทนที่เข้าไปภายในช่องว่างของวัสดุบรรจุ Calvert และ Billingham (1979) ได้ศึกษาอัตราการสูญเสียของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในพอลิเมอร์แผ่นหนา แผ่นฟิล์ม และไฟเบอร์พบว่าอัตราการสูญเสียของสารในพอลิเมอร์แผ่นหนาสามารถอธิบายได้ด้วยการแทนที่เข้าไปในวัสดุบรรจุในขณะที่ของแผ่นฟิล์มลักษณะการเคลื่อนย้ายของสารออกจากแผ่นฟิล์มจะเป็นแบบการระเหยออกไป

2.22.2 การวัดอัตราการปลดปล่อยสาร

การวัดอัตราการปลดปล่อยสารหรือการเคลื่อนที่ของสารออกจากวัสดุบรรจุไปยังอาหาร วิธีที่ใช้ทดสอบกันอยู่ก็คือวิธีไมเกรชัน (migration test) ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้รูปแบบจำลองอาหารเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสารจากภาชนะบรรจุไปยังอาหาร ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ การให้วัสดุสัมผัสกับอาหารหรืออาหารจำลองในสถานะที่เหมือนสถานะที่เกิดขึ้นจริง และ การให้วัสดุสัมผัสกับอาหารจำลองที่เหมาะสมในสถานะจำลองเพื่อให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างอาหารจำลองและพลาสติกมากกว่าสถานะจริง หลักการของการทดสอบวิธีนี้จะจำลองสถานะการเกิด

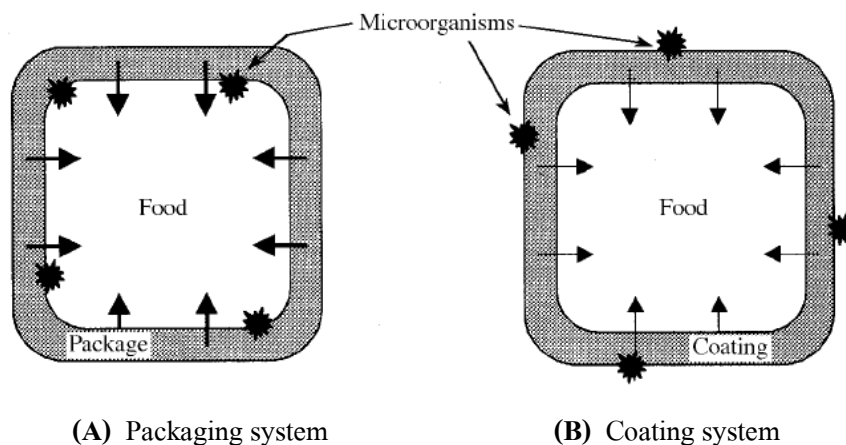
ไมเกรซันที่รุนแรงกว่าสภาวะจริง โดยการใช้ตัวทำลายที่ระเหยง่ายเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดไมเกรซันจากพลาสติก เร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารในการสกัด ซึ่งสัมพันธ์กับการแพร่ของสารจะมากกว่าในสภาวะปกติมาก ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่าอาหารที่บรรจุมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารจากภาชนะบรรจุในการประเมินความเหมาะสมของวัสดุบรรจุที่ใช้

2.22.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ด้านแบคทีเรีย

ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ด้านแบคทีเรียเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและความปลอดภัยสำหรับสำหรับผู้บริโภค มีดังต่อไปนี้คือ

1. ลักษณะของสารด้านแบคทีเรียและอาหาร สารด้านแบคทีเรียแต่ละชนิดมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อได้อย่างจำเพาะดังนั้นการที่จะเลือกใช้สารด้านแบคทีเรียชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียที่ต้องการยับยั้งและต้องมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ได้ดีภายใต้สภาวะของอาหารภายในบรรจุภัณฑ์

2. การควบคุมการปลดปล่อยและกลไกการปลดปล่อยสารด้านแบคทีเรียในการออกแบบระบบการบรรจุแบบด้านแบคทีเรียจำเป็นต้องควบคุมการปลดปล่อยสารด้านแบคทีเรียและคำนึงถึงกลไกการเจริญของแบคทีเรีย เมื่ออัตราการเคลื่อนที่ของสารด้านแบคทีเรียจากภาชนะบรรจุไปยังอาหารเร็วกว่าอัตราการเจริญของแบคทีเรียจะทำให้สารด้านแบคทีเรียถูกทำลายก่อนอายุการเก็บรักษาอาหาร และสารด้านแบคทีเรียก็จะสูญเสียคุณสมบัติในการด้านแบคทีเรียไป เนื่องจากอาหารที่บรรจุมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณของวัสดุบรรจุและปริมาณของสารด้านแบคทีเรียแบคทีเรียจึงเริ่มเจริญเติบโตหลังจากการทำลายสารด้านแบคทีเรียในทางตรงกันข้ามเมื่ออัตราการปลดปล่อยสารด้านแบคทีเรียช้ากว่าอัตราการเจริญของแบคทีเรียแบคทีเรียก็สามารถเจริญเติบโตก่อนที่สารด้านแบคทีเรีย จะปลดปล่อยออกมา ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยสารต่อด้านแบคทีเรียจากวัสดุบรรจุไปยังอาหารจะต้องมีการควบคุมให้เข้ากับจลนพลศาสตร์การเจริญของแบคทีเรียของแบคทีเรียเป้าหมาย รูปที่ 2.14 ซึ่งในกรณีการบรรจุโดยการใส่สารด้านแบคทีเรียลงในฟิล์ม (A) และการเคลือบบนฟิล์ม (B) โดยมีการเคลื่อนที่ของสารจากภาชนะบรรจุไปยังอาหารในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง โดยระบบ A มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียบนพื้นผิวอาหาร ขณะที่ระบบ B มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียบนพื้นผิวของบริเวณที่มีการเคลือบ



รูปที่ 2.14 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของฟิล์มและสารเคลือบด้านแบคทีเรีย (Han, 2003)

3. ปฏิกริยาทางเคมีของสารเติมแต่งกับชั้นเมทริกของฟิล์มสารต้านแบคทีเรียที่เติมแต่งลงไป ในพอลิเมอร์ จะต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารนั้นๆด้วย นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุล ประจุ และความสามารถในการละลายของสารเติมแต่งจะมีผลต่ออัตราการแพร่ของพอลิเมอร์ด้วย และยังพบว่าสารเติมแต่ง (additives) อื่นๆที่เติมลงในพอลิเมอร์ อาจส่งผลกระทบต่อสารต้านแบคทีเรีย เนื่องจากสารเติมแต่งอาจจะเปลี่ยน โครงสร้างพอลิเมอร์หรือทำปฏิกริยากับสารต้านแบคทีเรีย เช่น เติมพลาสติกไซเซอร์ ลงในเซลลูโลสไตรอะซีเตทที่มีโรโซไซม์เป็นสารต้านแบคทีเรีย พบว่า ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง

4. ความสามารถในการละลายของสารต้านแบคทีเรียสู่อาหาร ความสามารถในการละลายของสารต้านแบคทีเรียต่ออาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญมากซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของสารจากวัสดุบรรจุไปยังอาหารดังรูปที่ 2.14 แบบจำลอง A แสดงสารต่อต้านแบคทีเรียที่ละลายอยู่ในอาหารได้สูง ทำให้ความเข้มข้นของสารต้านแบคทีเรียบนพื้นผิวอาหารสูง (CS) และความเข้มข้นบนพื้นผิวอาหารจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารภายในวัสดุบรรจุลดลงซึ่งลดลงต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วย ส่วนแบบจำลอง B แสดงความเข้มข้นของสารต้านแบคทีเรียบนพื้นผิวอาหาร ต่ำกว่าแบบ A แต่ความเข้มข้นบนพื้นผิวอาหารจะคงที่ซึ่งสามารถรักษา ระดับความสามารถในการต้านแบคทีเรีย เมื่อลดปริมาณของสารต้านแบคทีเรียในภาชนะบรรจุลง

บทที่ 3

อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 กระดาษกรองเบอร์ 4 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร (whatman)
- 3.1.2 กระจกบอทดวง
- 3.1.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) UV-2450, Shimadzu, Japan
- 3.1.4 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter) MP220, Mettler Toledo, Switzerland
- 3.1.5 เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)
- 3.1.6 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer LMS รุ่น VTX-3000L)
- 3.1.7 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporator)
- 3.1.8 เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)
- 3.1.9 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
- 3.1.10 เตาอบ (Hot Air Oven) ULM 500, Memmert, Germany
- 3.1.11 บีกเกอร์ (Beaker)
- 3.1.12 ไมโครปิเปต
- 3.1.13 ปากคืบ
- 3.1.14 ปั๊มแบบ Peristaltic (Peristaltic Pump) Watson Marlow, 505U, England
- 3.1.15 หลูป้ายเชื้อ
- 3.1.16 สำลีพันก้าน
- 3.1.17 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อโรต (Autoclave) SS-325, TOMY, Japan
- 3.1.18 พาราฟิล์ม (Parafilm)
- 3.1.19 หลอดทดลอง
- 3.1.20 จานเพาะเชื้อ (Petri dish) ขนาด 90x15 มิลลิเมตร
- 3.1.21 Vertical Laminar flow VS-124, ISSCO, U.S.A.
- 3.1.22 เครื่องเขย่าสารละลาย (Incubator shaker)

3.2 เคมีภัณฑ์

- 3.2.1 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) (Ajax Finechem, Australia)
- 3.2.2 โซเดียมอัลจินต
- 3.2.3 กลีเซอรอล
- 3.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.2.5 กรดซิตริก
- 3.2.6 เมทานอล (Methanol) (May & Baker, British)
- 3.2.7 ไดคลอโรมีเทน (Ethyl acetate) (May & Baker, British)
- 3.2.8 เฮกเซน (Hexane) (May & Baker, British)
- 3.2.9 อาหารวุ้นแข็ง Nutrient agar (Hi-media)
- 3.2.10 อาหารเหลว Nutrient broth
- 3.2.11 อาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด MEM egal
- 3.2.12 สารละลาย MTT (3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyl-tetrazolium bromide)
- 3.2.13 สารละลายไอโซโพรพานอล
- 3.2.14 ฟอลิน ซีโอแคลคูรีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu) (Carlo Erba Reactifs SA, France)
- 3.2.15 ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO)
- 3.2.16 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI)
- 3.2.17 เซรัมเลือดลูกวัว (Fetal bovine serum, FBS)
- 3.2.18 โซเดียมไพรูเวท (Sodium Pyruvate)
- 3.2.19 สเตรปโตมัยซิน (Streptomycin)
- 3.2.20 เพนิซิลิน (Penicillin)

3.3 แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 *Bacillus subtilis* ATCC 6633 จากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์ ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (ผวช. วว) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3.2 *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 จากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์ ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (ผวช. วว) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3.3 *Escherichia coli* ATCC 25922 จากคลังเก็บรักษาสายพันธุ์ ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (ผวช. วว) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.4 เซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.1 เซลล์ปอดของมนุษย์ (WI-38 human diploid lung fibroblasts)

3.5 สมุนไพรที่ใช้ในการทดสอบ

3.5.1 ใบจาก (ร้านเจ้ากรมเป็อ, กรุงเทพฯ)

3.5.2 สมอพิเภก (ร้านเจ้ากรมเป็อ, กรุงเทพฯ)

3.6 เมล็ดที่ใช้ในการสกัดแป้ง

3.6.1 เมล็ดขนุน

3.7 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.7.1 การสกัดสมุนไพร

นำสมุนไพรสมอพิเภกและใบจาก มาทำความสะอาดแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดเป็นผง แล้วทำการสกัดหยาบเป็นเวลา 3 วัน ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 ของสมุนไพรต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ (เฮกเซน ไคคลอโรมีเทน และเมทานอล) จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารสกัดที่ได้ระเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum evaporator) เติมน้ำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับให้สารสกัดมีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปใช้งาน

3.7.2 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสมุนไพรแต่ละชนิดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

การวัดค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกเป็นการวัดค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) ทำการวิเคราะห์ตามวิธี Folin Ciocalteu micro method โดยนำตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตรผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 1.58 มิลลิลิตร และ Folin ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมเข้าด้วยกัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 8 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมโบรไมด์ปริมาตร 300 ไมโครลิตรลงไปผสมเข้าด้วยกัน และปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกเพื่อหาค่าความเข้มข้นฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้

3.7.3 การเตรียมสารละลายเชื้อเข้มข้น

นำเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการเพาะในอาหารเหลวถ่ายลงในหลอดเลี้ยงเชื้อวันเอียง (Slant) 1 หลูป่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยสารละลายน้ำเกลือผสมซึ่งเตรียมได้จากสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1 มิลลิลิตร ผสมน้ำเกลือเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ 800 มิลลิลิตร ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เหยียงผสมให้เข้ากันแล้วดูดด้วยไมโครปิเปตปริมาตร 50 ไมโครลิตร ใส่ในขวดที่เตรียมน้ำเกลือไว้เรียบร้อยแล้ว 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ให้ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.004 ถึง 0.006 จะได้สารละลายเชื้อเข้มข้น 10^6 เซลล์ ส่วนการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ทำการชั่งโมโนโซเดียมฟอสเฟต 27.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และชั่งไดเบสิกโซเดียมฟอสเฟต 53.65 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายทั้งสองผสมกันในอัตราส่วน โมโนโซเดียมฟอสเฟต 39 มิลลิลิตร ต่อ ไดเบสิก-

โซเดียมฟอสเฟต 61 มิลลิกรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งได้สารละลายปริมาตร 200 มิลลิกรัม

3.7.4 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

3.7.4.1 การทดสอบด้วยวิธี Disc diffusion method

ใช้สำลีพันปลายไม้จุ่มเชื้อพอเปียกแล้ว swab เชื้อลงบนผิวอาหารเลี้ยงเชื้อวันแข็ง จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารสกัดสมุนไพรมีปริมาตร 50 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาวางบนจานเพาะเชื้อโดยทำการทดลองซ้ำเช่นนี้ 3 ครั้ง แล้วนำจานเพาะเชื้อไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตผลการทดลองโดยดูลักษณะและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส (clear zone) ที่เกิดขึ้น

3.7.4.2 การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) ของสารสกัดสมุนไพรร

นำเชื้อแบคทีเรียที่บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาปรับความขุ่นในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่ปราศจากเชื้อ จนมีความขุ่นเท่ากับสารละลายมาตรฐาน 0.5 Mc farland และเตรียม 2-fold serial dilution โดยนำหลอดทดลองขนาดเล็กมา 10 หลอด ใช้ปิเปตดูดอาหาร TSB ใส่ในหลอดที่ 2 จนถึงหลอดที่ 10 ปริมาณหลอดละ 1 มิลลิกรัม ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อโรค อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นใช้ปิเปตดูดสารสกัดสมุนไพรรที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ใส่ในหลอดที่ 1 และหลอดที่ 2 ปริมาณหลอดละ 1 มิลลิกรัม เขย่าหลอดที่ 2 ให้สารสกัดจากสมุนไพรรรวมตัวกับอาหาร TSB จากนั้น ใช้ปิเปตดูดสารในหลอดที่ 2 ไปใส่ในหลอดที่ 3 ปริมาตร 1 มิลลิกรัม เขย่าหลอด และทำเงื่อจางต่อไปจนถึงหลอดที่ 9 จากนั้น ใช้ปิเปตดูดสารจากหลอดที่ 9 เขย่าแล้วทิ้งไป 1 มิลลิกรัม หลอดที่ 10 เป็นหลอดที่มีเฉพาะอาหาร TSB ใช้เป็นหลอดควบคุม ใช้ปิเปตดูดเชื้อที่เตรียมไว้ใส่ในหลอดทดลอง หลอดที่ 1 ถึง 10 หลอดละ 1 มิลลิกรัม นำไปบ่มเพาะในตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รายงานผลจากความขุ่นของการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในหลอดทดลอง ความเข้มข้นของหลอดทดลองสุดท้ายที่เชื้อไม่สามารถเจริญได้ คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

3.7.5 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์โดยเทคนิค MTT assay

การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดโดยใช้เซลล์ชนิด WI-38 ใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด Modified Eagles Medium (MEM) ในการทดสอบโดยเตรียมเซลล์ที่ความเข้มข้น 10^4 เซลล์ ต่อ 1 well plate เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา

24 ชั่วโมง จากนั้นดูดเอาอาหารเลี้ยงเซลล์ออกและเตรียมสารสกัดที่ความเข้มข้น (ปรับความเข้มข้นด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์) เติมนลงใน well plate หลุมละ 100 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมสารละลาย MTT ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร บ่มไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นดูดเอาสารละลายใน well plate ออกและเติม 0.04 N HCl-isopropanol และเขย่าให้ผลึก Formazan ละลายได้ดี ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

3.7.6 การสกัดแป้งจากเมล็ดขนุนโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Rengsutthi และ Charoenrein (2011)

นำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง ลอกเปลือกสีขาวออก นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที นำเมล็ดขนุนล้างน้ำกลั่นให้สะอาด และลอกเยื่อสีน้ำตาลออก แล้วหั่นเป็นแผ่นบาง อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 นำเมล็ดที่แห้งเข้าเครื่องบด (Hammer Mill) และร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท กำหนดปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้ง (% yield) โดยเทียบกับน้ำหนักของเมล็ดขนุนเริ่มต้น

3.7.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งเมล็ดขนุน ตามมาตรฐาน AACC (2000)

3.7.7.1 ปริมาณความชื้น

อบภาชนะใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนชั่งตัวอย่างในภาชนะใส่ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม นำไปใส่ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเปิดฝาภาชนะไว้ เมื่อครบเวลาแล้วนำออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะและนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทันที ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง (ปกติ 45-60 นาที) แล้วจึงนำไปชั่ง กำหนดปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

3.7.7.2 ปริมาณอะไมโลส

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาดเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อให้แป้งกระจายตัวออกจากกัน เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอลจำนวน 9 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตรและผสมให้เข้ากัน ดูดแป้งปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นความเข้มข้น 1 นอร์มอลจำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100

มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที ทำแบลนค์ (blank) โดยนำขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรมาเติมกรดแอสซิติคความเข้มข้น 1 นอร์แมล จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย ไอโอดีน 2 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณอะไมโลสโดยนำไป เทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.7.7.3 ปริมาณโปรตีน

ชั่งตัวอย่างแป้ง 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงไปในหลอดย่อย ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่ง ประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัมและคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุด เครื่องย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือ เติมน้ำเป็น 3 เท่าของกรด) นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลรองรับสิ่งกลั่นด้วยขวด รูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยกลั่นประมาณ 5 นาทีนำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้ สารละลายสีเทาน้ำหนักปริมาณกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของไนโตรเจน

3.7.7.4 ปริมาณไขมัน

อบถ้วยสำหรับการทดลองทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักไว้ (W_1) จากนั้นชั่ง ตัวอย่างแป้ง 2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด บนถ้ำน้ำหนักตัวอย่างที่ แนนอน (W_2) แล้วนำมาใส่ลงใน thimble นำใส่ใน extraction unit แล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร ลงในถ้วยและนำเข้าไปในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 20 นาที และทำการชะล้างเป็นเวลา 45 นาที นำถ้วยไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป ทิ้งถ้วยให้เย็นในเดซิเคเตอร์และนำไปชั่งน้ำหนัก (W_3) และสามารถคำนวณปริมาณไขมัน

3.7.7.5 ปริมาณเถ้า

เผาเบ้าในเตา muffle furnace ทิ้งไว้ให้เย็นเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นชั่ง น้ำหนักตัวอย่างแป้ง 5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในเบ้าแล้วนำไปเผาในเตา muffle furnace ด้วยไฟ อ่อน ๆ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกว่าได้เถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทา นำเบ้าออกมาใส่ในเดซิเค- เตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเถ้า

3.7.7.6 ปริมาณเส้นใย

ซึ่งตัวอย่างแบ่ง 3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) เดิมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.255 นอร์แมล ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ เพื่อทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาทีหยุด anti-forming (n-Octanol) 2-3 หยดลงในคอลัมน์ ทำการดูดสารละลายออกจากคอลัมน์และเปิดก๊อกน้ำเพื่อให้เกิด vacuum จากนั้น suction จนกรดซัลฟิวริกหมดจากคอลัมน์ เติมน้ำเดือด (น้ำกลั่น) เพื่อล้างกรดให้หมด เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.313 นอร์แมลปริมาณ 200 มิลลิลิตร เพื่อทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที ทำการ vacuum suction จนโซเดียมไฮดรอกไซด์หมดจากคอลัมน์ เติมน้ำเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้หมด นำเบ้า (crucible) พร้อมตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและเบส ไปอบที่อุณหภูมิ 105 -110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จนน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม

3.7.7.7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยคำนวณจากผลต่างคือ

ร้อยละคาร์โบไฮเดรต = $100 - (\text{ร้อยละโปรตีน} + \text{ร้อยละไขมัน} + \text{ร้อยละเถ้า} + \text{ร้อยละเส้นใย})$

3.7.8 การเตรียมฟิล์มจากอัลจินेट

นำผงอัลจินेटร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ละลายในน้ำกลั่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลาจนละลายเข้ากันหมด แล้วตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกลีเซอรอลลงไปปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก กวนทิ้งไว้ 60 นาทีแล้วนำสารละลายเทลงเพลทพลาสติกกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) 20 กรัม นำเข้าอบที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลทพลาสติก นำไปผ่านการคอสติงค์ โดยการนำไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลายเป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำไปตั้งให้แห้งและเก็บไว้ในถุงซิปล็อค ใส่ในโถดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60

3.7.9 การเตรียมแผ่นฟิล์มจากแป้งเมล็ดขนุน

นำแป้งเมล็ดขนุนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดซิตริก 0.5 โมลลาร์ ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของน้ำแห้งแบ่ง นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กวนทิ้งไว้จนเป็นเจล ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก กวนทิ้งไว้ 60 นาที แล้วนำสารละลายฟิล์มที่ได้เทลงเพลทพลาสติกกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) 20 กรัม นำเข้าอบที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลทพลาสติกเก็บไว้ในถุงซิปล็อค ใส่ในโถดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60

3.7.10 การเตรียมฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

เตรียมฟิล์มโดยตัดแปลงวิธีของ Franklin และคณะ (2004) โดยเตรียมสารละลายที่อัตราส่วนระหว่างอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนร้อยละ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลาย พร้อมทั้งกวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กวนทิ้งไว้จนเป็นเจล ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก กวนทิ้งไว้ 60 นาที แล้วนำสารละลายฟิล์มที่ได้เทลงเพลทพลาสติกกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) 20 กรัม นำเข้าอบที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลทพลาสติกเก็บไว้ในถุงซิปล็อค ใส่ในโถดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60

3.7.11 การเตรียมฟิล์มใส่สารสกัดสมุนไพรด้านแบคทีเรีย

เตรียมฟิล์มตามข้อ 3.7.8 - 3.7.10 แต่เพิ่มเติมโดยใส่สารสกัดสมอพิเภก (*Terminalia bellerica Roxb*) ที่ความเข้มข้น 0.3 มก./มล. หรือ สารสกัดใบจาก (*Nypa fruticans Wurmb*) ที่ความเข้มข้น 0.3 มก./มล. ปริมาณ 5 10 และ 15 กรัมต่อสารละลายฟิล์ม 100 มิลลิลิตร กวนทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้เทลงเพลทพลาสติกกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) 20 กรัม นำเข้าอบที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลทพลาสติกเก็บไว้ในถุงซิปล็อค ใส่ในโถดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ก่อนนำเข้าตู้กระบวนการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

3.7.12 การศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม จากค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength; TS) และค่าการยืดที่จุดขาด (Elongation at break; E)

ศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชนิดต่างๆ โดยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น Hounsfield H 10 KM (อังกฤษ) ตามมาตรฐาน ASTM D 882-97 method (ASTM, 1991) ที่โหลดเซลล์ขนาด 1 กิโลนิวตัน โดยเตรียมตัวอย่างชิ้นงานในการทดสอบให้มีขนาด 1x10 เซนติเมตร โดยนำไปไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นาน 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบโดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้สอดเข้าไปในตัวหนีบทั้งด้านบนและด้านล่างแล้วหมุนตัวหนีบให้มีการจับยึดกับชิ้นงานตัวอย่างให้แน่นเพื่อไม่ให้แผ่นฟิล์มหลุดระหว่างการวิเคราะห์ ให้มีระยะห่างระหว่างตัวหนีบเท่ากับ 10 เซนติเมตร และมีค่า cross-head 50 มิลลิเมตรต่อนาที หลังจากนั้นวิเคราะห์โดยการให้หัวหนีบด้านบนเคลื่อนที่และบันทึกแรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างขาดออกจากกัน เพื่อรายงานผลเป็นค่าต้านทานแรงดึงขาด และค่าการยืดตัว

3.7.13 การวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม

การวัดความหนาของแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่อง precision digital micrometer (Mitutoyo Corporation, ญี่ปุ่น) ทำการสุ่มวัดห้าจุด จากนั้นนำมาหาเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าความหนาของแผ่นฟิล์ม

3.7.14 การศึกษาการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม (Film solubility; FS)

นำตัวอย่างแผ่นฟิล์มชนิดต่างๆขนาด 20x20 มิลลิเมตร อบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดน้ำหนักแห้งเริ่มต้น จากนั้นนำตัวอย่างฟิล์มแห้งใส่ในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วนำไปใส่ในเครื่องเขย่าสารละลาย ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 130 รอบต่อ นาที 24 ชม. แล้วนำมากรองเอาน้ำออกนำแผ่นฟิล์มไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชม.อีกครั้งและนำไปวัดน้ำหนักแห้งหลังการทดสอบโดยทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยนำค่าน้ำหนักแต่ละครั้งมาคำนวณหาร้อย ละการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม

3.7.15 การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นฟิล์มที่ใส่สารสกัดจากสมุนไพร

ทดสอบด้วยวิธี Agar diffusion method ใช้สำลีพันก้านจุ่มเชื้อพอเปียกแล้ว swab เชื้อลงบน ผิวนอาหารวุ้นแข็ง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่บรรจุสารสกัดจากสมุนไพรที่ความเข้มข้นต่างๆใน แผ่นฟิล์มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำมาวางบนจานเพาะเชื้อ โดย ทำการทดลองเช่นนี้ 3 ซ้ำ แล้วนำจานเพาะเชื้อไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 24 ชั่วโมง สังเกตผลการทดลองโดยดูลักษณะ inhibition zone และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง บริเวณวงใสที่เกิดขึ้น

3.7.16 การศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นบรรจุภัณฑ์ (Control release)

ศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดของฟิล์มตัวอย่างที่มีการใส่สารสกัด โดยนำตัวอย่างฟิล์มมา ใส่ในขวดรูปชมพู่ ใส่น้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร ดูดน้ำกลั่นขึ้นมาเพื่อวัดความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารสกัดที่มีการปลดปล่อยออกมาโดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น UV-2450 (Shimadzu, โตเกียว, ญี่ปุ่น) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นปิดฝาขวดรูปชมพู่แล้วนำไปใส่ในเครื่อง เขย่า ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 150 รอบต่อนาที โดยดูดน้ำกลั่นในขวดรูปชมพู่มาวัดค่าการ ดูดกลืนแสงทุกๆ 2 ชั่วโมง จนครบ 48 ชั่วโมง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก เพื่อนำมาใช้คำนวณหาร้อยละการปลดปล่อยของสารสกัดที่ออกมา จากแผ่นฟิล์ม

บทที่ 4

ผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณผลได้และองค์ประกอบของแป้งเมล็ดขนุน

จากการทดลองการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน ได้ปริมาณแป้งดิบ (flour) 24.67 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ได้รายงานว่ เมล็ดขนุนมีปริมาณแป้งดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 16.9 ถึง 26.13 ของน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้ง (Rengsutthi และ Charoenrein , 2011 ; Tongdang , 2008 ; Kittipongpatana, 2011)

เมื่อนำแป้งดิบที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพตามมาตรฐาน AACC (2000) ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 90.93 รองลงมาคือโปรตีน (ร้อยละ 4.53) และไขมัน (ร้อยละ 2.09) นอกจากนี้ยังพบว่า ในคาร์โบไฮเดรตที่ได้ มีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 38.50

เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ ซึ่งได้แสดงผลดังตารางที่ 4.2 พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของขนุน แหล่งเพาะปลูก และวิธีการผลิตแป้งที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ของแป้งดิบเมล็ดขนุนตามมาตรฐาน AACC (2000)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
โปรตีน	4.53
ไขมัน	2.09
เส้นใย	1.59
เถ้า	0.86
คาร์โบไฮเดรต	90.93
อะไมโลส	38.50
ความชื้น	7.60
ฟิเอส	6.85

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ

คณะผู้วิจัย	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน (ร้อยละ)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
Tulyathan และ คณะ (2002)	8.57	11.17	0.99	3.92	1.67	82.25
Mukprasirt และ Sujjaanantakul (2004)	6.34	11.83	2.19	3.74	-	-
Rengsutthi และ Charoenrein(2011)	9.59	0.09	0.03	0.04	0.17	90.08
งานวิจัยนี้	7.60	4.53	2.09	0.86	1.59	90.93

4.2 ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากสมุนไพรไทย

4.2.1 ผลการศึกษาปริมาณสารสกัดหยาบของสมุนไพรไทย

สมุนไพรที่ทำการศึกษา คือ สมอพิเภกและใบจาก เมื่อทำการสกัดสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยเรียงลำดับความมีขั้วจากตัวทำละลายมีขั้ว (polar solvent) สูง จนถึงตัวทำละลายไม่มีขั้ว (non-polar solvent) คือ เมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสมุนไพร 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำการระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จะได้สารสกัดหยาบน้ำตาลแดง ไปจนถึงสีเหลือง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ที่แสดงค่าผลได้สารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ของสมอพิเภกและใบจาก

ปริมาณของค่าผลได้สารสกัดหยาบของการสกัดสมอพิเภกด้วยเมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน มีค่าผลได้สารสกัดหยาบเท่ากับ 72.840, 9.100 และ 4.950 เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งสมุนไพรตามลำดับ

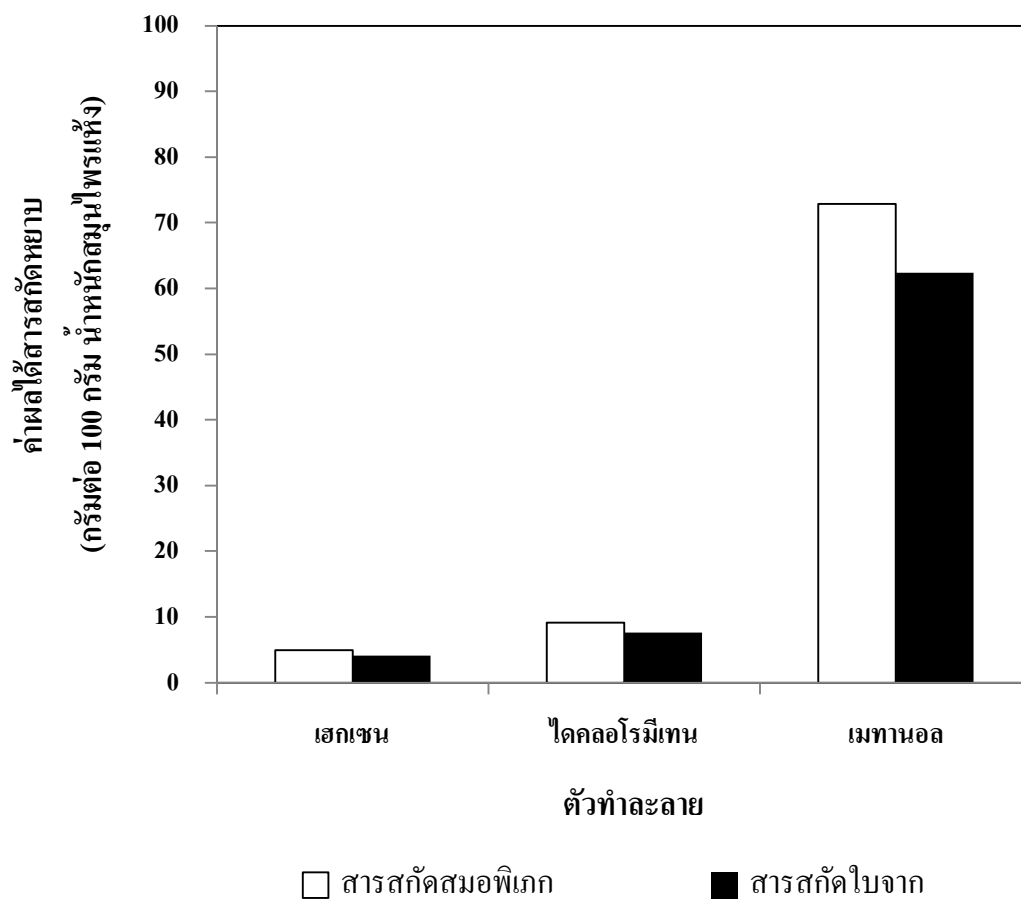
ส่วนการสกัดใบจากด้วยเมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน พบว่า มีค่าผลได้สารสกัดหยาบเท่ากับ 62.340, 7.650 และ 4.130 เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งสมุนไพรตามลำดับ

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือไดคลอโรมีเทน ส่วนเฮกเซน ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขี้้น้อยหรือไม่มีขี้้นั้นมีประสิทธิภาพการสกัดได้ต่ำที่สุด จึงให้ค่าผลได้สารสกัดเพียงร้อยละ 4- 5 เนื่องจาก สารประกอบอินทรีย์ในพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายยาวมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีขี้้น ดังนั้นจึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายเมทานอล

จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruangnoo (2006) ได้รายงานผลการสกัดหยาบของสารสกัดสมอพิเภกโดยใช้ตัวทำละลายคือ น้ำและเอทานอลได้ปริมาณร้อยละผลได้ของสารสกัดหยาบ 27.13 และ 27.80 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งปริมาณร้อยละผลได้ของสารสกัดหยาบมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ อาจมีสาเหตุมาจากระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดและชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

งานวิจัยของ Sun และ Ho (2005) ได้ทำการสกัด *Fagopyrum esculentum* โดยเรียงลำดับความมีขี้้นของตัวทำละลาย พบว่า ตัวทำละลายเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด สามารถสกัดสารได้ร้อยละผลได้ 32.60 โดยน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าการใช้ตัวทำละลายเอทานอล และบิวทานอลสกัด

นอกจากนี้ในการสกัดสมุนไพรเบื้องต้นนิยมใช้แอลกอฮอล์ร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย โดยที่ใช้กันมากคือ เมทานอลและเอทานอล ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำละลายได้ทั้งสารที่มีขี้้นและไม่ขี้้น และยังใช้ทำลายเอนไซม์ในพืชได้ (นันทวัน, 2536)



รูปที่ 4.1 ค่าผลได้สารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 กรัม สมุนไพรแห้งต่อมิลลิลิตรตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสมุนไพร

ทำการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดหยาบของสมอพิเภกและใบจากที่ได้ นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ได้ดังผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2

จากการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดที่ได้มีค่าตั้งแต่ 0.812 ถึง 24.450 กรัม ต่อ 100 กรัมสารสกัดหยาบ

ในสารสกัดหยาบสมอพิเภก ที่ได้จากการด้วยตัวทำละลายเมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 24.450 11.894 และ 0.852 กรัมต่อ 100 กรัมสารสกัดหยาบ ตามลำดับ สำหรับสารสกัดหยาบจากใบจาก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 17.148, 9.306 และ 0.811 กรัมต่อ 100 กรัมสารสกัดหยาบ ตามลำดับ

จากผลที่ได้ แสดงให้เห็นว่า เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก รองลงมาคือ ไดคลอโรมีเทน ส่วนเฮกเซนมีประสิทธิภาพในการสกัดได้น้อยที่สุด ดังนั้น สารประกอบหลักที่พบในสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก จึงเป็นจึงเป็นกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก

Walter และคณะ (1979) ได้รายงานว่ สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพความเป็นขั้วสูง

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้รายงานถึงการนำสารประกอบฟีนอลิกไปใช้ทดสอบกับแบคทีเรีย พบว่า มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ดี (Zivanovic และคณะ, 2005) รวมทั้งยังเป็นฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยมักพบสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลบนวงเบนซีน (Hu และ Kitts, 2000) ซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอน หรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้ช่วยยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

4.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากสมุนไพร

4.3.1 ผลของฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากสมุนไพรด้วยวิธี Disc diffusion method

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก ซึ่งสกัดได้จากตัวทำละลายเมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร ต่อเชื้อ *E.coli* *B.subtilis* และ *S.aureus* ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

สารสกัดสมอพิเภกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียสูง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยของสารสกัดจากตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วง 7.06 – 23.00 มิลลิเมตร (รูป

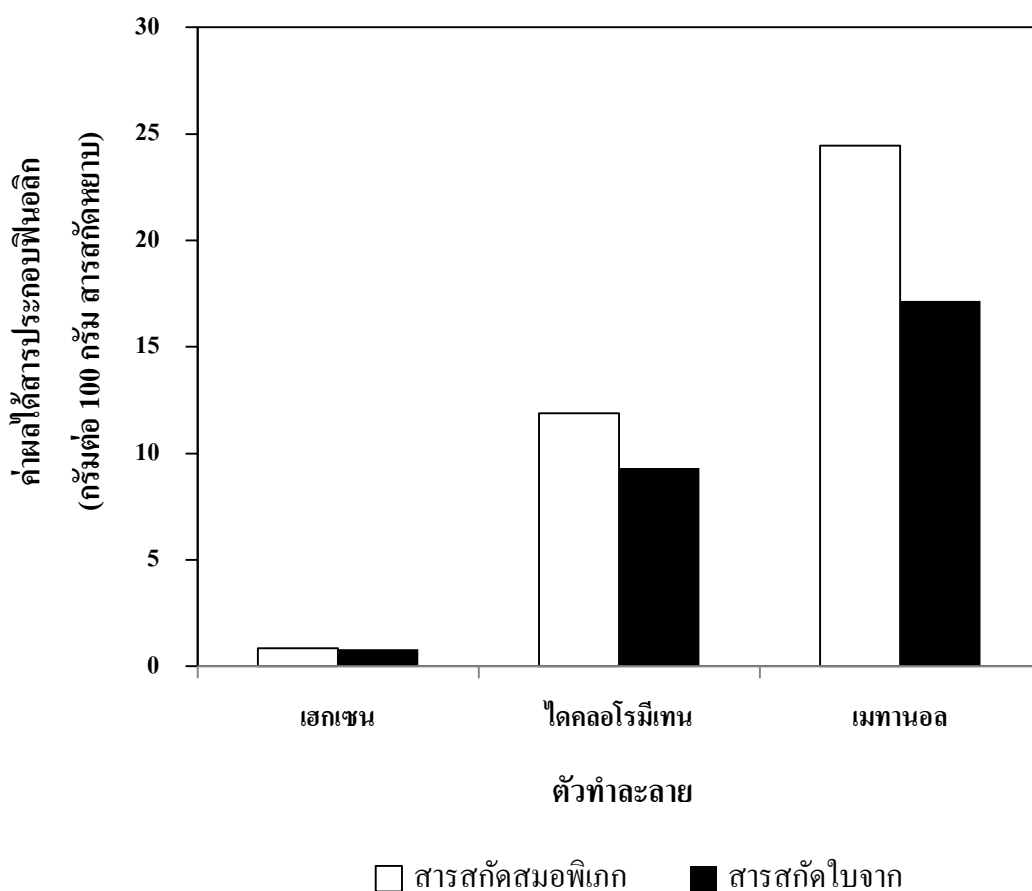
ที่ 4.3) โดยสารสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล มีผลยับยั้งแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน ส่วนสารสกัดด้วยเฮกเซน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกันระหว่างชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรีย พบว่า สารสกัดจากสมอพิเภกจากตัวทำละลายทุกชนิด สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ส่วนการยับยั้งในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวกเดียวกัน พบว่า มีฤทธิ์ยับยั้งต่อ *B. subtilis* และ *S. aureus* ได้ใกล้เคียง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา โดย Ahmad (1998) ได้รายงานการยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่มีต่อเชื้อ *B. subtilis*, *E. coli* และ *S. aureus* พบว่า สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 3 ชนิด และงานวิจัยของ Vudhivanich (2004) ได้ทำการสกัดสารจากสมอพิเภกด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *Erwinia carotovora subsp. Carotovora* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคน้ำเสี้ยวของผัก พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการยับยั้งแบคทีเรียที่เกิดขึ้นแปรผันตามชนิดและระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากพืช

สารสกัดใบจากมีประสิทธิมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียสูง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยของสารสกัดจากตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วง 7.50 – 21.60 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.3) โดยสารสกัดด้วย ตัวทำละลายเมทานอล มีผลยับยั้งแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน ส่วนสารสกัดด้วยเฮกเซน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกันระหว่างชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรีย พบว่า สารสกัดจากใบจากที่ได้ตัวทำละลายทุกชนิด สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ส่วนการยับยั้งในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวกเดียวกัน พบว่า มีฤทธิ์ยับยั้งต่อ *B. subtilis* ได้ดีกว่า *S. aureus*

Petti และ Scully (2009) ได้รายงานถึงสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งจากพืชสมุนไพร จะเข้าไปควบคุมการสร้างโคโลนีของแบคทีเรียและขัดขวางการละลายของชั้นไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและลดความรุนแรงของแบคทีเรียได้

สำหรับกลไกในการออกฤทธิ์ของสารประกอบฟีนอลิก จะเกิดจากการที่สารเข้าไปทำลายฟอสโฟลิปิดบนเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้มาก และไฮโดรฟอสซิลเกิด การรบกวน เป็นสาเหตุให้เกิดการปลดปล่อยองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ หรือทำให้เกิดการตกตะกอนของสารในไฮโดรฟอสซิล อีกทั้งยังรบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่สร้างพลังงานและสังเคราะห์องค์ประกอบของเซลล์ (Burt, 2004)

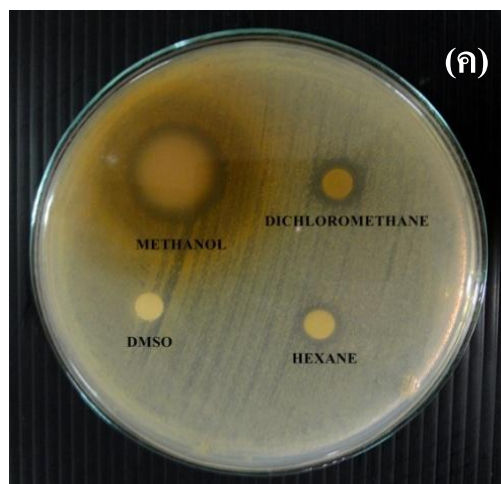
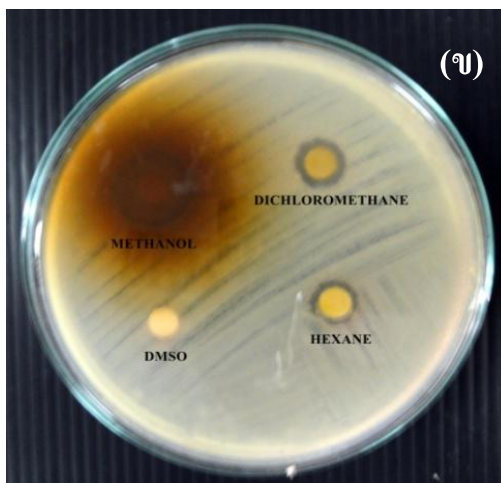
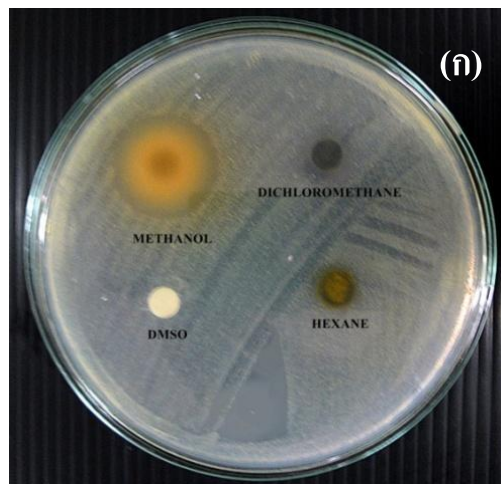
นอกจากนี้สารสกัดชนิดเดียวกันอาจมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ใช้และอัตราส่วนของสารประกอบที่ออกฤทธิ์ (Active compounds) รวมทั้งความแตกต่างของพันธุ์พืช แหล่งที่ทำการเพาะปลูก ตลอดจนสภาวะการแปรรูปและการเก็บรักษา (Zivanovic และคณะ, 2005)



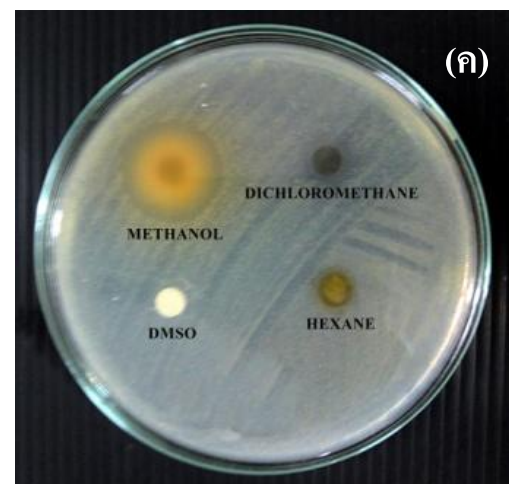
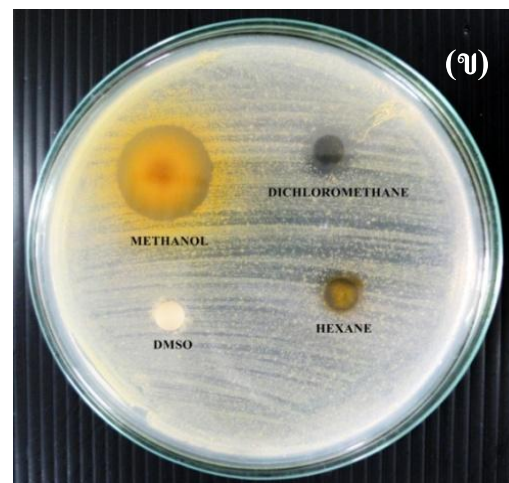
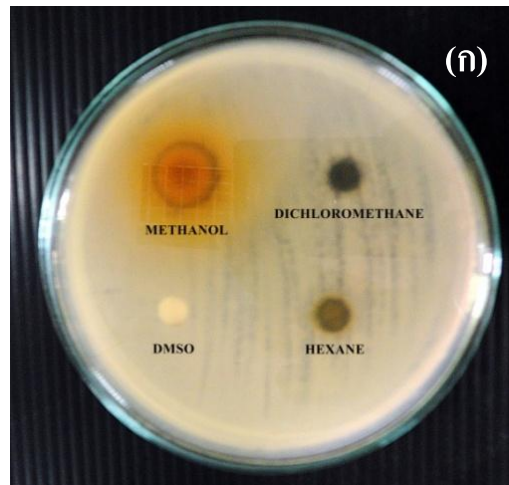
รูปที่ 4.2 ค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการสกัดสมุนไพรด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 สมุนไพรแห้งต่อมิลลิลิตรตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

สมุนไพร	ตัวทำละลาย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร)± S.D.		
		<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>S. aureus</i>
ใบจาก	เมทานอล	15.00±0.10	17.60±0.35	21.60±0.05
	ไดคลอโรมีเทน	8.50±0.05	10.30±0.15	12.80±0.07
	เฮกเซน	7.50±0.05	8.00±0.73	9.00±0.10
สมอพิเภก	เมทานอล	14.66±0.06	23.00±0.10	22.06±0.11
	ไดคลอโรมีเทน	9.43±0.04	12.20±0.02	11.70±0.06
	เฮกเซน	7.06±0.03	9.40±0.50	9.56±0.05



รูปที่ 4.3 ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่มีผลต่อเชื้อ *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



รูปที่ 4.4 ภาพที่ยังเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดใบจากที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่มีผลต่อเชื้อ *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)

4.3.2 ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) ของสารสกัดจากสมุนไพรไทย

จากการทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก ด้วยวิธี Disc diffusion method พบว่า สารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้แตกต่างกัน โดยสารสกัดสมอพิเภกและใบจากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดได้ดีที่สุด โดยนำสารสกัดทั้ง 2 ชนิดที่สกัดด้วยตัวทำละลายดังกล่าวมาหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย

การศึกษากิจกรรมของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* ในหลอดทดลองโดยวิธี broth dilution method ตั้งแต่ความเข้มข้น 2.5 – 0.0049 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถยับยั้งเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

สารสกัดสมอพิเภกมีความสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อมีค่าเท่ากับ 0.312, 0.156 และ 0.156 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดสมอพิเภกสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Elizabeth (2005) พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมอพิเภกที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีค่าเท่ากับ 0.250 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

สารสกัดใบจากมีความสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อมีค่าเท่ากับ 0.312, 0.156 และ 0.156 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดสมอพิเภกสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียระหว่างแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ พบว่า แบคทีเรียแกรมบวกมีความไวต่อสารต้านเชื้อแบคทีเรียมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ คือ เปปทิโดไกลแคน เหมือนกัน แต่แบคทีเรียแกรมลบมีเปปทิโดไกลแคนที่บางกว่า และยังมีผนังเซลล์ชั้นนอกซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม Lipopolysaccharide (LPS) เพิ่มขึ้นอีกชั้น ทำให้สามารถกั้นโมเลกุลของสารต้านแบคทีเรียไม่ให้ผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียได้ง่าย ทำให้ผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีความแข็งแรงกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมอพิเภกด้วยเมทานอลยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเข้มข้น 10^6 เซลล์ ใน 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัด 1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	เชื้อแบคทีเรีย		
	<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>S. aureus</i>
2.5000	-	-	-
1.2500	-	-	-
0.6250	-	-	-
0.3125	-	-	-
0.1563	+	-	-
0.0781	+	+	+
0.0391	+	+	+
0.0195	+	+	+
0.0098	+	+	+
0.0049	+	+	+

หมายเหตุ - คือ ไม่พบเชื้อเจริญเติบโต , + คือ พบเชื้อเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.5 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดสมอใบจากด้วยเมทานอลยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเข้มข้น 10^6 เซลล์ ใน 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัด 1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	เชื้อแบคทีเรีย		
	<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>S. aureus</i>
2.5000	-	-	-
1.2500	-	-	-
0.6250	-	-	-
0.3125	-	-	-
0.1563	+	-	-
0.0781	+	+	+
0.0391	+	+	+
0.0195	+	+	+
0.0098	+	+	+
0.0049	+	+	+

หมายเหตุ - คือ ไม่พบเชื้อเจริญเติบโต , + คือ พบเชื้อเจริญเติบโต

4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากด้วยวิธี MTT assay โดยทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ไลน์ชนิด WI-38 ซึ่งเป็นเซลล์ human diploid lung fibroblasts ความเข้มข้น 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเซลล์ MEM Eagle ทำการทดสอบกับสารสกัดจากสมอพิเภกและใบจากที่ได้จากตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้นสารสกัด 0.002 ถึง 15.811 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ต่อความมีชีวิตของเซลล์ WI-38 จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่า IC_{50} (Inhibition concentration) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นสารสกัดที่ทำให้ความมีชีวิตของเซลล์ WI-38 ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับสภาวะปกตินั้นค่า IC_{50} ของสารสกัดสมอพิเภก) และใบจากมีค่าเป็น 1.48 ± 0.10 และ 2.228 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงว่าสารสกัดสมอพิเภกมีความเป็นพิษต่อเซลล์มากกว่าสารสกัดใบจาก

เนื่องจาก MTT assay เป็นการทดสอบการทำงานของเซลล์จาก ความสามารถในการทำงานของไมโทคอนเดรียในการรีดิวซ์สาร 3-[4, 5-dimethylthiazol-2-yl]-2, 5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) ในเซลล์ที่มีชีวิตนั้น ไมโทคอนเดรียมีการทำงานปกติทำให้เอนไซม์ dehydrogenase และ cofactor ที่อยู่ในไมโทคอนเดรียมีการรีดิวซ์สาร MTT ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ formazan ที่มีสีม่วง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงของเซลล์ที่มีชีวิตมีค่าสูง ส่วนเซลล์ที่ตายแล้วจะไม่สามารถรีดิวซ์ MTT ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ formazan ได้ จึงมีลักษณะใสไม่มีสี และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำกว่า โดยค่าความเข้มข้นของสีที่ได้จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่

จากงานวิจัยของ Siti และคณะ (2011) ได้รายงานว่ สารสกัดใบจากไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ผิวหนังของมนุษย์ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* *B.subtilis* และ *S.aureus* ได้ถึงร้อยละ 38 27 และ 19 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปากมดลูกได้ จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในทางการแพทย์

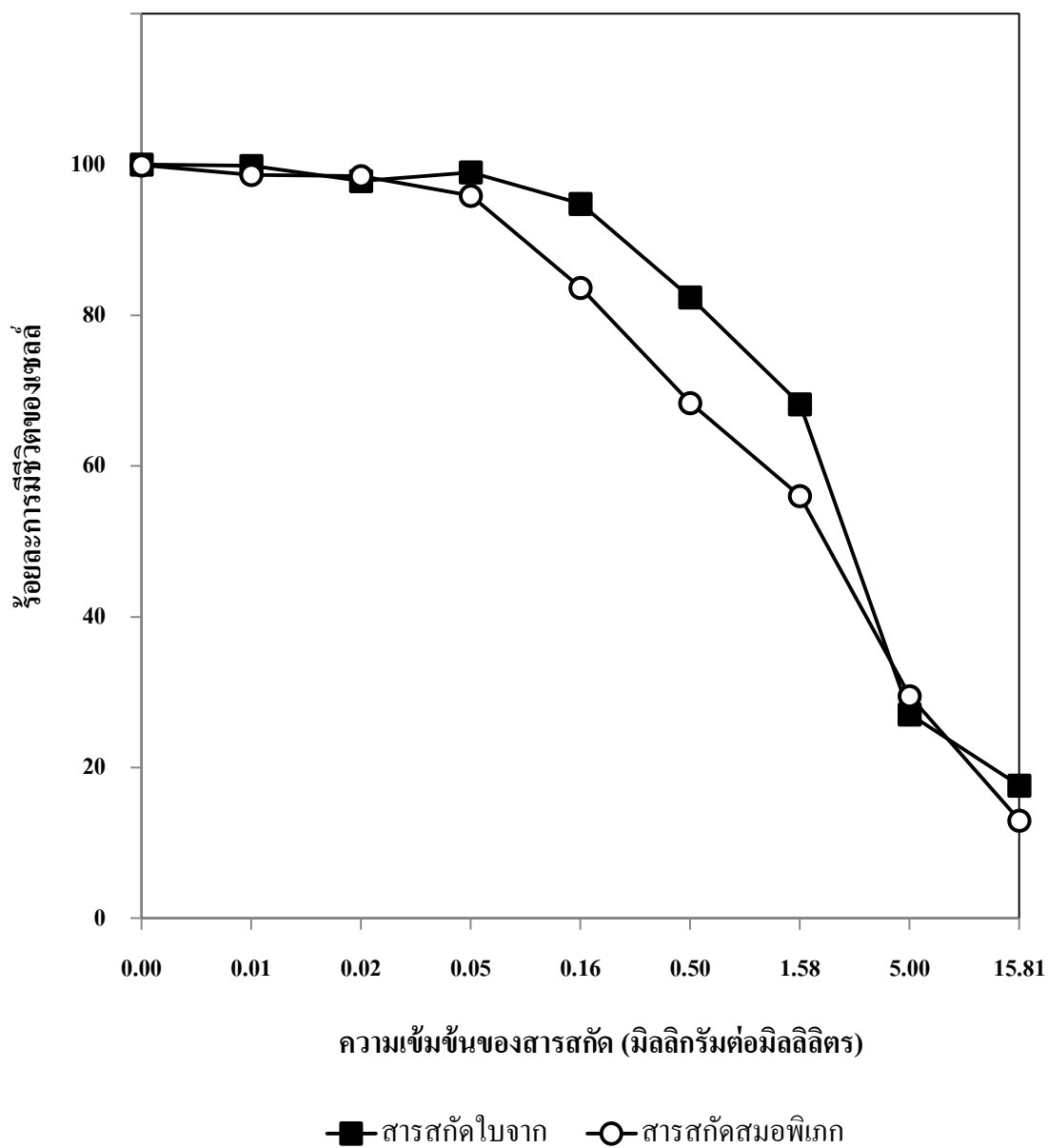
Sabu และ Kuttan (2009) ได้รายงานว่ สารสกัดสมอพิเภกจากเมทานอลประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อทำการทดสอบให้หนูทดลองกินพบว่าไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกายของหนู รวมทั้งสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ของหนูได้

ในรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงลักษณะของเซลล์ WI-38 ซึ่งทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ไม่มีสารสกัดและเมื่อป่มเลี้ยงกับสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเซลล์ปกติ (รูปที่ 4.6 (ก), 4.7 (ก)) มีความหนาแน่นของเซลล์มาก มีลักษณะวาวใสและเกาะแผ่ เจริญได้ดี

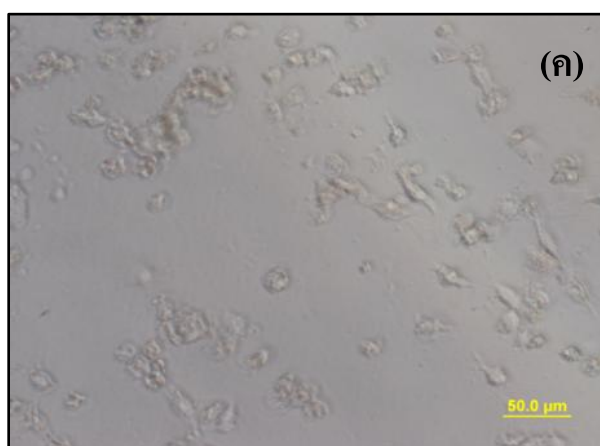
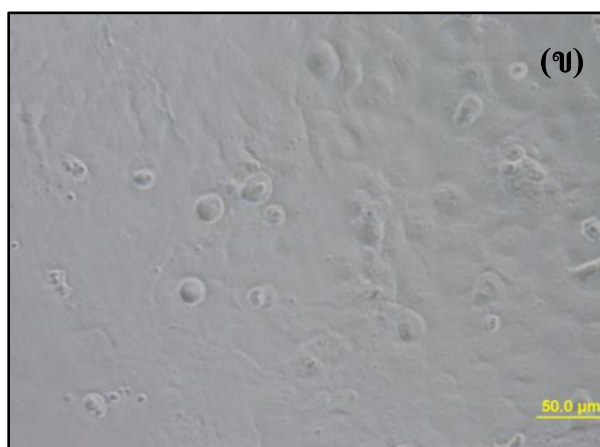
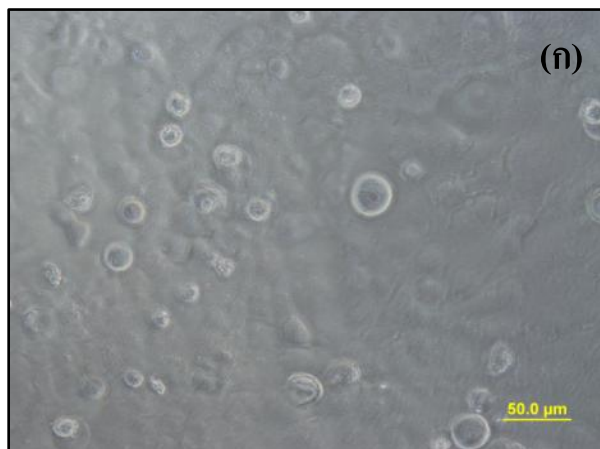
เมื่อนำเซลล์มาป่มเลี้ยงในอาหารที่มีการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.6 (ค), 4.7 (ค)) พบว่าเซลล์มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีการบวมพอง

เกิดขึ้น ทำให้มีขนาดเซลล์ใหญ่กว่าปกติ ในบางเซลล์มีการแตกสลายทำให้องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ออกมาภายนอก เกิดการยุบของผนังเซลล์ รวมทั้งสารพันธุกรรมภายในนิวเคลียสเกิดการจับตัวหนาขึ้น โดยมีค่าร้อยละการอยู่รอดของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากเป็น 98.85 และ 99.81 ตามลำดับ

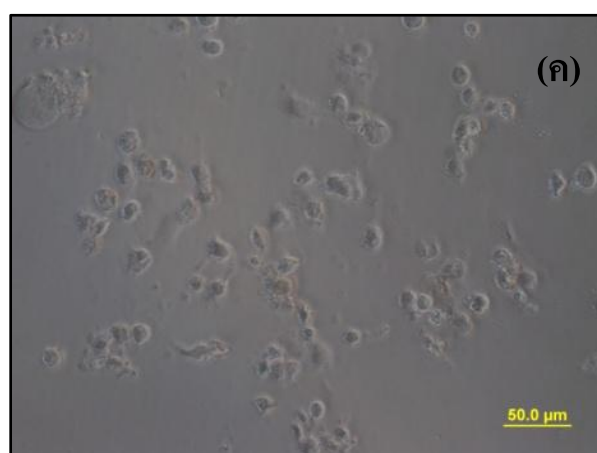
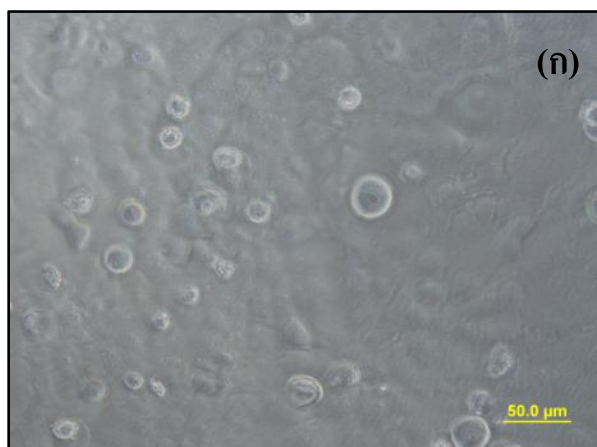
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.6 (ข), 4.7 (ข)) พบว่า เซลล์ส่วนใหญ่มีการแตกสลายของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานะที่มีการใช้สารสกัดสมอพิเภกเมื่อทำการวัดเปอร์เซ็นต์การอยู่รอด พบว่าเซลล์มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเพียง 21.12 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้สารสกัดสารสกัดใบจาก มีค่าเท่ากับ 27.07 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า สารสกัดสมอพิเภกมีความเป็นพิษต่อเซลล์ WI-38 มากกว่าสารสกัดใบจาก ซึ่งสอดคล้องกับค่า IC_{50} ที่ได้จากรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการอยู่รอดของเซลล์ไลน์ WI-38 กับความเข้มข้นของสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจาก โดยใช้วิธี MTT assay



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ WI-38 ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเซลล์ (ก) เซลล์ที่อยู่ในสารสกัดสมอพิเภก 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ข) และเซลล์ที่อยู่ในสารสกัดสมอพิเภก 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ค)



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ WI-38 ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเซลล์ (ก) เซลล์ที่อยู่ในสารสกัดไบจาก 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ข) และเซลล์ที่อยู่ในสารสกัดไบจาก 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ค)

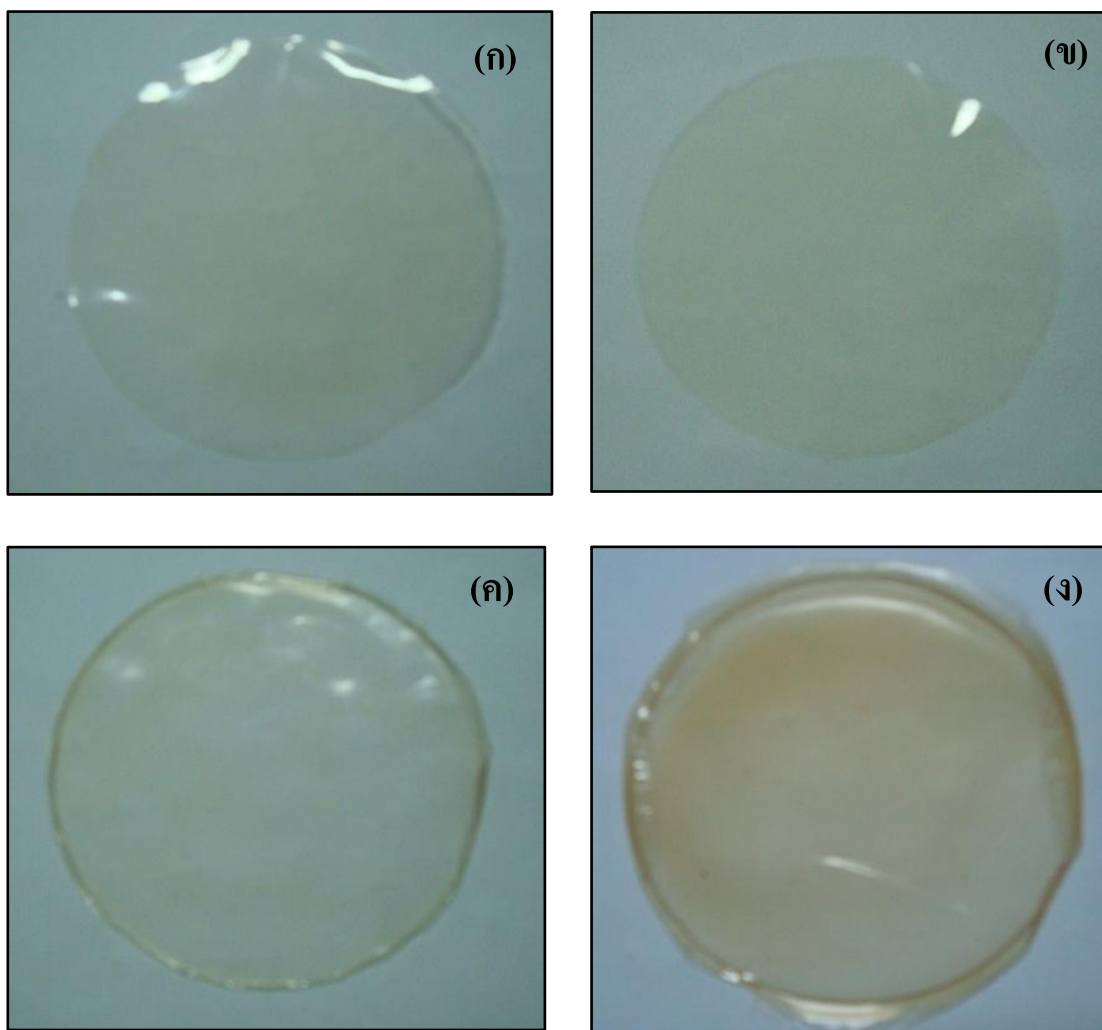
4.5 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

4.5.1 ลักษณะของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

จากการขึ้นรูปฟิล์มจากอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ด้วยวิธีการหล่อ (casting) ได้ลักษณะของแผ่นฟิล์ม แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า ฟิล์มแป้งเมล็ดขนุนเพียงองค์ประกอบเดียวมีลักษณะ ขาว ขุ่นทั้งแผ่น ค่อนข้างทึบแสง มีลักษณะอ่อนนุ่ม ฉีกขาดได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นได้จากจานพลาสติกได้ แสดงว่า ไม่มีคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ดี จึงไม่นำแป้งขนุนอย่างเดียวนำมาพัฒนา และประเมินคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มในการทดลองต่อไป

ฟิล์มอัลจินตเพียงองค์ประกอบเดียว จะมีลักษณะเรียบ ใส โปร่งแสง และมีความแข็งแรงต่าง

ส่วนฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน มีลักษณะเรียบ ใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการผสมสารสกัดสมอพิเภกและใบจากในการขึ้นรูปฟิล์ม จะได้แผ่นฟิล์มสีเหลืองอ่อน มีลักษณะเรียบ โปร่งแสง มีความเหนียวและยืดหยุ่น เมื่อเก็บไว้นานแผ่นฟิล์มจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ลักษณะของฟิล์มออลจินตองค์ประกอบเดี่ยว (ก) ฟิล์มออลจินต/แป้งเมล็ดขนุน (ข) แผ่นฟิล์มออลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก (ค) และแผ่นฟิล์มออลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดไอบจาก (ง)

4.5.2 ความหนาของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

ผลการศึกษาความหนาของแผ่นฟิล์ม เมื่อใช้อัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุนเป็น 0:100 20: 80 40 :60 60:40 และ 80:20 โดยแปรผันความเข้มข้นของกลีเซอรอลเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และคอสติงค์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 พบว่า ความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.29 มิลลิเมตร โดยฟิล์มที่มีความหนาที่สุด คือ ฟิล์มอัลจินต/แป้ง (40/60) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 รองลงมา คือ (40/60) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 15 ฟิล์มที่มีความหนาน้อยที่สุด คือ ฟิล์มอัลจินต (100/0)

เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์มองค์ประกอบเดี่ยว (ฟิล์มแป้งและฟิล์มอัลจินต) และฟิล์มสององค์ประกอบ (ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน) พบว่า ความหนาฟิล์มขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ ดังนี้

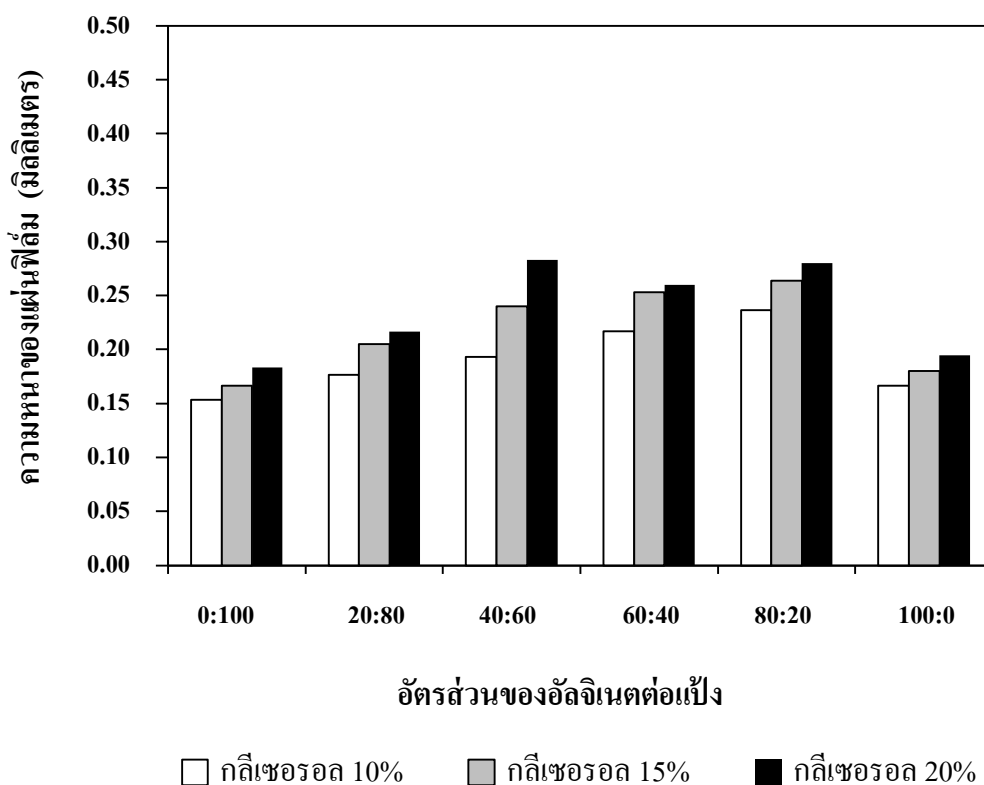
กลีเซอรอลที่เติมในการหล่อขึ้นรูปฟิล์ม จะมีผลโดยตรงต่อแป้งขนุนที่เป็นองค์ประกอบ โดยกลีเซอรอลจะไปขัดขวางการละลายของอะไมโลสในแป้ง ทำให้การละลายเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เกิดลักษณะเป็นผลึกบนแผ่นฟิล์ม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแป้งจะให้ผลเพิ่มความหนาฟิล์ม รวมทั้งปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นที่ปริมาณแป้งเท่ากันจะทำให้ความหนาเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุน พบว่า เมื่อปริมาณอัลจินตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัลจินตจะเกิดการคอสติงค์กับแคลเซียมไอออนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม ทำให้เกิดสายโซ่โมเลกุลที่มีความแข็งแรงและมีความหนาเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdorreza และ Karim (2011) ที่ได้รายงาน ว่า ปริมาณของกลีเซอรอลในการขึ้นรูปฟิล์มแป้งสาเก ที่ร้อยละ 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก พบว่า ความหนาของแผ่นฟิล์มที่ได้อยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.16 มิลลิเมตร และในการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลส่งผลให้ความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

จากงานวิจัยของ Fazilah และคณะ (2011) ได้ศึกษาฟิล์มสององค์ประกอบของแป้งสาเก และอัลจินต พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอัลจินตส่งผลให้ความหนาของฟิล์มที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้น

ความหนาของแผ่นฟิล์มเป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม (Kokoszka และคณะ, 2010 ; Kurek และคณะ, 2012) ซึ่งความหนามักมีความสัมพันธ์กับความทนแรงดึงและความยืดตัว ถ้าวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นมักมีความทนแรงดึงและความยืดตัวเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.9 ความหนาของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน

4.5.3 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มทั้งหมดผลที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) ได้แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่า ค่าการละลายน้ำของฟิล์มอยู่ในช่วงร้อยละ 4.97 ถึง 100 โดยฟิล์มที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด คือ ฟิล์มอัลจินต/แป้ง (0/100) ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 รองลงมาคือ ฟิล์มอัลจินต/แป้ง (20/80) ฟิล์มที่ละลายได้น้อยที่สุด คือ ฟิล์มอัลจินต

จากผลการทดลอง พบว่า ฟิล์มที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียวมีค่าการละลายสูงกว่าฟิล์มสององค์ประกอบ เนื่องจากแป้งขนุนมีลักษณะเป็น hydrophilic ซึ่งสามารถละลายได้ดี จึงทำให้ฟิล์มมีการละลายเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งขนุน โดยฟิล์มที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด คือ ฟิล์มแป้ง (0: 100) เมื่อทำการลดปริมาณแป้งขนุน จึงทำให้การละลายของฟิล์มลดลงอย่างต่อเนื่อง

ส่วนฟิล์มที่มีอัลจินตเป็นองค์ประกอบนั้น จะมีการทำคอสมิกซ์ของแคลเซียมไอออนกับโครงสร้างของอัลจินต ในการขึ้นรูปฟิล์มโดยอัลจินตประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของ gululonic acid ที่มี binding site เมื่อแคลเซียมไอออนเข้ามาจับกับหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลเกิดเป็น

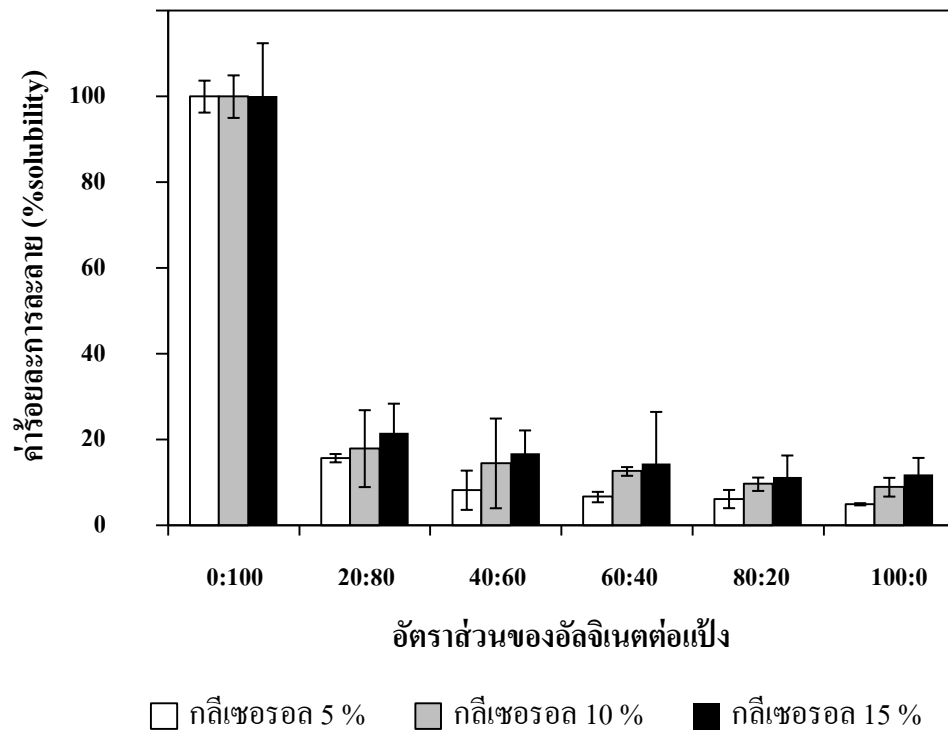
ลักษณะของ egg box ทำให้เกิดการคลอสติงระหว่างโมเลกุล ลักษณะของฟิล์มอัลจินต์มีความคงตัว ส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มลดลง ดังนั้น ฟิล์มอัลจินต์/แป้ง (100/0) จึงมีการละลายได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดอื่น

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล จะมีผลทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มสูงขึ้น ในทุกอัตราส่วนองค์ประกอบฟิล์ม ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

จากงานวิจัยของ Jong-Whan Rhim (2004) พบว่า เมื่อทำการคลอสติงฟิล์มอัลจินต์ด้วยแคลเซียมไอออนส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความต้านทานการซึมผ่านของน้ำสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้นจึงทำให้ปริมาณของอะไมโลสหลุดออกมาในระหว่างกระบวนการเจลาติไนซ์สูง ส่งผลให้คุณสมบัติในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น

Jangchud และ Chinnan (1999) พบว่า กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอ์ที่ส่งผลให้พอลิเมอร์มีการละลายน้ำได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกไซเซอ์ชนิดอื่น เช่น ซอร์บิทอล และ พอลิเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะขัดขวางการระเหยน้ำของแผ่นฟิล์มทำให้ฟิล์มมีความชื้นสูงและส่งผลต่อค่าการละลายน้ำที่เพิ่มขึ้น

Da Silva และคณะ (2009) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของฟิล์มอัลจินต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งกลีเซอรอลมีมวลโมเลกุลต่ำสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย และยังมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีจึงส่งผลให้น้ำสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในร่างแหของฟิล์มได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.10 ค่าร้อยละการละลายของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกาลีเซอรอลต่างกัน

4.6 สมบัติเชิงกลของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน

การศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มได้แสดงถึงค่าต้านทานแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม ตามมาตรฐาน ASTM D 882-97

ค่าต้านทานแรงดึงขาด คือ ความสามารถของฟิล์มที่ต้านทานแรงดึง ซึ่งกระทำที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของฟิล์มที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นทดสอบนั้นขาด

ค่าร้อยละการยืดตัว คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟิล์มภายใต้แรงดึง และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อนของฟิล์มซึ่ง ฟิล์มที่มีร้อยละการยืดตัวสูงแสดงถึงการจัดเรียงตัวของฟิล์มมีส่วนที่เป็นผลึกต่ำ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

4.6.1 ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม

จากการศึกษาค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่องค์ประกอบต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอัลจินตองค์ประกอบเดียวมีค่าสูงถึง 46.130 ถึง 61.428 เมกะปาสคาล

ในขณะที่ ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแป้งเมล็ดขนุนองค์ประกอบเดียวมีค่าเพียง 3.688 ถึง 5.638 เมกะปาสคาล ค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jong-Whan Rhim (2004) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มอัลจินต พบว่า ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอยู่ในช่วง 41.11 ถึง 73.28 เมกะปาสคาล

จากผลการทดลอง พบว่า ฟิล์มองค์ประกอบแป้งอย่างเดียว จะมีค่าแรงดึงขาดต่ำที่สุด เนื่องจากฟิล์มแป้งมีความอ่อนนุ่ม จึงสามารถฉีกขาดได้ง่าย

ส่วนฟิล์มอัลจินตจะมีความต้านทานแรงดึงขาดได้สูงที่สุด และอัตราส่วนของอัลจินตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการคลอสลิงค์กับแคลเซียมไอออนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลบนสายโซ่ภายในโครงสร้างของอัลจินต จะสามารถเกิดได้มาก ทำให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงจำนวนมาก ส่งผลให้ฟิล์มที่มีอัลจินตปริมาณมากมีความแข็งแรง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของอัลจินตที่ต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกสภาวะ เนื่องจาก กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็น พลาสติกไซเซอร์แทรกตัวระหว่างโมเลกุลของแป้ง โดยทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสารพอลิเมอร์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์กับสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอ่อนตัวลงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล โมเลกุลสายพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ฟิล์มมีลักษณะยืดหยุ่น โคลงง ทำให้เพิ่มการยืดตัวของฟิล์ม แต่พลาสติกไซเซอร์ก็จะทำให้ความแข็งแรงของ

โครงสร้างลดลงเช่นกัน ส่งผลต่อการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มลดลง (Maizura, 2007) ดังนั้น การใช้กลีเซอรอลร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ฟิล์มที่ได้จึงมีค่าต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด เมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นต่ำ

งานวิจัยของ Mellan (1961) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณมากทำให้โมเลกุลไปแทรกและจับยึดกับโมเลกุลของแป้งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโมเลกุลของแต่ละสายของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันมีค่าลดลงและเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะยืดหยุ่น

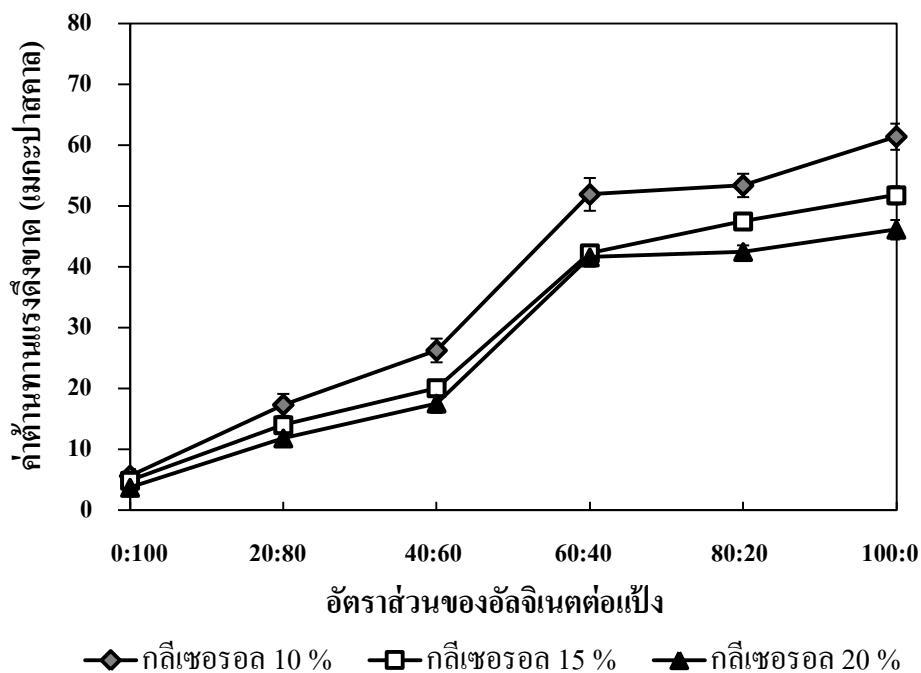
Fazilah และคณะ (2011) พบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราส่วนของแป้งสาquin ในฟิล์มสององค์ประกอบแป้งสาquin และอัลจินต และนอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการคลอสติคฟิล์มอัลจินตกับแคลเซียมไอออนส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย

4.6.2 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์ม

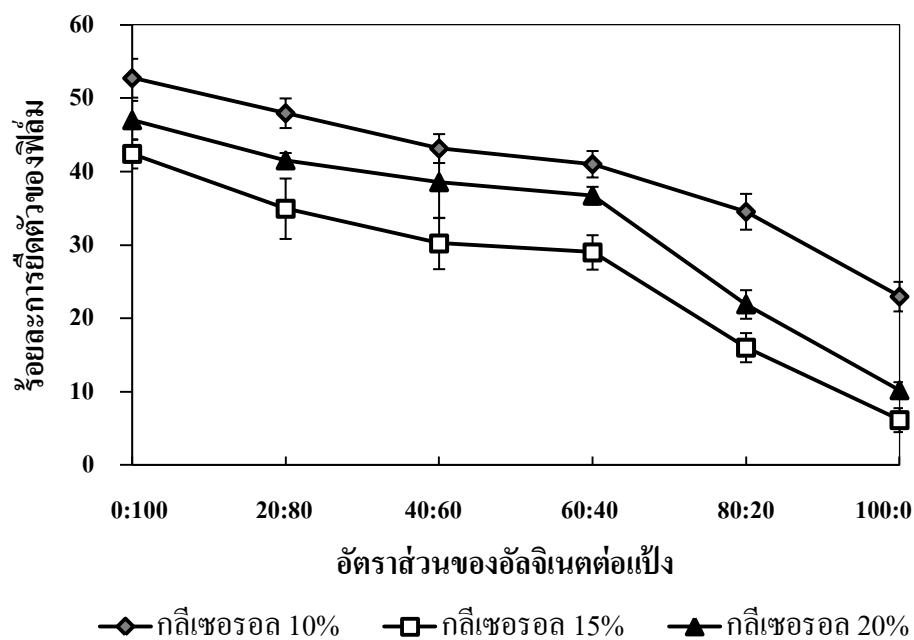
จากการศึกษาค่าความสามารถในการยึดตัวของแผ่นฟิล์มที่องค์ประกอบต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงถึงร้อยละ 42.44 ถึง 52.76 ฟิล์มแป้งจะมีความสามารถในการยึดได้สูงที่สุด เนื่องจากฟิล์มแป้งมีความอ่อนนุ่ม และมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่น

ในขณะที่ ฟิล์มที่มีอัลจินตเป็นองค์ประกอบอย่างเดียวมีค่าเพียงร้อยละ 6.15 ถึง 25.42 เนื่องจากโครงสร้างของฟิล์มอัลจินตไม่มีความยืดหยุ่น และอัตราส่วนของอัลจินตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการคลอสติคในกระบวนการผลิตฟิล์มทำให้ช่องว่างระหว่างโครงสร้างของฟิล์มแคบลงและเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มที่มีอัลจินตปริมาณมากมีการยึดตัวได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของอัลจินตที่ต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมีผลทำให้ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง โดยฟิล์มที่มีความสามารถในการยึดตัวสูงสุด คือ ฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอล 10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอล 20 เปอร์เซ็นต์ และฟิล์มที่มีความสามารถในการยึดตัวน้อยที่สุด คือ ฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอล 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก กลีเซอรอลเข้าแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของแป้งและอัลจินต ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล โมเลกุลสายพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ฟิล์มมีลักษณะยืดหยุ่น ไค้งงอ ทำให้เพิ่มการยึดตัวของฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบอยู่มากจึงสามารถดูดไอน้ำในอากาศได้มาก ส่งผลให้ฟิล์มมีความชื้นสูง จึงสามารถฉีกขาดได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย



รูปที่ 4.11 ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน



รูปที่ 4.12 ค่าร้อยละการยัดตัวของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่อัตราส่วนต่างๆ และมีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน

จากผลการทดลองข้างต้นได้คัดเลือกฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน (60/40) ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มาพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ในขั้นต่อไป เนื่องจากมีค่าต้านทานแรงดึงขาดสูง มีความแข็งแรงต่อการนำไปใช้ และมีค่าความสามารถในการยึดตัวที่สูง จึงเหมาะสมในการใช้ห่ออาหาร ทั้งนี้ปริมาณกลีเซอรอลที่น้อยจะไม่ทำให้เกิดลักษณะมัน ชื่นเกินไป สำหรับความพึงพอใจของผู้ใช้ นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำยังมีค่าต่ำ ทำให้น้ำที่อยู่ในอาหารไม่ก่อให้เกิดการละลายของแผ่นฟิล์ม เมื่อนำมาใช้งาน

4.7 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มด้านจุลินทรีย์

เมล็ดขนุนเป็น 60:40 ที่ปริมาณกลีเซอรอลเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำการเติมสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจาก ที่ได้จากตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้นสารสกัดที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักสารละลายฟิล์ม และคอสมอลค์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

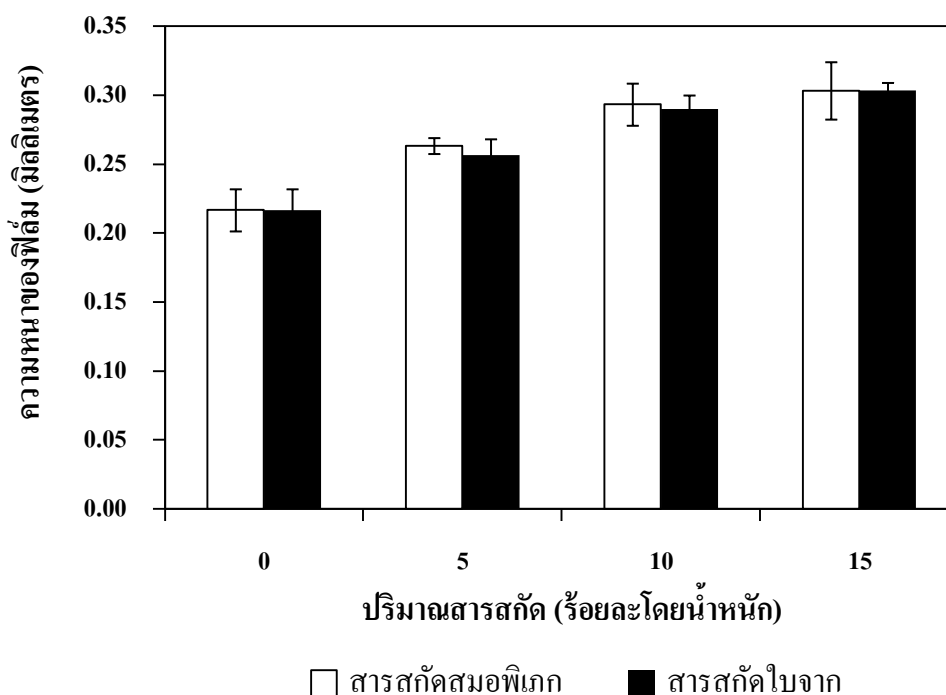
4.7.1 ความหนาของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์

ผลการศึกษาความหนาของแผ่นฟิล์มด้านจุลินทรีย์ เมื่อทำการแปรผันความเข้มข้นสารสกัด ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า ฟิล์มด้านจุลินทรีย์มีความหนาอยู่ในช่วง 0.257 ถึง 0.303 โดยฟิล์มที่มีความหนาที่สุด คือ ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักสารละลายฟิล์ม รองลงมา คือ ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารละลายฟิล์ม ฟิล์มที่มีความหนาน้อยที่สุด คือ ฟิล์มที่ไม่มีการเติมสารสกัด

การเติมสารสกัดจะมีผลช่วยเพิ่มความหนาของฟิล์ม เนื่องจากสารสกัดที่เติมจะเข้าไปแทรกและเกาะตาม โครงสร้างของอัลจินตและแป้ง ดังนั้น ค่าความหนาฟิล์มที่เติมสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เติมลงไป

งานวิจัยของ Viviane Kechichian (2010) พบว่า ปริมาณผงอบเชยที่เติมลงในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังส่งผลให้ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Rajas-Grau (2007) ได้เติมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ลงในแผ่นฟิล์มอัลจินตพบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน



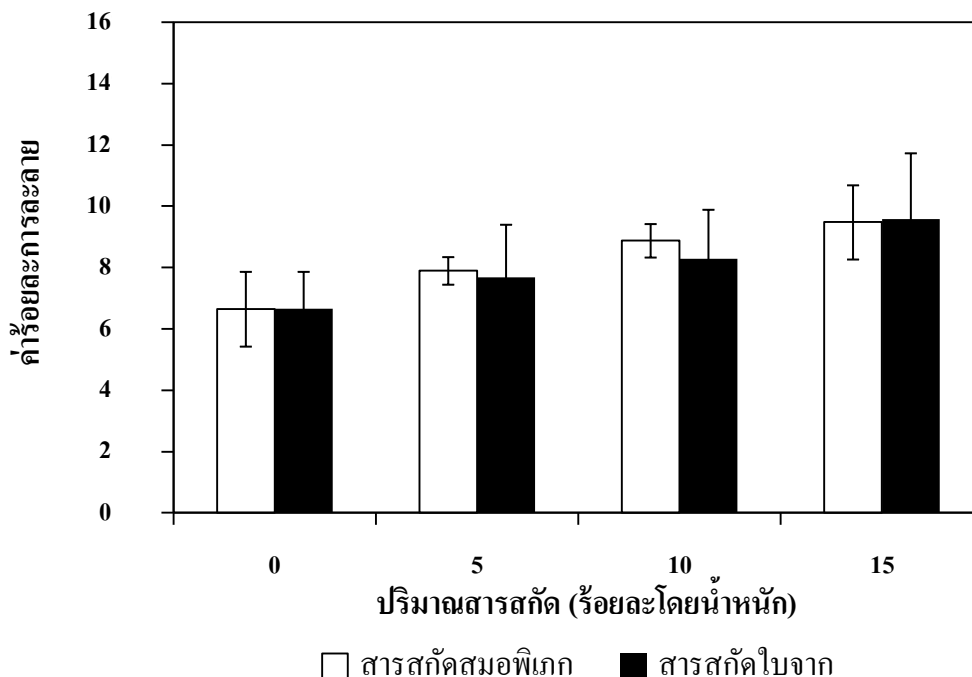
รูปที่ 4.13 ความหนาของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่ใส่สารสกัด ที่อัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุน 60 ต่อ 40 ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

4.7.2 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มต้านจุลินทรีย์

ผลของค่าการละลายน้ำของฟิล์มสององค์ประกอบที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) ได้แสดงดังรูปที่ 4.14

ฟิล์มต้านจุลินทรีย์มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 7 ถึง 10 โดยฟิล์มที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด คือ ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักสารละลายฟิล์ม รองลงมา คือ ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักสารละลายฟิล์ม ฟิล์มที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด คือ ฟิล์มที่ไม่มีการเติมสารสกัด

การเติมสารสกัดจะมีผลทำให้ฟิล์มมีความสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน จึงมีค่าการละลายที่ใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสารสกัดทั้ง 2 ชนิด คือ สารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ สารประกอบฟีนอลิกในพืชโดยทั่วไปแสดงคุณสมบัติเป็นกรดสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และเป็นสารที่มีขี้้วสามารถละลายได้ในน้ำ



รูปที่ 4.14 ค่าร้อยละการละลายของฟิล์มสององค์ประกอบอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่ใส่สารสกัดที่อัตราส่วนของอัลจินตต่อแป้งเมล็ดขนุน 60 ต่อ 40 ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

4.8 สมบัติเชิงกลของฟิล์มด้านจุลินทรีย์

4.8.1 ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัด

ค่าต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มที่มีสารสกัดทั้ง 2 ชนิด แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.15 มีค่า ตั้งแต่ 22 ถึง 43 เมกะปาสกาล เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารสกัดเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภก จะมีค่าต้านทานแรงดึงเป็น 41.45, 33.62 และ 22.66 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มที่มีสารสกัดไอบากจะมีค่า 42.434, 34.882 และ 23.738 ตามลำดับ โดยฟิล์มที่มีสารสกัดจะมีค่าต้านทานแรงดึงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีสารสกัด ทั้งนี้ เนื่องจากสารสกัดที่เติมลงไป จะเข้าไปขัดขวางการเรียงตัวของโมเลกุล ทำให้แรงยึดระหว่างโมเลกุลสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง และความเป็นผลึกของโครงสร้างลดต่ำลง จึงส่งผลความแข็งแรงของฟิล์มมีค่าลดลง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารสกัดจะทำให้มีผลลดค่าต้านทานแรงดึงลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าชนิดของสารสกัดไม่มีผลต่อค่าต้านทานแรงดึงที่วัดได้ จึงทำให้ค่าแรงดึงของฟิล์มที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มตามกัน

การเติมสารสกัดเข้าไปในแผ่นฟิล์มส่งผลให้สมบัติเชิงกลบางประการมีค่าต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pranoto และคณะ (2005) พบว่า ฟิล์มอัลจินตที่มีสารสกัดน้ำมันกระเทียม (garlic

oil) มีค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอยู่ในช่วง 38 ถึง 64 เมกะปาสคาลและเมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันกระเทียมในแผ่นฟิล์มส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มลดลง

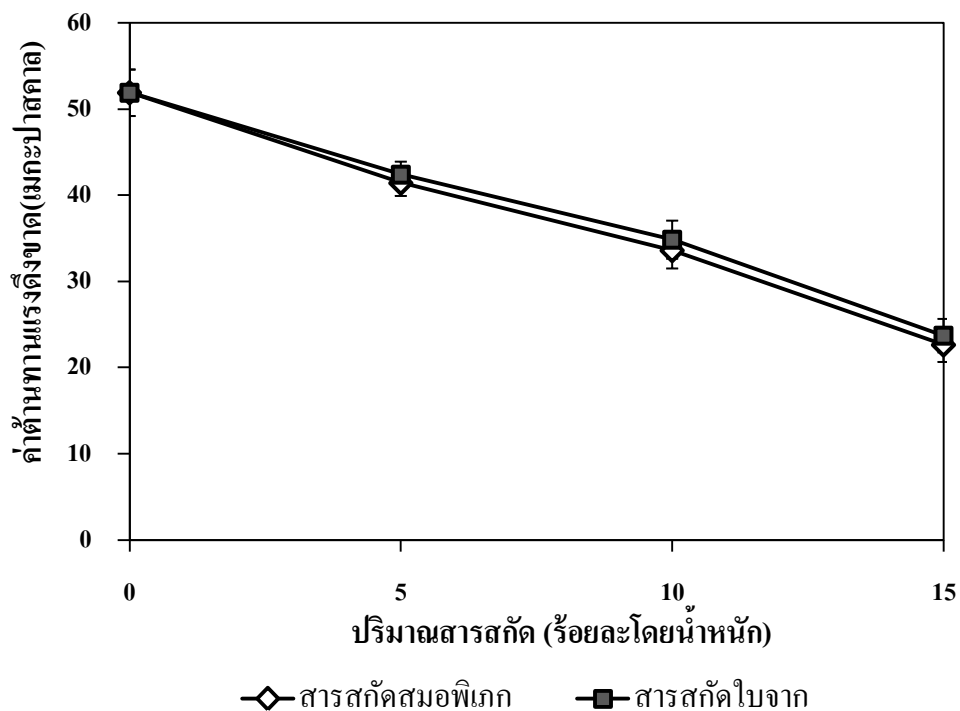
ส่วน Rajas-Grau (2007) ได้รายงานถึง การเติมสาร oregano oil Carvacrol Lemongrass oil ลงในฟิล์มอัลจินต พบว่าส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลง เช่นกัน

4.8.2 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัด

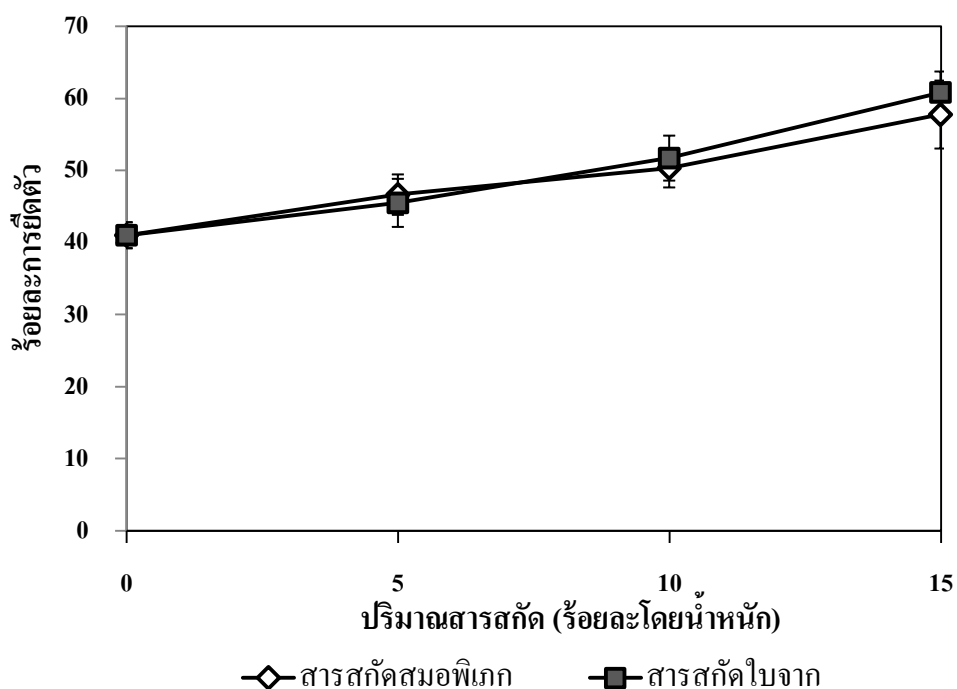
ค่าความสามารถในการยึดตัวของแผ่นฟิล์มที่มีสารสกัดทั้ง 2 ชนิด แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.16 เมื่อทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นสารสกัดที่ใส่ในแผ่นฟิล์ม เป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภก จะมีค่าความสามารถในการยึดตัวเป็น 46.672 50.368 และ 62.588 ตามลำดับและแผ่น ส่วนฟิล์มที่มีสารสกัดใบจะมีค่า 45.528, 51.742 และ 62.062 ตามลำดับโดยฟิล์มที่มีสารสกัดจะมีค่าความสามารถในการยึดตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีสารสกัด เนื่องจากสารสกัดที่เติมมีผลไปลดความเป็นผลึกของโครงสร้างฟิล์มทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารสกัดจึงมีผลเพิ่มค่าการยึดตัวของฟิล์มที่เติมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ฟิล์มของสารสกัดไม่มีผลต่อค่าการยึดตัวของฟิล์ม เนื่องจากการยึดตัวของฟิล์มที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกัน

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maizura, M. และคณะ (2007) ได้รายงานว่าฟิล์มอัลจินตและแป้งสาकुที่มีสารสกัดน้ำมันตะไคร้ เป็นสารต้านจุลินทรีย์พบว่า มีค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มลดลง และความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มมีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอัลจินตและแป้งสาकुที่ไม่มีสารสกัด

และงานวิจัยของ Jagannath, J. H. และคณะ (2005) ได้รายงานว่าฟิล์มแป้งที่มีสารสกัดสะเดาส่งผลให้ฟิล์มมีค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มลดลงและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มมีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดสะเดาเช่นกัน



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มต้านจุลินทรีย์และปริมาณร้อยละสารสกัด โดยน้ำหนักของแผ่นฟิล์ม ที่มีสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยืดตัวของฟิล์มต้านจุลินทรีย์และปริมาณร้อยละสารสกัด โดยน้ำหนักของแผ่นฟิล์ม ที่มีสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก

4.9 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารต้านจุลินทรีย์

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มจินต/แป้งเมล็ดขนุน (60/40) ที่มีกลีเซอรอล ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เดิมสารสกัดสมอพิเภกและใบจากที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก คอสติงค์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5 กรัมต่อปริมาตรเป็นเวลา 30 นาที นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้ง ต่อเชื้อ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* ได้ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.6 และ 4.7

ฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียสูงกว่า โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.36 – 12.63 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.6) โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ ส่วนฟิล์มที่เติมสารสกัดความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก จะไม่แสดงวงใสของการยับยั้งอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกันระหว่างชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรีย พบว่า ฟิล์มชนิดนี้สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ส่วนการยับยั้งในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวกเดียวกัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่อ *B. subtilis* และ *S. aureus* ได้ใกล้เคียงกัน

ฟิล์มที่มีสารสกัดใบจาก โดยจะให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.43 – 11.86 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.7) โดยฟิล์มที่เติมที่ปริมาณสารสกัดร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ ส่วนฟิล์มที่เติมสารสกัดความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก จะไม่แสดงวงใสของการยับยั้งอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกันระหว่างชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรีย พบว่า ฟิล์มที่เติมสารสกัดใบจากสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*B. subtilis* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ส่วนการยับยั้งในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวกเดียวกัน พบว่า มีฤทธิ์ยับยั้งต่อ *B. subtilis* และ *S. aureus* ได้ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจากตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย ดังแสดงรูปที่ 4.17 ถึง 4.23 เห็นได้ว่าฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภก สามารถแสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงกว่าฟิล์มที่มีสารสกัดใบจากในทุกความเข้มข้น

และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียภายใต้แผ่นฟิล์ม พบว่า ฟิล์มที่ไม่มีสารสกัดนั้น ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียภายใต้แผ่นฟิล์มได้ สำหรับฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกและสารสกัดใบจากทุกปริมาณ สามารถยับยั้งแบคทีเรียภายใต้แผ่นฟิล์มได้ทั้งหมด โดยจะเกิดของวงใสขึ้นใต้แผ่นฟิล์ม

จากการทดลองพบว่าอัตราการปลดปล่อยสารสกัดของฟิล์มขึ้นอยู่กับปริมาณสารสกัดที่ใส่ในแผ่นฟิล์ม และที่ความเข้มข้นของสารสกัดร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการปลดปล่อย

สารออกมาได้ช้าเมื่อเทียบกับเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จึงทำให้ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้

งานวิจัยของ Benavides (2012) ได้ศึกษาการเพิ่มปริมาณสาร oregano essential oil ในฟิล์มอัลจิเนต พบว่าสาร oregano essential oil ที่เพิ่มในฟิล์มอัลจิเนตปริมาณมาก สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าปริมาณสาร oregano essential oil ที่มีอยู่ในฟิล์มน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.6 ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารด้านจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารสกัดสมอพิเภก ต่อเชื้อ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* สังเกตผล ที่เวลา 24 ชั่วโมง

แบคทีเรีย	ปริมาณสารสกัด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร) \pm S.D. ^a	พื้นที่ใต้ฟิล์มบรรจุ ภัณฑ์
<i>E. coli</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	8.36 \pm 0.03	+
<i>B. subtilis</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	12.63 \pm 0.05	+
<i>S. aureus</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	11.46 \pm 0.03	+

หมายเหตุ + แสดงถึง มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

- แสดงถึง ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.7 ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารด้านจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารสกัด
ใบจาก ต่อเชื้อ *E. coli*, *B. subtilis* และ *S. aureus* สังเกตผล ที่เวลา 24 ชั่วโมง

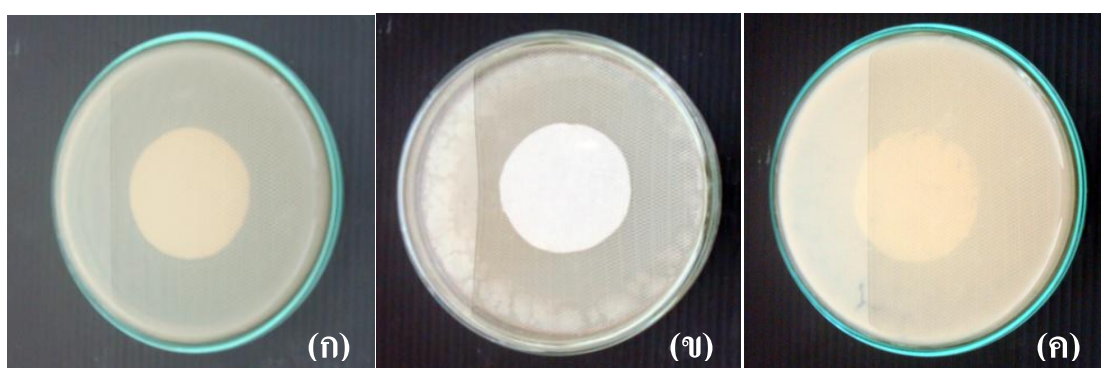
แบคทีเรีย	ปริมาณสารสกัด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร) \pm S.D. ^a	พื้นที่ใต้ฟิล์ม บรรจุภัณฑ์
<i>E. coli</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	7.43 \pm 0.05	+
<i>B. subtilis</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	11.86 \pm 0.02	+
<i>S. aureus</i>	0	-	-
	5	-	+
	10	-	+
	15	10.23 \pm 0.08	+

หมายเหตุ + แสดงถึง มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

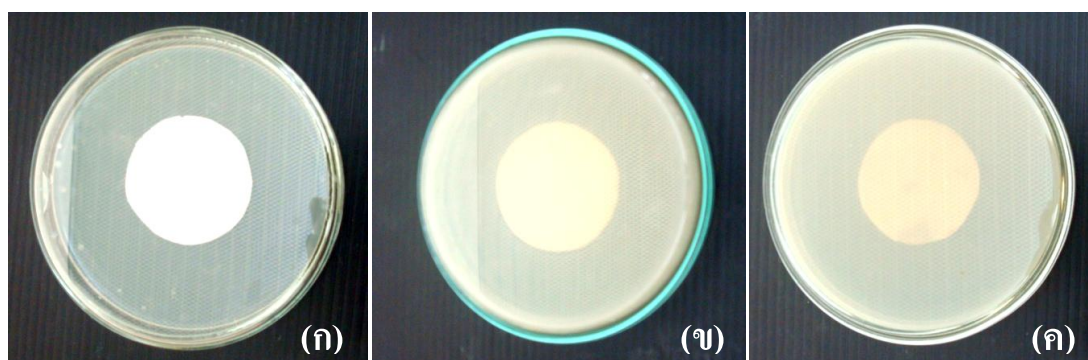
- แสดงถึง ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

จากการทดลองฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียโดยพิจารณาจากความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย
ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากในแผ่นฟิล์ม พบว่า เมื่อใส่สารสกัดสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดใน
แผ่นฟิล์มส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดต่ำลง เนื่องมาจากการปลดปล่อย
ของสารสกัดถูกขัดขวางด้วยโครงสร้างภายในแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้สามารถปลดปล่อยสารออกมาได้
ช้าเมื่อเทียบกับเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เป็นสาเหตุให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย
เล็กลง

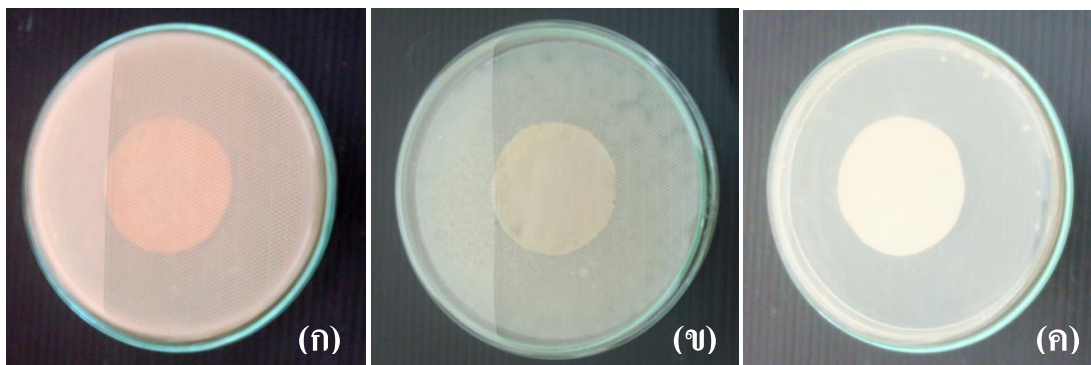
จากงานวิจัยของ Tassou และคณะ (1995) ได้กล่าวว่า การที่ฟิล์มด้านจุลินทรีย์ในระบบอาหารมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียลดลง เมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ เนื่องจากในอาหารมีปริมาณไขมันและโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ช่วยปกป้องแบคทีเรียจากการยับยั้งของน้ำมันสารสกัดทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียลดลง



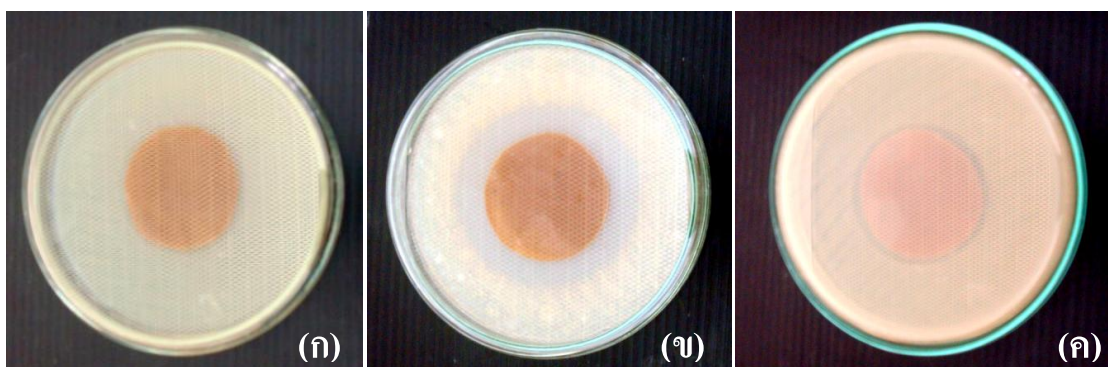
รูปที่ 4.17ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่ไม่มีสารสกัด บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



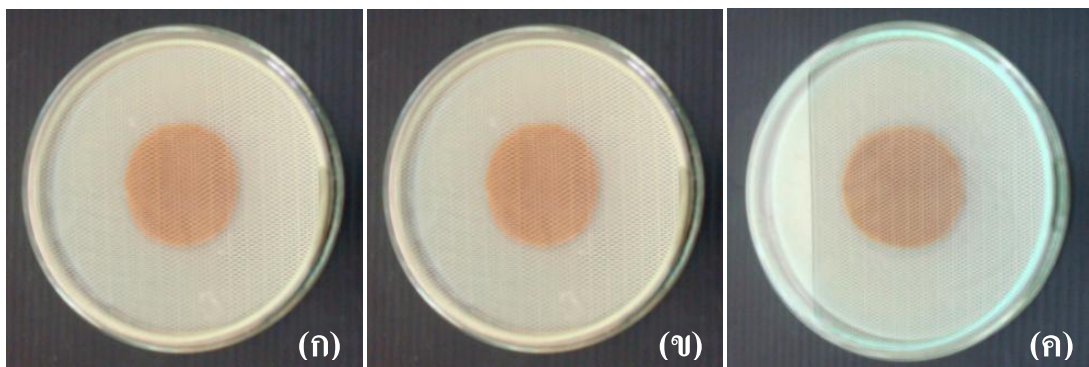
รูปที่ 4.18ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภกร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



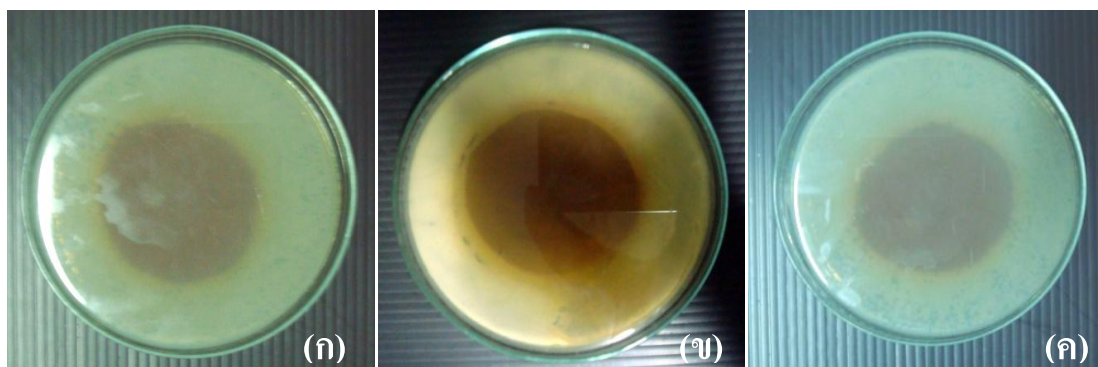
รูปที่ 4.19 ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



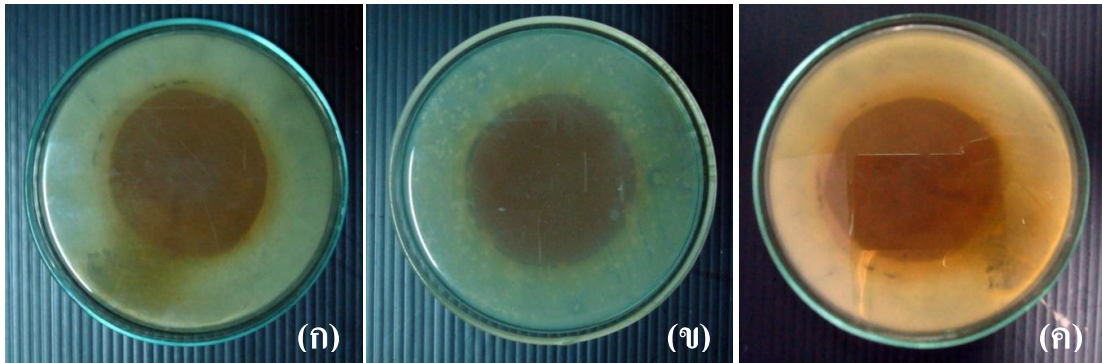
รูปที่ 4.20 ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



รูปที่ 4.21 ภาพที่ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจากร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



รูปที่ 4.22 ภาพที่ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจากร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)



รูปที่ 4.23 ทูทซ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *E.coli* (ก) *B.subtilis* (ข) *S.aureus* (ค)

4.10 ความสามารถในการปลดปล่อยสารสกัดสมุนไพร

ทำการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดออกจากแผ่นฟิล์มด้วยการแพร่โดยใช้ความเข้มข้นสารสกัดร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่สภาวะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25

จากผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สารประกอบฟีนอลิกสะสมที่ออกจากฟิล์มตามช่วงเวลา จะเห็นได้ว่า การปลดปล่อยสารสกัดสมอพิเภกและใบจากออกจากฟิล์มอัลจินต/แป้งดิบขนุนจะให้ลักษณะกราฟที่คล้ายกัน คือ ในช่วงแรกมีการปลดปล่อยสารด้วยอัตราที่ช้า และต่อมาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยจะลดน้อยลง จนกระทั่งความเข้มข้นสารประกอบฟีนอลิกสะสมในระบบมีค่าคงที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่ค่าหนึ่ง โดยอัตราการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจะขึ้นตรงกับค่าความเข้มข้นสารประกอบฟีนอลิกที่ใส่ผสมในแผ่นฟิล์ม โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะให้อัตราการปลดปล่อยที่สูงที่สุด

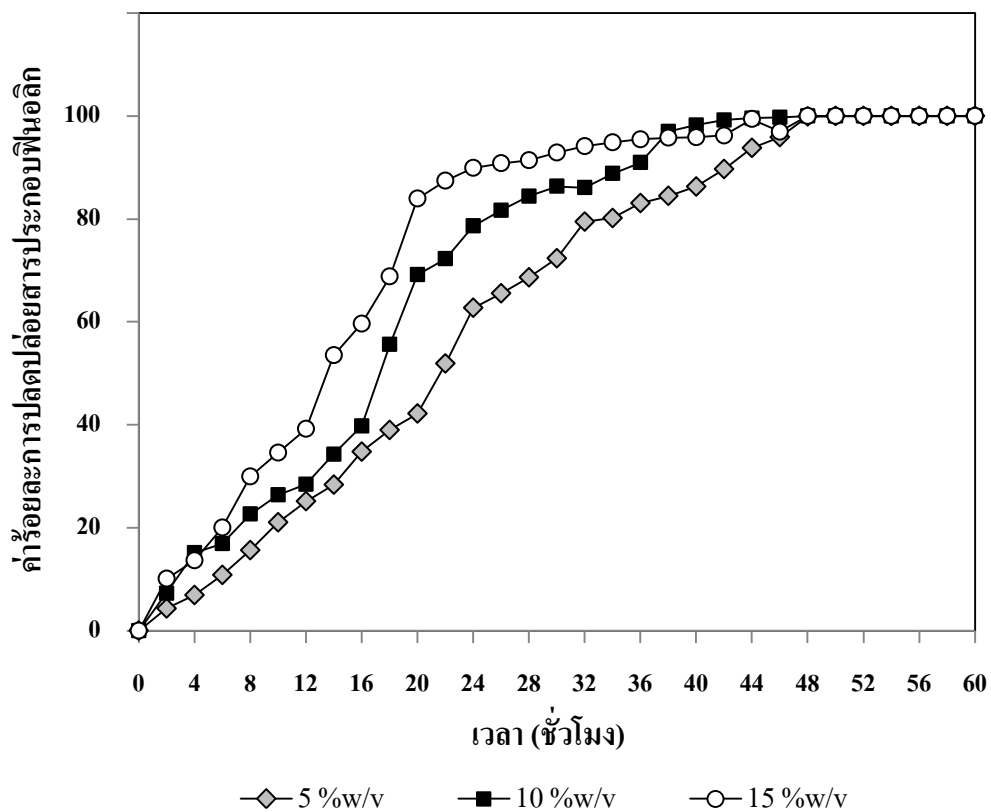
จากการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกที่หลงเหลืออยู่ในฟิล์มด้านจุลินทรีย์หลังการขึ้นรูป โดยฟิล์มที่ใส่สารสกัดสมอพิเภกร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก จะมีสารประกอบฟีนอลิกเหลืออยู่ 200.264, 252.393 และ 282.181 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มีอัตราการปลดปล่อยมวลสารสูงสุด (V_{max}) อยู่ที่ 2.65, 3.91 และ 5.05 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วนฟิล์มที่ใส่สารสกัดใบจากร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก จะมีสารประกอบฟีนอลิก 200.867, 227.234 และ 251.286 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มีอัตราการปลดปล่อยมวลสารสูงสุดอยู่ที่ 2.61, 3.79 และ 4.23 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

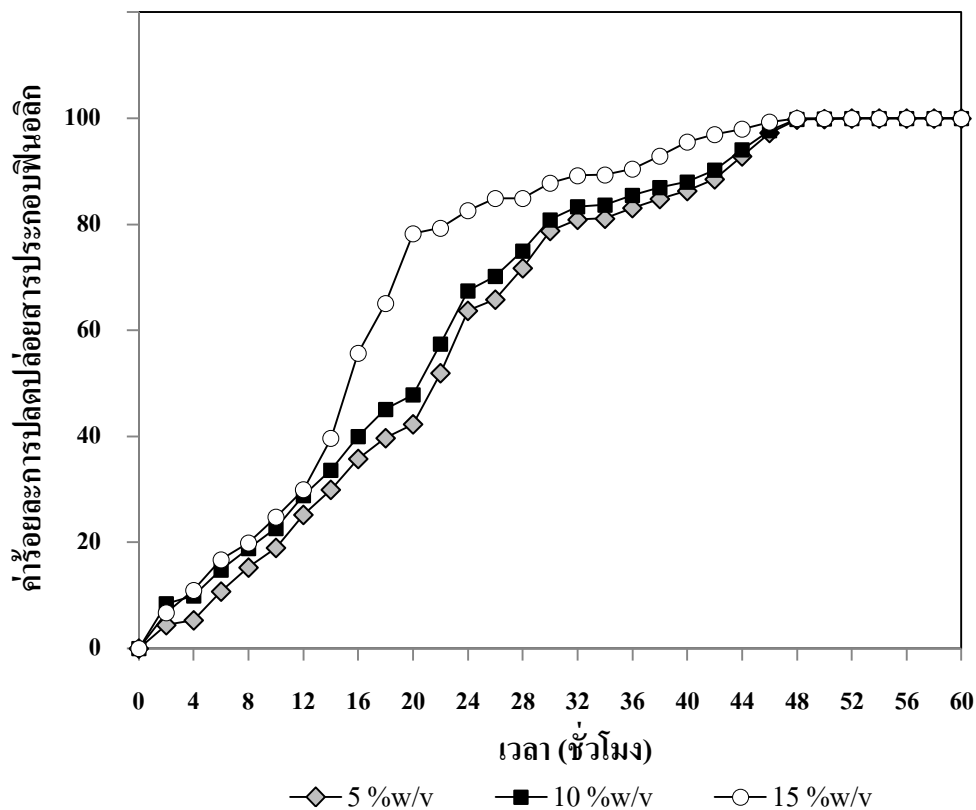
สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์การปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิก พบว่า อัตราการปลดปล่อยของสารสกัดสมอพิเภกจะมีค่าสูงกว่า อาจเนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มที่ละลายน้ำได้ดีกว่า นอกจากนี้พฤติกรรมการณ์เคลื่อนย้ายมวลสารประกอบฟีนอลิกของฟิล์มที่ใส่สารสกัดทั้งสองชนิดเหมือนกัน กล่าวคือ แปรผันตามความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้น

สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก มีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของน้ำหรือความชื้นจากไอน้ำแทรกเข้าไประหว่างโครงสร้างของอัลจินตและแป้ง ทำให้ละลายสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในแผ่นฟิล์มออกมาภายนอก นอกจากนี้ในการคอสติงฟิล์มที่มีอัลจินตเป็นองค์ประกอบ จะส่งผลให้มวลสารของสารด้านจุลินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาในอัตราที่ต่ำลง เนื่องจากแคลเซียมเข้าไปจับกับโครงสร้างของอัลจินต ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของมวลสารที่อยู่ภายในฟิล์ม ดังนั้นการใช้การ

คอสติจ์จึงสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ให้เหมาะสมกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (Dong, 2004)



รูปที่ 4.24 ค่าร้อยละการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกของแผ่นฟิล์มที่มีความเข้มข้นสารสกัดสมอพิเภกต่างกัน ในระยะเวลา 60 ชั่วโมง



รูปที่ 4.25 ค่าร้อยละการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกของแผ่นฟิล์มที่มีความเข้มข้นสารสกัดใบจากต่างกัน ในระยะเวลา 60 ชั่วโมง

4.11 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) คือ อัตราเร็วในการซึมของไอน้ำผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง เมื่อทำการทดสอบฟิล์มอัลจินต/แป้งที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดสมุนไพร นำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 96-00 ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัด มีความแตกต่างกันตามชนิดสารสกัดที่เติม เมื่อเทียบกับฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนที่ไม่มีสารสกัด

ฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า สารสกัดสมอพิเภกมีผลทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำเกิดได้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดเข้าไปแทรกในโครงสร้างของฟิล์ม มีผลทำให้โครงสร้างมีช่องว่างมากขึ้นทำให้ไอน้ำสามารถแพร่ผ่านฟิล์มได้มากขึ้น

ฟิล์มที่มีสารสกัดใบจากร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า สารสกัดใบจากมีผลทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสารสกัดใบจากมีการยึดติดกับโครงสร้างของฟิล์มได้แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่ผสมและไม่ผสมสารสกัด

ฟิล์ม	การซึมผ่านไอน้ำ (กรัม / ตารางเมตร / วัน)
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน	1821 ± 13
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน/สารสกัดสมอพิเภก (ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก)	1858 ± 13
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน/สารสกัดใบจาก (ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก)	1778 ± 21

4.12 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์ม

อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (oxygen transmission rate, OTR) คือ ออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เมื่อทำการทดสอบฟิล์มที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดสมุนไพร นำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3985-05 ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ชนิดของสารสกัดที่เติมลงในแผ่นฟิล์มมีผลต่อค่าการซึมผ่านออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมสารสกัดร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า สารสกัดสมอพิเภกและใบจาก มีผลทำให้ค่าการซึมผ่านออกซิเจนสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดทั้งสองมีผลทำให้โครงสร้างของฟิล์มมีช่องว่างมากขึ้น ดังนั้นออกซิเจนจึงสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rojas-Grau และคณะ 2007 ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มอัลจินต เมื่อมีการเพิ่มสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เช่น oregano oil และ Carvacrol มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1136-2536 ว่าด้วยฟิล์มยืดหุ้มห่ออาหาร ได้กำหนดอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีน คือ 4 กรัม/ตารางเมตร/วัน และอัตรา

การซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิเอทิลีน คือ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน พบว่า ฟิล์มที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม จึงไม่เหมาะในการประยุกต์ใช้กับอาหารที่ไวต่อความชื้น เมื่อเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านออกซิเจน พบว่า มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน มีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียจากก๊าซออกซิเจนได้ดี เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เป็นต้น

ตารางที่ 4.9 ค่าการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ที่ผสมและไม่ผสมสารสกัด

ฟิล์ม	การซึมผ่านออกซิเจน (ลูกบาศก์เซนติเมตร / ตารางเมตร / วัน)
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน	12.15 ± 0.2
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน/สารสกัดสมอพิเภก (ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก)	15.25 ± 0.2
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน/สารสกัดใบจาก (ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก)	16.05 ± 0.2

4.13 วิเคราะห์องค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม

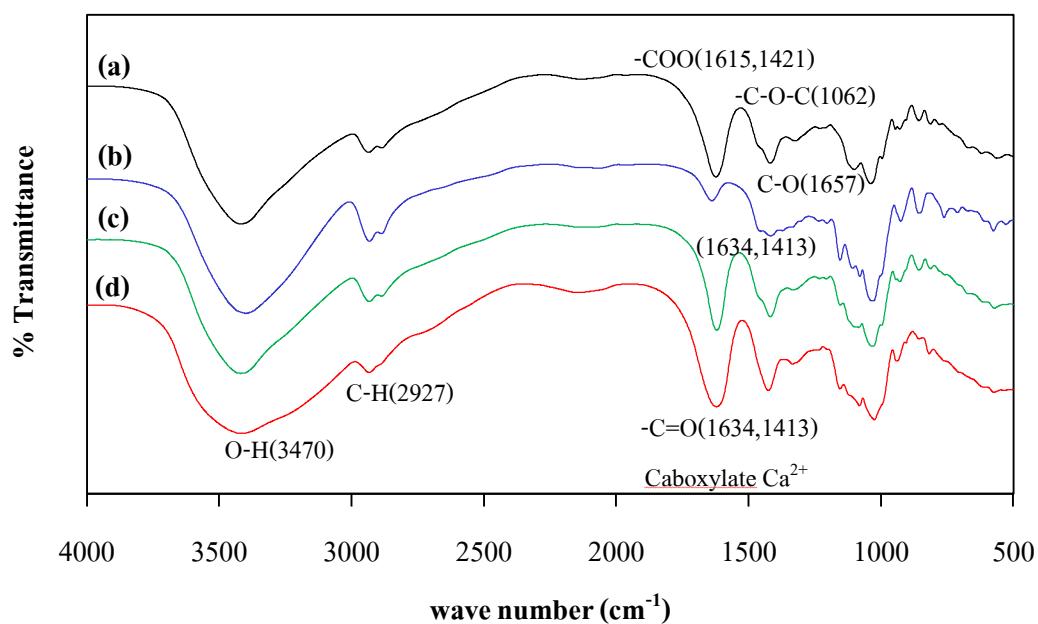
การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสาร อาศัยหลักการเกี่ยวกับการสั่นของโมเลกุลและพลังงานที่มีการปลดปล่อยออกมา (Transmittance) เมื่อส่งผ่านแสงอินฟราเรดทำให้ได้ FTIR spectra ในช่วงความถี่ 500 ถึง 4000 cm^{-1} โดยการวิเคราะห์ FT-IR สามารถบอกได้ว่าลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะ โมเลกุลของสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของหมู่ฟังก์ชัน โมเลกุลนั้นๆของฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน ผลการทดลองได้แสดงดังรูปที่ 4.26 และ 4.27

จากการทดลองพบว่า ฟิล์มอัลจินตมีหมู่ $-\text{COO}$ เกิดขึ้นที่ค่าความถี่ 1615 และ 1421 cm^{-1} (Wang และคณะ, 2010) สำหรับฟิล์มแป้งเมล็ดขนุน มีหมู่ฟังก์ชัน C-O เกิดขึ้นที่ค่าความถี่ 1657 cm^{-1} (Kittipongpatana, และ Kittipongpatana, 2011) และมีหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกัน คือ ไฮดรอกซิล (OH) และ C-H ที่ที่ค่าความถี่ 3470 และ 2927 cm^{-1} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีพีดของ saccharide ring ที่ค่าความถี่ 1127 และ 1062 cm^{-1}

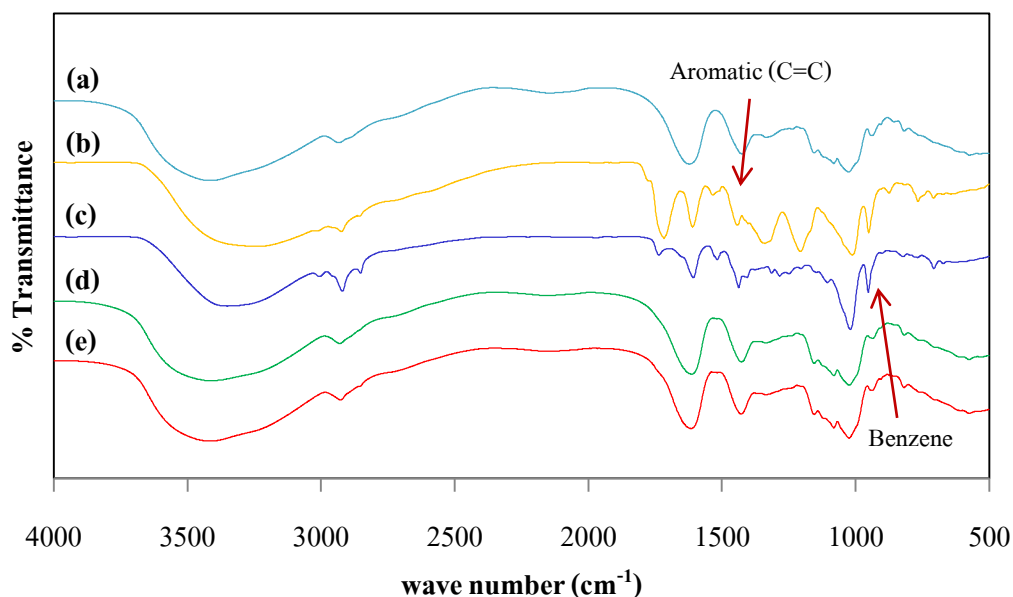
ฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุนจะเกิดปฏิสัมพันธ์ของอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่หมู่คาร์บอนิลและหมู่คาร์บอกซิลทำให้เกิดการรวมตัวกันเกิดพีดที่ความถี่ 1634 cm^{-1} และ 1413 cm^{-1} เมื่อมีการคลอสลิงค์ด้วยแคลเซียม ไอออนจะการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพีดที่เกิดขึ้นเล็กน้อย ($\text{C}=\text{O}$) ที่ความถี่ 1634 และ 1413 cm^{-1} (Baljit Singh และคณะ, 2010 ; Shu-Huei และคณะ, 2013)

เมื่อมีการเติมสารสกัดสมอพิเภกและใบจากลงในเนื้อฟิล์ม พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันอะโรมาติกเกิดขึ้นในช่วงความถี่ 1450-1600 cm^{-1} ซึ่งลักษณะเป็นพีดเล็กๆ หลายพีด โดยฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกมีการแทรกของหมู่ฟังก์ชันของอะโรมาติกเกิดขึ้นในช่วงความถี่ 1450-1600 cm^{-1} และมีการหายไปของหมู่ฟังก์ชัน C-H bending ที่ช่วงความถี่ 1375 -1450 cm^{-1} อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่มีสารสกัดใบจากพบว่าการแทนที่หมู่ฟังก์ชันอะโรมาติกของสารสกัดขึ้นในช่วงความถี่ 1450-1600 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยึดของอะโรมาติก ($\text{C}=\text{C}$) เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าฟิล์มที่มีสารสกัดใบจาก เกิดจากการที่สารสกัดเข้าไปแทรกตาม โครงสร้างของแผ่นฟิล์มเท่านั้น ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น

การแทนที่ของหมู่ฟังก์ชันในแผ่นฟิล์มยังแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล กล่าวคือ โครงสร้างของแผ่นฟิล์มมีการเคลื่อนที่ดีขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มที่มีการแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันอะโรมาติก มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และความแข็งแรงของโครงสร้างลดลง อีกทั้งมีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างโครงสร้างให้น้ำสามารถผ่านได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.26 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในโมเลกุลของสารของฟิล์มอัลจินต (a) ฟิล์มแป้งเมล็ดขนุน (b) ฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน (c) ฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนคอสติงค์ด้วยแคลเซียมไอออน (d)



รูปที่ 4.27 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในโมเลกุลของสารของ ฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุน (a) สารสกัดสมอพิเภก (b) สารสกัดใบจาก (c) ฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดสมอพิเภก (d) ฟิล์มอัลจินตและแป้งเมล็ดขนุนที่มีสารสกัดใบจาก (e)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน พบว่า ได้ปริมาณของแป้งดิบ 24.67 กรัมต่อ 100 กรัมแห้ง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.60 ค่าพีเอชที่ 6.85 และลักษณะสีของแป้งที่ได้จะมีสีขาวอมเหลือง เมื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ พบว่า และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 90.93 กรัมต่อ 100 กรัมแห้ง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยปริมาณ โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า

5.1.2 ปริมาณสารสกัดหยาบจากสมอพิเภกและใบจาก ที่สกัดด้วย เมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน พบว่า สมอพิเภกและใบจากที่สกัดด้วยเมทานอล ให้ปริมาณของสารสกัดหยาบมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด สารสกัดจากสมอพิเภกมีปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่าใบจาก

5.1.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ โดยสารสกัดจากสมอพิเภกด้วยเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดใบจาก

5.1.4 การทดสอบหาฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disc diffusion method เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด พบว่า สารสกัดจากสมอพิเภกและใบจากด้วยเมทานอลมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดได้ดี เมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่นๆ โดยสามารถยับยั้ง *B.subtilis* และ *S.aureus* ได้ดีกว่า *E.coli* และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียจากสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด พบว่า สารสกัดจากสมอพิเภกมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่าสารสกัดใบจาก

5.1.5 การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมอพิเภกและใบจากที่มีผลต่อเซลล์ปอดของมนุษย์ (WI-38) พบว่า ค่าความเข้มข้นสารสกัดที่ทำให้ความมีชีวิตของเซลล์ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง เมื่อเทียบกับสภาวะปกติ (IC_{50}) ของสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก มีค่า 1.48 ± 0.10 และ 2.23 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ถือว่า สารสกัดทั้งสองมีความเป็นพิษต่อเซลล์มนุษย์ต่ำ

5.1.6 การเพิ่มปริมาณอัลจินตส่งผลให้ความหนาของฟิล์ม ค่าความสามารถการละลายน้ำ และค่าความสามารถการยึดตัวของฟิล์มมีค่าลดลง แต่มีผลเพิ่มค่าด้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มขึ้น

5.1.7 การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ส่งผลให้ความหนาและค่าความสามารถการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลลดค่าด้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มและค่าความสามารถในการยึดตัวของฟิล์ม

5.1.8 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน (60/40) ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธี disc agar diffusion พบว่า ฟิล์มที่ใส่สารสกัดสมอพิเภกที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงสุด ซึ่งฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกแสดงผลออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียสูงกว่าฟิล์มที่มีสารสกัดใบจาก

5.1.9 การเพิ่มสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก ส่งผลต่อให้ความหนา ค่าการละลายน้ำและค่าความสามารถการยึดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ลดค่าด้านทานแรงดึงขาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟิล์มที่ไม่ใส่สารสกัด

5.1.10 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน ที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดสมอพิเภกและใบจาก มีค่า 1821 ± 13 , 1858 ± 13 และ 1778 ± 21 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ และค่าการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มมีค่า 12.15 ± 0.2 , 15.25 ± 0.2 และ 16.05 ± 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ

5.1.11 อัตราการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกของฟิล์มที่ใส่สารสกัดสมอพิเภกและใบจากจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นสารประกอบฟีนอลิกที่ใส่ผสมในแผ่นฟิล์ม โดยในฟิล์มที่มีสารสกัดสมอพิเภกและใบจากความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะให้อัตราการปลดปล่อยที่สูงที่สุดคือ 5.05 และ 4.23 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

5.1.12 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในแผ่นฟิล์มที่ใส่สารสกัด โดย FTIR spectra ได้แสดงว่า สารสกัดจากสมอพิเภกทำให้เกิดหมู่อะโรมาติกที่ $1450-1600 \text{ cm}^{-1}$ และมีการหายไปของหมู่ C-H ที่ $1375-1450 \text{ cm}^{-1}$ ในขณะที่สารสกัดใบจากทำให้ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งอะโรมาติกที่ความถี่ $1450-1600 \text{ cm}^{-1}$ เท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการพัฒนาวิธีการผลิตฟิล์มเพื่อสามารถนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ เช่น การอัดรีด เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ ผลิตได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก และใช้เวลาในการผลิตน้อย

5.2.2 ควรมีศึกษาการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจากฟิล์มที่มีสารสกัดไปใช้ทดสอบกับตัวอาหารจริงๆ จะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดมีส่วนประกอบและความชื้นที่แตกต่างกันออกไป

5.2.3 ควรพัฒนาการใช้สารต้านแบคทีเรีย 2 ชนิด ร่วมกันในการขึ้นรูปฟิล์มต้านแบคทีเรีย เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กนกกร ศรีอนันต์. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่บริโภคได้จากแป้งผสมโคโคแซนสำหรับทุเรียนพร้อมบริโภค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรชีวภาพ ภาควิชาชีวภาพและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. วารสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (3) (2546).
- เกษกัญญา เร่งสุทธิ. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- มนทกานต์ เบญจพลากร. สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุน *Sterculia monosperma* Vent. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- ศยามล เนตรประภา. การพัฒนาเครื่องดื่มข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.
- อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. รายงานการวิจัยศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

ภาษาอังกฤษ

- Abdorrezza,N,M.,Cheng,L.H. and Karim ,A.A. Effect of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. Food Hydrocolliids 25 (2011) : 56-60
- Appelqvist, A. M. and Debet, M.R. Starch-biopolymer interaction - a review. Food Rev.Int. 13 (2) (1997): 163-224
- Appendini, P. and Hotchkiss, J.H..Review of antimicrobial food packaging. Innov. Food Sci. Emerg Technol. 3 (2002): 113-126.

- Arvanitoyannis, I., Nakayama, A. and Aiba, S. Edible films made from hydroxypropyl starch and gelatin and plasticized by polyols and water. Carbohydrate polymers. 36 (1998) : 105-119.
- Ahmad, I., Mehmood, Z. and Mohammad, F. Screening of some Indian medicinal plants for their antimicrobial properties. J. Ethno. 62 (1998) : 183–193
- Altenhofen da Silva, M., Krause Bierhalz, A.C., Guenter Kieckbush, T., 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{+2} ions: effect of the plasticizer concentration. Carbohydrate Polymers. 77 : 736–742.
- Baker, R.W. Controlled release of Biologically Active Agents. John Wiley and Sons, Inc., New York. (1987)
- Baliga. S.M., Shivashankara . R.A., Haniadka .R., Dsouza .J. and Bhat .P.H. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): A review. Food Research International. 44 (2011): 1800–1811.
- Benavides, S., Villalobos-Carvajal, R. and Reyes, J.E. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. J. Food Eng. 110 (2012) : 232–239
- Calvert, P.D. and N.C. Billingham. Loss of additive from polymer: a theoretical model. J. Appl. Polym. Sci. 24(1979): 357-370.
- Elizabeth, K. M. Antimicrobial Activity of *Terminalia Bellerica*. Indian Journal of Clinical Biochemistry. 20(2005): 150-153.
- Choi, J.H., Choi, W.Y., Cha, D.S., Chinnan, M.J., Park, H.J., Lee, D.S., and J Park, M. Diffusivity of potassium sorbate in kappa-carrageenan based antimicrobial films. LWT. 38 (2005) : 417– 423
- Dong, Z., Wang, Q. and Du, Y. Alginate/gelatin blend films and their properties for drug controlled release. J. Membrane Sci. 280 (2006) : 37-44.
- Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev Bhat, Uthumporn, U. and Chew, S. H. Physical and mechanical properties of sago starch – alginate films incorporated with calcium chloride. International Food Research Journal .18(3)(2011) : 1027-1033

- Franklin N.B., K.B. Cooksey and J.K. Getty Kelly. Inhibition of *listeria monocytogenes* on the surface of individually packaged hot dogs with a packaging films coating containing nisin. J. Food Prot. 67(2004): 480-485.
- G.F. Mehyar and J.H. Han. Physical and Mechanical Properties of High amylose Rice and Pea Starch Films as Affected by Relative Humidity and Plasticizer. Food Engineering and Physical Properties. 69(2004).
- Galus , S. and Lenart, A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. J. Food Eng. (2012)
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. and A. Entezami ,Ali. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. Food Science and Emerging Technologies. 11 (2010) : 697–702.
- Han, J.H. Antimicrobial food packaging. Food Technol. 54 (2000): 56-65
- Han, J.H. Antimicrobial food packaging .Novel Food Packaging Techniques. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge. (2003) : 50-70.
- Jagannath J. H., Radhika M., Nanjappa C., Murali H. S. and Bawa A. S. Antimicrobial, Mechanical, Barrier, and Thermal Properties of Starch–Casein Based, Neem (Melia azadirachta) Extract Containing Film. Food Research Laboratory.(2005)
- Jangchud,A. and Chinnan,M.S. Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. J. food sci.64 (1999) : 153-157.
- James, W.R. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Chapter : starch. Eagan Press, Minnesota. (1999): 117-151.
- Jarujutarat, J., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., Nimnaul, R. and Pratheepthinhong, S. The Study of Drying Technique on Properties of Chitosan Rice Starch Film. Agricultural Sci. J. 40(3) (2009) : 109-112.
- Kanchanatecha, P., Pathumthanasup, C., Tattawasart, A. and Chitropas, P. Effect of Plasticizer on Mechanical and Water Resistant Properties of Alcoholic-Alkaline Treated Mung Bean Starch Films. The Graduate Research Conference Khon Kaen University. (2011).

- Kechichian, V., Ditchfield, C., Veiga-Santos, P. and C. Tadini, C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. Food Science and Technology. 43(2010):1088-1094.
- Kokini, L.J., Shiuh, L. and Chedid, L.L. Effect of starch structure on starch rheological properties. Food Tech. 46(1992) : 124-139.
- Kokoszka, S., Debeaufort, F., Lenart, A. and Voilley, A. Water vapor permeability, thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films. International Dairy Journal. 20(2010) : 53–60.
- Kurek, M., Descours, E., Galic, K., Voilley, A. and Debeaufrot, F. How composition and process parameters affect volatile active compounds in biopolymer films. Carbohydrate Polymers .88, (2012) : 646–656.
- Laohakunjit, N. and Noomhorm, A. Effect of plasticizer on mechanical and barrier properties of rice starch film. Starch/Starke. 56(2004) : 348-356.
- Lee, K.Y . and Mooney, D. J. Alginate: Properties and biomedical applications . Progress in Polymer Science. 37 (2012) :106– 126.
- Leela, T., and Satirapipathkul, C. Studies on the Antibacterial Activity of Quercus Infectoria Galls. Int. J. Biosci. Biochem. Bioinf . 11 (2011): 410-114.
- Leovasut ,S., Uttapap, D. and Puttanlek, C. Effect of Gelatinization Temperature and Time on Properties of Edible Canna Starch Films Formed by Solvent Casting Technique.4(2008).
- List, P. H. and Schmidt, P. C. Phytopharmaceutical Technology. Heyden and son, London. (1989) : 361-368
- Lopez, O. V., Lecot, C.J., Zaritzky, N. E. and Garcia, M. A. Biodegradable packages development from starch based heat sealable films. J. Food Eng.105 (2011) : 254–263.
- Lund, D. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. Food Sci Nutr. 20(1984) : 249-273.
- M.A., Rojas-Grau., R.J., Ativena-Bustillos., C ,Olsen., M, Friedman., Henika P.R., O, Martin-Belloso., Z, Pan. And T H, McHugh. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. J. Food Eng. 81 (2007) : 634-641.

- Martinez,H,J., Schoenmakers, J, P. and Kok, T, W. Determination of the amylose– amylopectin ratio of starches by iodine-affinity capillary electrophoresis. J. Chromatography . 1053 (2004) : 227–234.
- Maizura, M., A. Fazilah, M.H. Norziah and A.A. Karim. Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch–alginate edible film containing lemongrass oil. J. Food Sci. 72(2007) : 324-330.
- Mehy, G.F. and Han, J.H. Physical and Mechanical Properties of Highamylose Rice and Pea Starch Films as Affected by Relative Humidity and Plasticizer. J. Food Sci. 69(2004).
- Mukprasit, A. and K. Sajjaanantakul. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. Int. J. Food Sci Tech. 39(2004) : 271-276.
- Murphy, P. S., Phillips ,G.O. and Williams , P.A. Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publishing, New York. (2000) : 41- 65.
- Muscat,D., Adhikari, B., Adhikari, R. and Chaudhary, D.S. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylosestarches using glycerol and xylitol as plasticizers. J. Food Eng. 109 (2012) : 189–201.
- Narklaor, D., Sangnark , A. and Limroongreungrat, K. Improvement in Quality of Jackfruit Seed Flour by Pregelatinization . Burapha Sci. J. 16 (1)(2011) : 12-21.
- Nafchi Abdorreza, M., Cheng, L.H. and Karim, A.A. Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. Food Hydrocolloids .25(2011) : 56-60.
- Norajit , K.,Kim, K.M. and Ryu, G. H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. J. Food Eng. 98 (2010) : 377–384.
- Oates, C.G. and Powell, A.D. Bioavailability of carbohydrate material stored in tropical fruit seeds. Food Chem. 56(1995) : 405-414.
- Kittipongpatana, S, O. and Kittipongpatana, N . Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches. Food Science and Technology .44 (2011) : 1766-1773.
- Peppas, N.A., Korsmeyer, R.W.,. Dynamically swelling hydrogels in controlled release applications, in hydrogels in medicines and pharmacy, Properties and Applications. 3(1987) : 118–121.

- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Amaral Sobral, P. J. and Menegalli, F.C. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). Food Hydrocolloids. 30 (2012) : 681-690.
- Phillips, O.G. and Williams, P.A. Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publishish Limited, New York. (2000).
- Rengsutthi, K. and Charoenrein, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. Food Science and Technology. 44 (2011): 1309-1313.
- Rojas-Grau, Maria A., Avena-Bustillos, Roberto J., Olsen, Carl., Friedman, Mendel., Henika, Philip R., Martin-Belloso, Olga., Pan, Zhongli. and McHugh., Tara H. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate–apple puree edible films. J. Food Eng. 81 (2007) : 634–641.
- Ruangnoo, S. Antioxidant and cytotoxic activities of triphala formula. Master's Thesis, Department of Pharmaceutical Sciences, Faculty of Pharmacy, Prince of Songkla University, 2007.
- Sabu, M.U. and Kuttan, R. Antidiabetic and antioxidant activity of *Terminalia bellerica*. Indian J. Experimental Biology. 47(2009) : 270-275.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Gill, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chem. 81(2003) : 219-231.
- Singh B, Sharma D.K., Kumar, R. and Gupta, A. Controlled release of thiram from neem-alginate-clay based delivery systems to manage environmental and health hazards. Applied Clay Science. 47 (2010) 384–391
- Siti, A., Davis P, A. and Ramasamy, K. Cytotoxic and antimicrobial activities of Malaysian marine endophytic fungi. Botanica Marina. 54 (2011): 95–100
- Swinkels, J.M. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Inc., New York. (1985).
- Suppakul, P., J. Miltz, K. Sonneveld and S.W. Bigger. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. J. Food Sci. 68(2003): 408-420.

- Tambekar, D. H., Khante, B.S., Dahikar, S.B. and Zarey, V.M. Antibacterial properties of contents of triphala : A traditional indian herbal preparation. Continental J. Microbiology. 1 (2007): 8-12.
- Tassavil, P., Kerdchoecheen, O., and Laohakunjit, N. Properties of Biopolymer Composite Films from Starch and Pectin. J. Agricultural Sci. 41(3) (2010) : 597-600.
- Tassou, C.C., E.H. Drosinos and G.J.E. Nychas. Effects of essential oil from mint (*Mentha piperita*) on *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* in model foodsystems at 4°C and 10°C. J. Appl. Bacteriol. 78(1995): 593–600.
- Tharanathan, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science&Technology. 14(2003): 71–78.
- Tester, F.R. Frazies, P.L. Donald, A.M. and Richmond, P. Starch Structure and Functionality. The Royal Society of Chemistry, U.K. (1997) : 163 – 147.
- Tongdang, T. Some properties of starch extracted from three Thai aromatic fruit seeds. Starch/Starke. 60(2008): 199-207.
- Tong, Q., Qian, X., and Loong-Tak, L. Preparation and properties of pullulan–alginate–carboxymethylcellulose blend films. Food Research International. 41 (2008): 1007–1014.
- Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., and Jaiboon, N. Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. Science Asia. 28(2002): 37-41.
- Vudhivanich, S. and Supanuntorn, S. Efficacy of Medicinal Plant Crude Extracts on Growth Inhibition of *Ralstonia solanacearum*, the Causal Agent of Bacterial Wilt of Tomato. Kamphaengsaen Acad. 3(2005): 11-27.
- Vudhivanich, S. Efficacy of Medicinal Plant Crude Extracts on Growth Inhibition of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, the Vegetable Soft Rot Agent. Kamphaengsaen Acad. 2(2004): 72-81.
- Vudhivanich, S. and S. Supanuntorn. Potential of Thai herbal extract for growth inhibition of *Ralstonia solanacearum*, the causal agent of bacterial wilt of tomato. The First International Conference on Tropical and Subtropical Plant Diseases. November 5-8, 2002. Chiang Mai, Thailand. P.161.

- Wang, H.H., Sun, D.W., Zeng, Q. and Lu, Y. Effect of pH corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. J. Food Eng. 46(2000) : 133-138.
- Wu, Q.X. and Zhang, L.N. Structure and properties of casting films blended with starch and waterborne polyurethane. J. Appl. Polym. Sci. 79(2001) : 2006–2013.
- Whan Rhim, J,. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. Techno.37 (2004) : 323–330
- Xu,Y.X., Kim, K.M., Hanna, M.A. and Nag, D. Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. Industrial Crops and Products .21 (2005) : 185–192.
- Y, Wu., C , Weller., Hamouz , L., S.F, Cuppett., L. and M, Schnepf. Development and application of multicomponent edible coatings and films: a review. Advances in Food and Nutrition Research. 44 (2002):347-394.
- Yu-Yang Liu and Xiao-Dong Fan. Synthesis, properties and controlled release behaviors of hydrogel networks using cyclodextrin as pendant groups. Biomaterials. 26 (2005) : 6367–6374
- Zactiti, E.M. and Kieckbusch, T.G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films : Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. J. Food Engineering. 77 (2006) : 462–467.
- Zivanovic, S., S. Chi and A.F. Draughon. Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. J. Food Sci. 70 (2005) : 45-51.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของสารสกัดจากสมุนไพรนำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวทำละลายออก เพื่อหาปริมาณผลผลิตที่ได้ด้วยเครื่องกลั่นระเหยระบบสูญญากาศ คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\% \text{Yield (dry weight basis)} = (W_1 \times 100) / W_2$$

W_1 = น้ำหนัก สารสกัดหลังจากระเหยตัวทำละลายออก (กรัม)

W_2 = น้ำหนักแห้ง ของตัวอย่าง (กรัม)

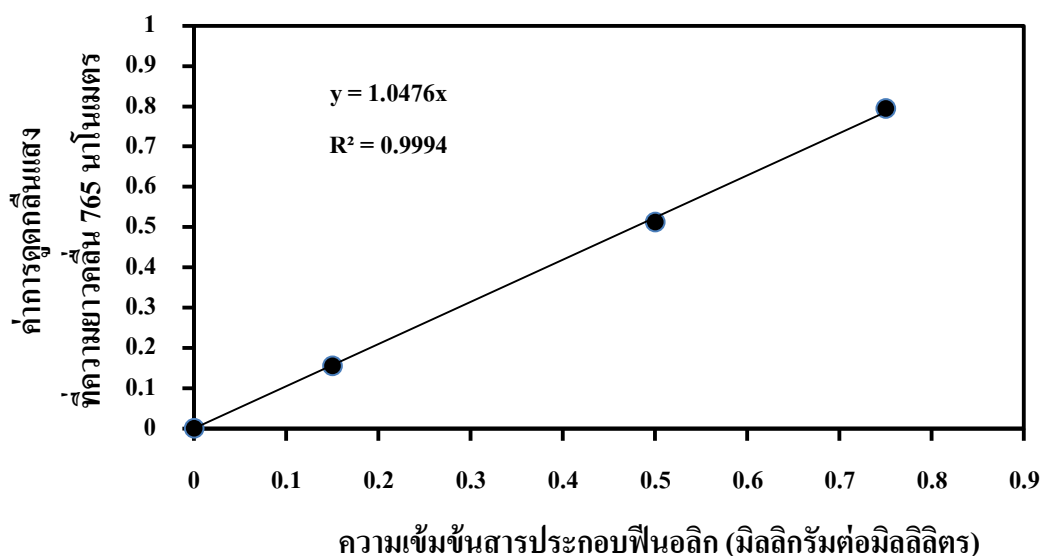
2. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก

การวัดค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก จะเป็นการวัดค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds) วิเคราะห์ตามวิธี Folin Ciocalteu micro method โดยนำตัวอย่างสารสกัดที่กรองได้ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 1.58 มิลลิลิตร และ Folin-ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมเข้าด้วยกันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 8 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงไปผสมเข้าด้วยกัน และทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกเพื่อหาค่าความเข้มข้นฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้ในหน่วย มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3. การสร้างกราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิก

การสร้างกราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิก จะใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ทำได้โดยเตรียมกรดแกลลิก 5 กรัมผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร ต่อ ปริมาตร) 10 มิลลิลิตรและทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยขวดปรับ ปริมาตร หลังจากนั้นนำสารละลายดังกล่าวมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในปริมาตร 1, 2, 5, 10 และ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 50, 100, 250, 500 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่เตรียมได้ จะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงตามวิธีข้างต้น ที่

ความเข้มข้นกรดแกลลิกต่างๆ เมื่อทราบค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงนั้น มาพลอตกราฟ จะได้กราฟมาตรฐานฟีนอลิกแสดงดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิก

4. การหาค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิก

ค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิกสามารถหาได้จากค่าความเข้มข้นสารประกอบ ฟีนอลิก โดยนำมาแทนสูตรดังต่อไปนี้

$$C = c \cdot (V_2 + V_3) (V_1 / V_2) / M$$

โดยที่	C	คือ ค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสมุนไพรแห้ง)
	c	คือ ความเข้มข้นสารสกัดฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลแกลลิกต่อมิลลิลิตร)
	V ₁	คือ ปริมาตรที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)
	V ₂	คือ ปริมาตรที่ดึงมาเจือจาง (มิลลิลิตร)
	V ₃	คือ ปริมาตรที่เติมเพื่อเจือจาง (มิลลิลิตร)
	M	คือ น้ำหนักสมุนไพรแห้งที่ใช้ในการสกัด (กรัม)

5. คำนวณค่าร้อยละความมีชีวิตของเซลล์ (% viability) ที่ค่าการดูดกลืนแสง 540 นาโนเมตร

$$\% \text{ Cell viability} = (\text{Asample}/\text{Acontrol}) \times 100$$

% Cell viability = ร้อยละความมีชีวิตของเซลล์

Asample = ค่าการดูดกลืนแสงของเซลล์ที่ใส่สารสกัดแต่ละความเข้มข้น

Acontrol = ค่าการดูดกลืนแสงของเซลล์ที่ไม่ใส่สารสกัด

6. ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ไปยับยั้งการเจริญของเซลล์ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC₅₀)

การหาค่า IC₅₀ โดยใช้โปรแกรม excel สร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า log₁₀ ให้แกน X เป็นค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างและแกน y คือ ร้อยละการมีชีวิตของเซลล์ (%viability) คำนวณค่า IC₅₀ โดยแทนค่า y = 50 ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า x และ antilog x ซึ่งจะเป็นค่า IC₅₀

ภาคผนวก ข
ข้อมูลทางการทดลอง

ตารางที่ ข-1 การเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดสมุนไพรด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10

สมุนไพร	ตัวทำละลาย	ค่าผลได้สารสกัดหยาบ (กรัมต่อ 100 กรัมสมุนไพรแห้ง)
สมอพิเภก	เฮกเซน	4.953
	ไดคลอโรมีเทน	9.103
	เมทานอล	72.837
ใบจาก	เฮกเซน	4.133
	ไดคลอโรมีเทน	7.653
	เมทานอล	62.343

ตารางที่ ข-2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากสมุนไพรจากตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10

สมุนไพร	ตัวทำละลาย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (กรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมสารสกัดหยาบ)	ค่าผลได้สารประกอบฟีนอลิก (กรัม ต่อ 100 กรัมสารสกัด หยาบ)
สมอพิเภก	เฮกเซน	21.31	0.8524
	ไดคลอโรมีเทน	59.47	11.894
	เมทานอล	122.25	24.45
ใบจาก	เฮกเซน	20.29	0.8116
	ไดคลอโรมีเทน	46.53	9.306
	เมทานอล	85.74	17.148

ตารางที่ ข-3 ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากสมุนไพรไทยด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

สมุนไพร	ตัวทำละลาย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (มิลลิเมตร)								
		<i>E. coli</i>			<i>B. subtilis</i>			<i>S. aureus</i>		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
สมอ พิเภก	เฮกเซน	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.75	1	0.9	0.8
	ไดคลอโรมีเทน	0.9	0.8	0.85	0.9	1	1.2	1.2	1.3	1.35
	เมทานอล	1.4	1.5	1.6	1.4	1.8	2.1	2.1	2.2	2.2
ใบจาก	เฮกเซน	0.7	0.74	0.68	1	0.9	0.93	1	0.98	0.89
	ไดคลอโรมีเทน	0.9	0.95	0.98	1.2	1.21	1.25	1.2	1.1	1.23
	เมทานอล	1.4	1.52	1.48	2.2	2.3	2.4	2.2	2.1	2.32

ตารางที่ ข-4 ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มที่มีสารสกัดจากสมุนไพรไทยที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ที่ปริมาณต่างๆ

สมุนไพร	ปริมาณสารสกัด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (มิลลิเมตร)								
		<i>E. coli</i>			<i>B. subtilis</i>			<i>S. aureus</i>		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
สมอพิเภก	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	8.36	8.39	8.33	12.63	12.6	12.68	11.44	11.45	11.48
ใบจาก	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	7.43	7.41	7.46	11.86	11.85	11.87	10.23	10.21	10.25

ตารางที่ ข-5 ความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีต่อเซลล์ปอดของมนุษย์ (เซลล์ WI-38) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สมุนไพร	ความเข้มข้นของ สารสกัด (มก./มล.)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) ของเซลล์ที่มีสารสกัด			ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) ของเซลล์ที่ไม่มีสารสกัด			ร้อยละการมีชีวิตของเซลล์	ค่าความคลาด เคลื่อน
		1	2	3	1	2	3		
สมอพิเภก	0.00	0.999	1.021	1.021	0.145	0.142	0.141	100.000	0.015
	0.01	0.977	0.995	0.958	0.116	0.121	0.119	98.850	0.021
	0.02	0.892	0.898	0.869	0.050	0.045	0.069	95.810	0.018
	0.05	0.836	0.838	0.844	0.065	0.057	0.069	89.360	0.005
	0.16	0.758	0.774	0.799	0.050	0.043	0.050	84.020	0.024
	0.50	0.728	0.734	0.721	0.078	0.079	0.078	74.810	0.007
	1.58	0.520	0.432	0.468	0.080	0.089	0.082	44.890	0.051
	5.00	0.253	0.255	0.210	0.052	0.059	0.057	21.120	0.029
	15.81	0.178	0.219	0.192	0.060	0.079	0.070	14.590	0.024
ใบจาก	0.00	1.039	1.043	1.037	0.169	0.169	0.165	100.460	0.004
	0.01	1.028	0.933	1.027	0.135	0.124	0.130	99.810	0.063
	0.02	0.960	0.935	0.945	0.096	0.099	0.098	97.810	0.014
	0.05	0.935	0.948	0.916	0.076	0.068	0.078	98.960	0.019
	0.16	0.887	0.863	0.854	0.040	0.049	0.047	94.780	0.020
	0.50	0.848	0.821	0.831	0.067	0.184	0.104	82.370	0.016
	1.58	0.676	0.679	0.675	0.076	0.071	0.107	68.200	0.002
	5.00	0.283	0.286	0.270	0.041	0.048	0.045	27.070	0.010
	15.81	0.214	0.241	0.241	0.086	0.049	0.102	17.630	0.018

ตารางที่ ข-6 กราฟแสดงการหา IC_{50} ของสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีต่อเซลล์ปอดของมนุษย์ (เซลล์ WI-38) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สมุนไพร	IC_{50}			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3		
สมอพิเภก	1.591	1.394	1.462	1.482	0.100
ใบจาก	2.455	2.231	1.999	2.228	0.228

ตารางที่ ข-7 ค่าความหนาของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน

อัตราส่วน		ความหนาของฟิล์ม (มม.)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อัลจินต	แป้ง	1	2	3		
0	100	0.160	0.180	0.130	0.157	0.025
20	80	0.170	0.180	0.190	0.180	0.010
40	60	0.190	0.170	0.230	0.197	0.031
60	40	0.230	0.200	0.220	0.217	0.015
80	20	0.210	0.230	0.260	0.233	0.025
100	0	0.180	0.160	0.170	0.170	0.010
0	100	0.180	0.150	0.180	0.170	0.017
20	80	0.170	0.230	0.220	0.207	0.032
40	60	0.280	0.250	0.220	0.250	0.030
60	40	0.240	0.230	0.260	0.243	0.015
80	20	0.290	0.270	0.240	0.267	0.025
100	0	0.190	0.170	0.180	0.180	0.010
0	100	0.180	0.190	0.180	0.183	0.006
20	80	0.210	0.230	0.250	0.230	0.020
40	60	0.270	0.300	0.280	0.283	0.015
60	40	0.290	0.310	0.260	0.287	0.025
80	20	0.280	0.260	0.290	0.277	0.015
100	0	0.190	0.220	0.180	0.197	0.021

ตารางที่ ข-8 ค่าความหนาของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน ที่มีสารสกัด

สมุนไพร	ปริมาณสาร (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)			เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
สมอพิเภก	0	0.230	0.200	0.220	0.217	0.015
	5	0.270	0.260	0.260	0.263	0.006
	10	0.290	0.310	0.280	0.293	0.015
	15	0.310	0.320	0.280	0.303	0.021
ใบจาก	0	0.230	0.200	0.220	0.217	0.015
	5	0.250	0.270	0.250	0.257	0.012
	10	0.290	0.300	0.280	0.290	0.010
	15	0.310	0.300	0.300	0.303	0.006

ตารางที่ ข-9 ค่าความสามารถการละลายน้ำของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน ที่มีสารสกัด

สมุนไพร	ปริมาณสาร (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	น้ำหนักที่เหลือของฟิล์ม (มิลลิกรัม)			ค่าร้อยละการ ละลายน้ำ	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
สมอพิเภก	0	0.0583	0.0805	0.0608	6.65	0.012
	5	0.0831	0.0974	0.0565	7.90	0.005
	10	0.0951	0.0855	0.0859	8.88	0.005
	15	0.1226	0.0564	0.1055	9.48	0.012
ใบจาก	0	0.0583	0.0805	0.0608	6.65	0.012
	5	0.0584	0.0926	0.0795	7.68	0.017
	10	0.1107	0.0512	0.0870	8.30	0.016
	15	0.0709	0.1070	0.1095	9.58	0.021

ตารางที่ ข-10 ค่าความสามารถการละลายน้ำของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน ที่มีสารสกัด

อัตราส่วน		กลีเซอรอล (ร้อยละ โดย น้ำหนัก)	น้ำหนักที่เหลือของฟิล์ม			ค่าร้อยละการ ละลายน้ำ	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
อัลจินต	แป้ง		1	2	3		
0	100	10	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	0.04
20	80	10	0.1462	0.1647	0.1605	15.71	0.01
40	60	10	0.0638	0.0489	0.1345	8.24	0.05
60	40	10	0.0583	0.0805	0.0608	6.65	0.01
80	20	10	0.0735	0.0373	0.0747	6.18	0.02
100	0	10	0.0507	0.0516	0.0468	4.97	0.00
0	100	15	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	0.05
20	80	15	0.0882	0.1826	0.2674	17.94	0.09
40	60	15	0.2644	0.0696	0.1010	14.50	0.10
60	40	15	0.1338	0.1146	0.1302	12.62	0.01
80	20	15	0.0797	0.1106	0.0987	9.64	0.02
100	0	15	0.0751	0.1146	0.0786	8.95	0.02
0	100	20	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	0.12
20	80	20	0.2945	0.1829	0.168	21.51	0.07
40	60	20	0.2281	0.152	0.1253	16.85	0.05
60	40	20	0.1638	0.2535	0.0128	14.34	0.12
80	20	20	0.0969	0.1694	0.0708	11.24	0.05
100	0	20	0.0733	0.1480	0.1333	11.82	0.04

ตารางที่ ข-11 สมบัติเชิงกลของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน

อัตราส่วน		กลีเซอรอล (ร้อยละ โดย น้ำหนัก)	ค่าต้านทาน แรงดึง (เมกะ ปาสคาล)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ร้อยละการ ยืดตัว	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
อัลจินต	แป้ง					
0	100	10	5.638	1.130	52.762	2.648
20	80	10	17.334	1.804	47.990	2.020
40	60	10	26.282	1.949	43.172	1.969
60	40	10	51.942	2.697	41.034	1.802
80	20	10	53.414	1.922	34.554	2.440
100	0	10	61.428	2.148	22.986	2.015
0	100	15	4.858	1.021	42.444	4.244
20	80	15	13.992	1.272	34.968	3.496
40	60	15	20.078	1.258	30.232	3.023
60	40	15	42.247	1.274	29.010	2.901
80	20	15	47.486	1.370	16.026	1.602
100	0	15	51.788	1.484	6.148	6.148
0	100	20	3.688	0.883	47.020	4.702
20	80	20	11.810	1.102	41.548	4.154
40	60	20	17.544	1.530	38.570	3.857
60	40	20	41.571	1.511	36.740	3.674
80	20	20	42.462	1.101	21.916	2.191
100	0	20	46.130	1.602	10.214	1.021

ตารางที่ ข-12 สมบัติเชิงกลของฟิล์มอัลจินต/แป้งเมล็ดขนุน ที่มีสารสกัด

สมุนไพร	ปริมาณสารสกัด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ร้อยละการยืดตัว	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สมอพิเภก	0	51.942	2.697	41.034	1.802
	5	41.45	1.488	46.672	2.808
	10	33.62	2.079	50.368	2.697
	15	22.664	1.977	57.788	4.716
ใบจาก	0	51.942	2.697	41.034	1.802
	5	42.434	1.508	45.528	3.335
	10	34.882	2.212	51.742	3.120
	15	23.738	1.947	60.862	2.901

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกานติมา จันทราพันธุ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	24 กุมภาพันธ์ 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
ประวัติการศึกษา	โรงเรียนพระหฤทัย เชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ.2549 วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี พ.ศ. 2553 ศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2554

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Kantima Juntarapun and Chutimon Satirapipathkul. ANTIMICROBIAL FINISHING OF TEXTILE USING BIO-ACTIVE INGREDIENT OF *QUERCUS INFECTORIA* . Pure And Applied Chemistry International Conference 2012. ; วันที่ 11-13 มกราคม 2554 ณ โรงแรมดิเอ็มเพลส จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย

Kantima Juntarapun and Chutimon Satirapipathkul. SOLVENT EXTRACTION OF BIO-ACTIVE COMPOUNDS FROM *TERMINALIA BELLERICA ROXB.* International Conference on Microbial Taxonomy, Basic and Applied Microbiology. ;วันที่ 4-6 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมโมยะ จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย