

การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชัน

PREPARATION OF CHITOSAN/CURCUMIN NANOCOMPOSITES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PREPARATION OF CHITOSAN/CURCUMIN NANOCOMPOSITES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING  
IN NANOMATERIAL ENGINEERING  
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใด ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี  
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชัน  
Special Project Title Preparation of chitosan/curcumin nanocomposites  
นักศึกษา นางสาวศุภลวัฒน์ เชาวนดี  
รหัสประจำตัว 55110050  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี  
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน  
ปีการศึกษา 2558  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.กนกทิพย์ บุนยรัตกลิน	<i>Kanthy Bunyath</i>
ดร.ทศพล เมลืองนนท์	<i>ทศพล เมลืองนนท์</i>
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	<i>[Signature]</i>

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน  
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRBANG

*[Signature]*

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพจิตร)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
วันที่... 8 ... เดือน... มิถุนายน ... พ.ศ. 2559

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน
นักศึกษา	นางสาวศุภลวัฒน์ เขาวนดี
รหัสประจำตัว	55110050
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันด้วยวิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว โดยใช้สารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1:0.5 1:1 และ 1:2 ในวิธีการดูดซับจะเตรียมอนุภาคโคโตซานโดยผสมสารละลายโคโตซานกับสารเชื่อมโยง จากนั้นนำอนุภาคโคโตซานที่ได้ไปแช่ในสารละลายขมิ้นชันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้เป็นวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ส่วนวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว แบ่งออกเป็น การเตรียม 2 รูปแบบ โดยการเตรียมรูปแบบที่ 1 เริ่มจากการนำสารละลายขมิ้นชันผสมกับโคโตซาน แล้วจึงเติมสารเชื่อมโยงได้เป็นวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ในขณะที่การเตรียมรูปแบบที่ 2 จะนำสารละลายขมิ้นชันผสมกับสารเชื่อมโยงก่อน แล้วจึงผสมลงในโคโตซานเพื่อให้เกิดเป็นได้เป็นวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่าโครงสร้างของวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมโดยใช้สารเชื่อมโยง TPP ด้วยวิธีการดูดซับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการดูดซับขมิ้นชัน แต่โครงสร้างที่เชื่อมโยงด้วย SDS จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อดูดซับขมิ้นชัน เนื่องจากการเชื่อมโยงของ SDS เกิดเพียงบางส่วน จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เมื่อดูดซับขมิ้นชัน ในการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1 พบว่าขมิ้นชันสามารถเกิดอันตรกิริยากับโคโตซานเป็นผลให้ขัดขวางการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ TPP อย่างไรก็ตามการขัดขวางการเชื่อมโยงของโคโตซานไม่พบในระบบของ SDS ส่วนในการเตรียมรูปแบบที่ 2 การผสมขมิ้นชันกับสารเชื่อมโยงก่อนการผสมโคโตซาน ไม่ก่อให้เกิดการขัดขวางการเชื่อมโยงของโคโตซานเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้จะเป็นผลให้วัสดุประกอบนาโนมีประสิทธิภาพในการบรรจุขมิ้นชันสูงขึ้น วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1 ทั้งในกรณีที่ใช้ TPP และ SDS สามารถปลดปล่อยขมิ้นชันออกมาในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารได้ 96.99 เปอร์เซ็นต์ และ 58.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมด้วย TPP ยังมีสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ในขณะที่วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมด้วย SDS ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* ได้เพียงชนิดเดียว

**คำสำคัญ :** โคโตซาน การเชื่อมโยง วิธีการดูดซับ วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว การปลดปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation of chitosan/curcumin nanocomposites
Student	Miss Sukollawan Chaodee
Student ID	55110050
Degree	Bachelor of Engineering
Major Program	Nanomaterial Engineering
Year	2015
Advisor	Asst. Prof. Dr. Punnama Siriphannon

## ABSTRACT

This research studied on preparation of chitosan/curcumin nanocomposites *via* adsorption and one-step methods by using two crosslinking agents, *i.e.* sodium tripolyphosphate (TPP) and sodium dodecyl sulfate (SDS), using various weight ratios of chitosan to crosslinking agent, *i.e.* 1:0.5, 1:1, and 1:2. In the adsorption method, the chitosan particles were prepared by mixing the chitosan solution with the crosslinking agent. The chitosan particles were then soaked in the curcumin solution for 24 hours in order to produce the chitosan/curcumin nanocomposites. In the one-step method, there was divided into 2 preparation types. In the first preparation type, the curcumin solution was mixed with the chitosan solution prior to the adding into the crosslinking agent to obtain the chitosan/curcumin nanocomposites. In the second preparation type, the curcumin solution was mixed with the crosslinking agent prior to the addition into the chitosan solution to obtain the chitosan/curcumin nanocomposites. The nanocomposites were characterized by various techniques. It was found that, the structure of nanocomposites crosslinked with TPP in the adsorption method did not change after curcumin adsorption. However, the structure of nanocomposites crosslinked with SDS was changed after curcumin adsorption because the chitosan was partially crosslinked by SDS, resulting in structural change when curcumin adsorption. For the first preparation type of one-step method, the curcumin interacted with chitosan, resulting in the inhibition of crosslinking between chitosan and TPP. However, the crosslink inhibition did not occur in the SDS system. In the second preparation type, the prior mixing of curcumin and crosslinking agent before adding the chitosan did not interfere the chitosan crosslinking. The increase of the amount of crosslinking agent resulted in the increase of the curcumin encapsulation efficiency of

nanocomposites. The nanocomposites prepared *via* adsorption method by using TPP and SDS with weight ratio of chitosan to crosslinking agent 1:1 could respectively release 96.99% and 58.11% of curcumin in stimulated gastric fluid. Moreover, the nanocomposites prepared by using TPP possessed the antimicrobial activity for *S.aureus* and *E.coli*, while, the one prepared by using SDS inhibited only the *S.aureus*.

**Keywords :** chitosan, crosslinking, adsorption method, one-step method, release



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหารวมทั้งเอาใจใส่ดูแลการทำงานมาโดยตลอด จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาลัยนาโนและศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เอื้อเพื่อความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและการให้ความช่วยเหลือ รวมถึงรุ่นพี่และเพื่อนๆ นักศึกษาที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและให้กำลังใจ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี



ศุกลวัฒน์ เชาวน์ดี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iv
สารบัญ.....	v
สารบัญตาราง.....	viii
สารบัญภาพ.....	x
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 ขมิ้นชัน.....	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน.....	4
2.1.2 สารสำคัญในขมิ้นชัน.....	4
2.1.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา.....	5
2.1.4 การนำขมิ้นชันไปใช้ประโยชน์.....	6
2.2 ไคโตซาน.....	6
2.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไคโตซาน.....	7
2.2.2 การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์.....	10
2.3 สารเชื่อมโยง.....	11
2.3.1 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.....	11
2.3.2 โซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต.....	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการทดลอง.....	18
3.3.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการดูดซับ.....	18
3.3.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว.....	21
3.3.3 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น.....	25
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์.....	25
3.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) .....	25
3.4.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) .....	25
3.5 การทดสอบการปลดปล่อยไขมันชั้น.....	25
3.6 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	27
4.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการดูดซับ.....	27
4.1.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงต่อสมบัติทางความร้อน.....	27
4.1.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันชั้น.....	29
4.1.3 การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมได้ด้วยวิธีการดูดซับ.....	32
4.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว.....	36
4.2.1 วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียม แบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	36
4.2.2 วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียม แบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2.....	42
4.3 การปลดปล่อยไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น.....	47
4.4 ผลทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาคโคโตะซานและวัสดุประกอบนาโน โคโตะซาน/ขมิ้นชัน.....	60
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของสารละลายขมิ้นชันในสารละลายผสม.....	65
ประวัติผู้เขียน.....	67



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.....	12
2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมโตะเตคซิลลัฟเฟต.....	12
3.1 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นและสภาวะในการเตรียม ด้วยวิธีการดูดซับ.....	19
3.2 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น และสภาวะในการเตรียม ด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	21
3.3 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น และสภาวะในการเตรียม ด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	23
4.1 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP และ SDS จากเทอร์โมแกรม DSC.....	27
4.2 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ.....	30
4.3 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบ นาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ.....	32
4.4 ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ.....	35
4.5 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1.....	36
4.6 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	39
4.7 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	41
4.8 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2.....	42
4.9 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	44

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	45
4.11 การปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ สารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	48
4.12 การปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่ใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน ที่เวลาต่างๆ.....	49
4.13 การปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน ที่เวลาต่างๆ.....	52
4.14 เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น.....	53

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน.....	4
2.2 โครงสร้างทางเคมีของโคตินและโคโตซาน.....	7
2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไทรโพลีฟอสเฟต.....	11
2.4 โซเดียมโอดีเดซิลซัลเฟต (ก) โครงสร้างทางเคมี และ (ข) โครงสร้างแบบไมเซลล์.....	13
3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการดูดซับ.....	20
3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	22
3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	24
4.1 กลไกการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ TPP.....	28
4.2 กลไกการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ SDS (ก) แบบไมเซลล์ และ (ข) แบบแซนด์วิช.....	29
4.3 กลไกการดูดซับขมิ้นชันในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการดูดซับ.....	31
4.4 สเปกตรัม FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน.....	33
4.5 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ.....	34
4.6 กลไกการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการเตรียม แบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1.....	38
4.7 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วย วิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	40
4.8 กลไกที่การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน ด้วยวิธีการเตรียม แบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	43
4.9 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วย วิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ผลการปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่ใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน ที่เวลาต่างๆ.....	50
4.11 ผลการปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน ที่เวลาต่างกัน.....	51
4.12 สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (ก) <i>S.aureus</i> และ (ข) <i>E.coli</i> ของ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น.....	53
ก.1 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาคโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP หรือ SDS.....	61
ก.2 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ.....	62
ก.3 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วย วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1.....	63
ก.4 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วย วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2.....	64
ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างน้ำกลั่นและเอทานอล.....	66
ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่าง กรดอะซิติก เอทานอลและน้ำกลั่น .....	66

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ไขมันชั้นเป็นพีชล้มลุกชนิดหนึ่งที่พบได้ทั่วไป นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร ใช้เป็นเครื่องเทศเพื่อแต่งสีและกลิ่นของอาหาร นอกจากนี้ไขมันชั้นอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินซีและวิตามินอี จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมความงาม ทั้งยังมีสรรพคุณทางยาที่รักษาอาการและโรคต่างๆ เช่น แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด ลดการอักเสบ รวมถึงมีฤทธิ์ในการต่อต้านแบคทีเรียและอนุมูลอิสระ ด้านการเกิดเซลล์มะเร็งได้ แต่ทว่าไขมันชั้นมีความสามารถในการละลายต่ำและมีกระบวนการสลายตัวที่รวดเร็ว ส่งผลให้ร่างกายมีการดูดซึมไขมันชั้นเพื่อไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ทำให้มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ทางยาที่ลดลง

จากข้อจำกัดของไขมันชั้นดังกล่าวมาข้างต้น กลุ่มวิจัยต่างๆจึงได้มีการนำไขมันชั้นมาทำการเตรียมเป็นวัสดุประกอบ หรือเตรียมเป็นนาโนแคปซูลที่บรรจุไขมันชั้นไว้ภายใน เช่น นำไขมันชั้นมาเตรียมเป็นวัสดุประกอบโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและดินมอนต์มอริลโลไนต์ เตรียมเป็นนาโนแคปซูลโดยใช้โคโตซานและน้ำมันมิเนอรัลด้วยวิธีการอิมัลชัน และเตรียมเป็นนาโนเจลโดยใช้โคโตซานและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เพื่อให้ไขมันชั้นสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ยาวนานและมีความสามารถในการออกฤทธิ์ได้ดีขึ้น

โครงการพิเศษนี้จึงสนใจที่จะศึกษากระบวนการที่จะเตรียมไขมันชั้นไว้ภายในโครงสร้างของโคโตซานและสารเชื่อมโยงในรูปของวัสดุประกอบนาโน เนื่องจากโคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่มีความเป็นพิษ เป็นตัวกักเก็บสารและขนส่งสารที่แข็งแรง มีความคงตัวสูง อีกทั้งสารเชื่อมโยงจะทำให้โครงสร้างของวัสดุประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น โคโตซานและสารเชื่อมโยงจะทำหน้าที่ในการบรรจุไขมันชั้นไว้ภายใน ทำให้ไขมันชั้นสลายตัวได้ยากขึ้น และสามารถควบคุมการปลดปล่อยไขมันชั้นออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ นอกจากนี้จะศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียและทดสอบความเป็นพิษของวัสดุประกอบด้วย ทั้งนี้กระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่โครงการพิเศษนี้นำเสนอ ได้แก่ วิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ประหยัดค่าใช้จ่าย และมีความเป็นไปได้ที่จะบรรจุไขมันชั้นไว้ภายในโครงสร้างและมีความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น

1.2.2 ศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการเตรียมต่อโครงสร้างและความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น

1.3.1.1 กระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ได้แก่ วิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว

1.3.1.2 ชนิดของสารเชื่อมโยง ได้แก่ สารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และสารละลายโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต

1.3.1.3 ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

1.3.2 ศึกษาสภาวะและความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้น

1.3.2.1 ทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นจากกระบวนการเตรียมต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส

1.3.2.2 ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบการปลดปล่อยไขมันชั้น ได้แก่ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ น้ำมันมะพร้าว สารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร และสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้

1.3.3 การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่

1.3.3.1 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-VIS Spectroscopy)

1.3.3.2 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

1.3.3.3 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

1.3.3.4 การทดสอบสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันด้วยวิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวได้

1.4.2 สามารถศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบรรจุขมิ้นชันและมีความสามารถในการปลดปล่อยขมิ้นชันได้ดี

1.4.3 สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนที่ใช้ประโยชน์จากสมุนไพรตามธรรมชาติและมีสมบัติในการต้านทานแบคทีเรีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

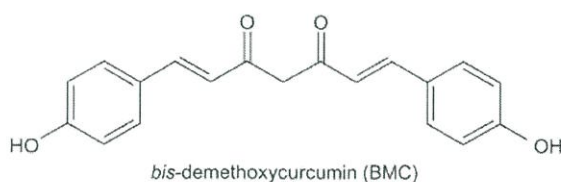
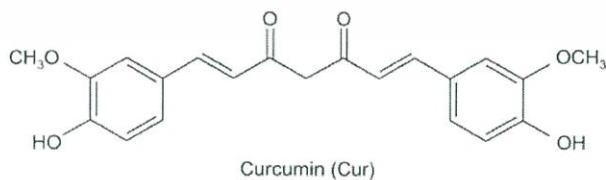
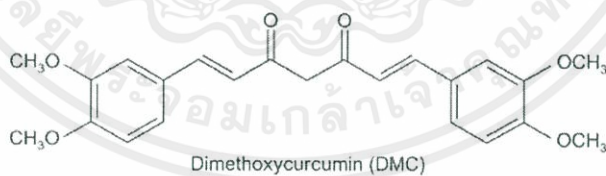
### 2.1 ขมิ้นชัน (Curcumin)

#### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน [1]

ขมิ้นชันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* Linn จัดอยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* มีชื่อสามัญคือ “Turmeric” มีชื่อท้องถิ่นหลายชื่อ เช่น ขมิ้น ขมิ้นแกง ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว ขมิ้น ตายอ หมิ้นสะยอ เป็นต้น ขมิ้นชันเป็นพืชล้มลุก มีลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่า “เหง้า” ลักษณะของเหง้าเป็นทรงกระบอก แตกแขนงออกทางด้านข้าง เนื้อในของเหง้ามีสีเหลืองเข้มจนถึงสีแดงเข้ม มีกลิ่นเฉพาะตัว มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียแถบเอเชียตอนใต้ แต่นิยมนำมาปลูกในเขตร้อนทั่วไป พบว่ามีการปลูกเพื่อการค้าในประเทศอินเดีย ปากีสถาน จีน มาเลเซีย อินโดนีเซียและไทย

#### 2.1.2 สารที่สำคัญในขมิ้นชัน [2]

สารสกัดสำคัญที่เป็นองค์ประกอบภายในขมิ้นชัน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเหลวใสเป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ลอยอยู่ด้านบนและส่วนที่เป็นสีเหลืองด้านล่าง ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่เรียกว่า เคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) สารกลุ่มของเคอร์คูมินอยด์จะประกอบด้วยสารประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ดีเมท็อกซีเคอร์คูมิน (demethoxycurcumin) เคอร์คูมิน (curcumin) และบิสดีเมท็อกซีเคอร์คูมิน (bis-demethoxycurcumin) มีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคอร์คูมินในขมิ้นชันมีอยู่ประมาณร้อยละ 1.8 - 5.4 โดยน้ำหนัก สารนี้มีสีเหลืองส้มหรือสีเหลืองแดง ซึ่งเป็นสีของขมิ้นชัน สารนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และกรดอะซิติก ซึ่งเคอร์คูมินมีชื่อทางเคมีว่า 1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione หรือ Diferuloylmethane [4] ออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาพร้อมกับสารสำคัญอื่นๆ ในขมิ้นชัน แต่มีการใช้ประโยชน์เคอร์คูมินทางชีวภาพต่ำ เนื่องจากดูดซึมได้น้อย เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมและถูกกำจัดออกจากร่างกายได้รวดเร็ว

### 2.1.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา [5,6]

ขมิ้นชันจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 (Class II) จากระบบการจำแนกของตัวยาสำคัญตามชีวเภสัชกรรม (Biopharmaceutics Classification System, BCS) คือกลุ่มยาที่มีความสามารถในการละลายต่ำแต่มีการซึมผ่านสูง จากการศึกษาในสัตว์ทดลองและในห้องปฏิบัติการ พบว่าสารสกัดของขมิ้นชันมีฤทธิ์ทางยาที่สำคัญหลายประการ สามารถออกฤทธิ์ต่อโมเลกุลเป้าหมายได้หลากหลาย ดังต่อไปนี้

#### 2.1.3.1 ฤทธิ์ลดการอักเสบ

สารสำคัญในการออกฤทธิ์ลดการอักเสบของขมิ้นชันคือสารเคอร์คูมิน ซึ่งลดการอักเสบได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเฟนิลบิวทาโซน (*Phenylbutazone*) ที่เป็นยาต้านการอักเสบที่ใช้กันทั่วไป พบว่ามีฤทธิ์ใกล้เคียงกันในกรณีการอักเสบเฉียบพลัน ส่วนกรณีการอักเสบเรื้อรัง เคอร์คูมินมีฤทธิ์เพียงครึ่งเดียวเท่านั้น แต่มีผลข้างเคียงทำให้เกิดแผลน้อยกว่าเฟนิลบิวทาโซน ฤทธิ์จะลดลงเมื่อใช้เคอร์คูมินมากกว่าหรือเท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้น้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชันก็มีฤทธิ์ลดการอักเสบได้ โดยมีฤทธิ์ต้านฮีสตามีนในระยะแรกของการอักเสบ โดยกระบวนการยับยั้ง trypsin หรือ hyaluronidase ซึ่งฤทธิ์ต้านการอักเสบของเคอร์คูมินและน้ำมันหอมระเหยดังกล่าว ยังมีผลช่วยบรรเทาอาการปวดท้อง เนื่องจากมีผลในกระเพาะอาหารได้

#### 2.1.3.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

โครงสร้างของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชันคือหมู่ฟีนอลิก และหมู่เมทิลินที่ติดอยู่กับ beta-diketone moiety ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยหมู่ฟีนอลิกในเคอร์คูมิน จะเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจับกับอนุมูลอิสระได้มากที่สุด โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรือให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ

#### 2.1.3.3 ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากขมิ้นชัน สามารถฆ่าเชื้อ *Lactobacillus acidophilis* และ *Lactobacillus plantarum* ส่วนเคอร์คูมินสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ แต่สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยเพียงแค่มะขวิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ต่อมาเมื่อค้นพบว่าน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชันสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคลำไส้บางชนิด ในขณะที่เคอร์คูมินจะไม่สามารถยับยั้งได้ ยกเว้นเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยเข้มข้นจะเหนียวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ *Streptococcus*, *Lactobacillus* และ *Staphylococcus*

#### 2.1.3.4 ฤทธิ์การต้านเชื้อรา

น้ำมันหอมระเหยเข้มข้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา แต่ส่วนสกัดที่มีเคอร์คูมิน ไม่มีผลในการฆ่าเชื้อรา เชื้อราที่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตด้วยน้ำมันหอมระเหยเข้มข้น ได้แก่ *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Curvularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Microsporum gypseum*, *Penicilium corymbiferum*, *Paphiopedilum javanicum*, *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma viride* และ *Trichophyllum*

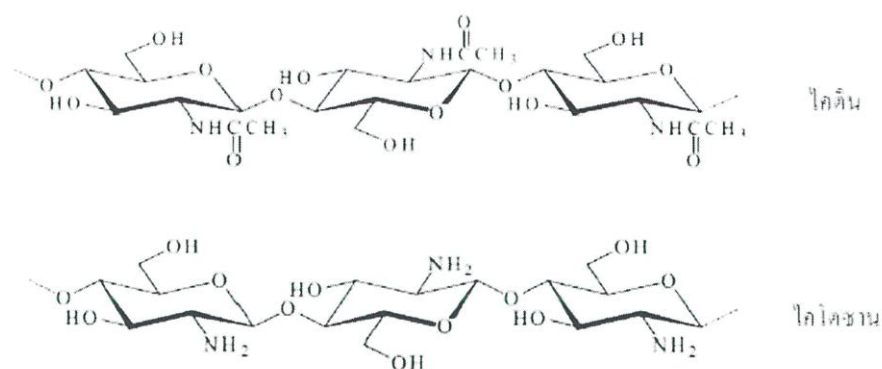
### 2.1.4 การนำขมิ้นชันไปใช้ประโยชน์

- 2.1.4.1 ใช้ประกอบอาหาร เป็นเครื่องเทศเพื่อแต่งกลิ่นและสีของอาหาร
- 2.1.4.2 น้ำมันหอมระเหย
- 2.1.4.3 ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร
- 2.1.4.4 เครื่องสำอาง เช่น ผงขัดตัว ขัดหน้า (body and facial scrub), โลชั่น และครีม  
พอกหน้า
- 2.1.4.5 ยาใช้ภายใน เพื่อบรรเทาอาการจุกเสียด อาหารไม่ย่อย รักษาแผลในกระเพาะ  
อาหาร
- 2.1.4.6 ยาใช้ภายนอก เพื่อบรรเทาอาการผื่นคัน สิว กลาก เกาต์และรักษาแผลแมลงสัตว์  
กัดต่อย
- 2.1.4.7 ป้องกันศัตรูพืช เช่น หนอนโยผัก หนอนกระทู้ผัก และหนอนผีเสื้อทั่วไป

## 2.2 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานคือพอลิเมอร์ของหน่วยย่อย D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucosamine) เป็นอนุพันธ์ของไคติน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกนอกของสัตว์ที่มีเปลือกแข็งจำพวกกุ้ง ปู ปลาหมึก และ ในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ ไคโตซานได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติก (Deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหมู่อะซิทามิโด (-NHCOCH<sub>3</sub>) เป็นหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานดังแสดงในภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [7]

## 2.2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน [8-10]

### 2.2.1.1 การละลาย (Solubility)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารละลายกรดเจือจางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยกว่า 6 ซึ่งกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน ได้แก่ กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ส่วนกรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริก ก็สามารถละลายไคโตซานได้เช่นเดียวกัน โดยทำการละลายที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายไคโตซานมีความเหนียว มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ภายในสารละลายไคโตซานหมู่อะมิโนจะแตกตัวโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว ( $pK_a$ ) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดยมีค่าในช่วง 6.2 – 6.8

### 2.2.1.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ความแรงของพันธะไอออนิก (ionic strength) ความเป็นกรดด่าง และ อุณหภูมิ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายพอลิเมอร์จะเป็นผลความหนืดแตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรดด่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีค่ากรดด่างของสารละลายเพิ่มขึ้น

### 2.2.1.3 ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulating ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอนที่ดีเนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่นๆ เป็นต้นนอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่อะมิโนได้ และยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิติกในไคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโคโตซานที่มีการกำจัดหมู่อะซิติลสูง จะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนของโคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเป็นผลึก ความสามารถในการดูดซับน้ำของโคโตซาน เป็นต้น

#### 2.2.1.4 การสลายตัว (Degradation)

โคโตซานเป็นเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป เมื่อเกิดการสลายตัวจะทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเป็นโอลิโกแซคคาไรด์ N-acetyl-D-glucosamine และสลายตัวต่อจนเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่ามอนอเมอร์หรือมอนอแซคคาไรด์ของโคโตซาน คือ D-glucosamine การสลายตัวของโคโตซานอาจเกิดได้หลายวิธีดังนี้

(1) การสลายตัวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะกรด (Acid hydrolysis) และการสลายตัวด้วยอัลคาไลน์ในสภาวะต่าง (Alkaline degradation)

การสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของโคโตซานเนื่องจากกรดจะเกิดขึ้นแบบสุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และมอนอเมอร์ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ เช่น เวลา ชนิดของกรด อุณหภูมิ ชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดพันธะของสายโซ่โมเลกุล ส่วนการสลายตัวของโคโตซานในสภาวะต่าง จะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งเรียกว่า Peeling reaction

(2) การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากตู้อบความร้อนแบบแห้งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุล มีความยืดหยุ่นมากขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ลดลง ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้โคโตซานมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา สำหรับการอบแห้งแบบใช้ความร้อนอิมพัลส์ โคโตซานจะไม่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของโคโตซาน นอกจากนี้โคโตซานจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส

#### 2.2.1.5 กลไกการต่อต้านจุลินทรีย์

โคโตซานเป็นสารคีเลต (Chelating agent) ที่จำเพาะกับพวกจุลธาตุ (trace element) ซึ่งเป็นธาตุทางเคมีที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตสารพิษจากจุลินทรีย์ โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกบนโมเลกุลของโคโตซานกับประจุลบที่อยู่บนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ เมื่อโคโตซานโมเลกุลเล็กมีการซึมเข้าไปสู่นิวเคลียสของจุลินทรีย์และรบกวนบางชนิด พบว่าจะมีการจับตัวกันของโคโตซานกับ DNA ทำให้เกิดกระบวนการยับยั้ง การสังเคราะห์ mRNA เป็นผลให้ขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้โคโตซานสามารถ

ขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากโคโตซานจะไปจับตัวกับสารอาหารและไอออนโลหะที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

#### 2.2.1.6 กลไกในการกักเก็บสาร

โคโตซานสามารถทำหน้าที่ในการห่อหุ้มและกักเก็บ (Encapsulation) สารสำคัญบางชนิด เช่น ยา โปรตีน ฯลฯ เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความคงตัวของสารที่ถูกกักเก็บและสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารได้ตามเวลา (Control and release) หรือส่งไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ (Target and release) ซึ่งโคโตซานมีความแข็งแรง คงตัวและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การกักเก็บสารไว้ภายในโคโตซานสามารถทำได้ระหว่างกระบวนการเตรียมอนุภาคหรือหลังจากการเตรียมเป็นอนุภาคแล้ว สารจะถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อของโคโตซานหรือถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของโคโตซาน ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของกระบวนการเตรียมและสมบัติทางเคมีกายภาพของสารที่ถูกกักเก็บ โคโตซานสามารถกักเก็บได้ทั้งสารที่มีความชอบน้ำและสารที่ไม่ชอบน้ำ สารที่ละลายน้ำได้จะถูกผสมรวมกับสารละลายโคโตซาน รวมตัวกันเป็นของผสมเนื้อเดียว แล้วทำให้เป็นอนุภาคด้วยกระบวนการต่างๆ ส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกักเก็บหลังจากมีการเตรียมอนุภาคโคโตซานเรียบร้อยแล้ว โดยการแช่อนุภาคโคโตซานลงในสารที่ไม่ละลายน้ำนี้ หรือถูกกักเก็บด้วยกระบวนการอิมัลชัน โดยละลายสารในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วนำไปผสมกับสารละลายโคโตซานให้อยู่ในรูปอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ บางครั้งอาจนำสารไปกระจายตัวภายในสารละลายโคโตซานโดยใช้สารลดแรงตึงผิว ทำให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยได้เช่นกัน ทั้งนี้สามารถใช้สารเชื่อมโยงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของอนุภาคที่มีสารบรรจุอยู่ภายใน

#### 2.2.1.7 กลไกในการปลดปล่อย

กลไกการปลดปล่อยสารจากภายในโคโตซาน ประกอบด้วยกลไกหลัก 3 ส่วน โดยทั้ง 3 ส่วนจะเกิดขึ้นคาบเกี่ยวกันอย่างต่อเนื่องในการปลดปล่อยสาร

(1) การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น (Initial burst release) เป็นกลไกส่วนแรกที่เกิดขึ้น เนื่องจากสารที่อยู่บริเวณผิวหรือใกล้ผิวอนุภาคเกิดการละลายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมทันที ส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารออกมาอย่างรวดเร็วในช่วงแรก

(2) การแพร่ของสารผ่านเนื้อของอนุภาคที่บวมตัว (Bulk erosion) เป็นกลไกที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว กลไกส่วนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำแพร่เข้าสู่อนุภาค จึงทำให้อนุภาคบวมตัวขึ้นและมีช่องว่างจำนวนมากระหว่างโมเลกุลของโคโตซาน ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์ มีความยืดหยุ่นมากขึ้น สารจึงสามารถแพร่ออกมาได้ ดังนั้นกลไกนี้จะมีการปลดปล่อยสารออกมาอย่างช้าๆในตอนเริ่มต้น เมื่ออนุภาคบวมตัวมากขึ้น อัตราการแพร่ของสารจะเพิ่มขึ้น

(3) การปลดปล่อยสารเนื่องจากการกร่อนของอนุภาค (Surface erosion) เป็นกลไกส่วนสุดท้ายที่เกิดขึ้น เนื่องจากโคโตซานเกิดการสลายตัวทางชีวภาพและอนุภาคเกิดการเสียดสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลดปล่อยสารออกมาจากอนุภาคจะขึ้นอยู่กับรูปร่างภายนอก ขนาด ความหนาแน่น อัตราส่วนของสารเชื่อมโยง ความเป็นกรด-ด่าง และความมีขี้ของตัวกลางที่ใช้ในการปลดปล่อย

## 2.2.2 การนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์ [11]

### 2.2.2.1 ด้านอาหาร

โคโตซานมีสมบัติการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือ โคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคตินและโคโตซาน ให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกันบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความชื้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้เพื่อรักษาความสด หรือผลิตในรูปฟิล์มสำหรับบรรจุอาหาร

### 2.2.2.2 ด้านอาหารเสริม

เนื่องจากมีรายงานว่าโคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือดได้ โดยโคโตซานไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานหรือดูดซึมน้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้โคโตซานด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคโตซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้

### 2.2.2.3 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

บางงานวิจัยมีการนำแผ่นโคโตซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่แผลเป็น โดยโคโตซานช่วยลดการหดตัวของไฟโบรบลาสต์ ทำให้แผลเรียบและกระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น นอกจากนี้มีรายงานว่ามีการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่าข้อเสื่อมเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ proteoglycan และเมทริกซ์ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น ในด้านเภสัชกรรม มีรายงานการใช้โคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยด้วยยาสำคัญ

### 2.2.2.4 ด้านการเกษตร

โคตินและโคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชและกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตและเพิ่มคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและและยาฆ่าแมลง

### 2.2.2.5 ด้านการปศุสัตว์

โคโตซานใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เพื่อกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น และมีความสมบูรณ์แข็งแรงมากขึ้น

### 2.2.2.6 ด้านการบำบัดน้ำเสีย

โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมีสารแขวนลอยสูง ไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ได้จะสามารถแยกและนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไปได้นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักและจับสี (dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้

### 2.2.2.7 ด้านสิ่งทอ

ไคโตซานสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น

## 2.3 สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)

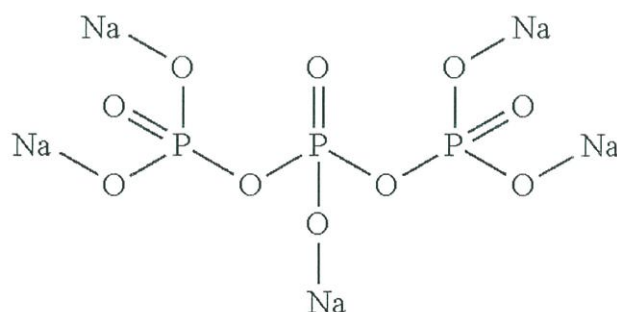
การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Crosslinking) คือกระบวนการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะเคมี สามารถจำแนกประเภทในการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลได้ดังนี้ [12]

- (i) การเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงที่ให้โครงสร้างเสถียรที่สุด
- (ii) การเชื่อมโยงด้วยพันธะไอออนิก
- (iii) การเชื่อมโยงด้วยพันธะอื่นๆทางกายภาพ เช่น เชื่อมโยงด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน หรือ โครงสร้างแบบไมเซลล์ เป็นต้น

สารเชื่อมโยงจะทำหน้าที่ในการสร้างพันธะเคมีขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุลในรูปแบบโครงข่ายสามมิติ โดยโมเลกุลที่จะเกิดการเชื่อมโยงจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา เช่น หมู่เอมีน หมู่ซัลฟไฮไดรล หมู่คาร์บอนิล เป็นต้น บริเวณส่วนท้ายของโครงสร้างทางเคมีบนโมเลกุลหรือโปรตีนชนิดต่างๆ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันอย่างน้อย 2 หมู่ [13]

### 2.3.1 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium Tripolyphosphate)

โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่นำไปใช้งานได้กว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ยาสีฟัน การถนอมอาหาร และกระบวนการผลิตเซรามิก เป็นต้น สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตดังแสดงในตารางที่ 2.1 และโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต [15]

สมบัติของสาร	โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
ชื่อทางเคมี	Sodium tripolyphosphate
ชื่อพ้องอื่นๆ	Triphosphoric acid; Pentasodium salt
สูตรโมเลกุล	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
สถานะ	ของแข็ง เป็นผงสีขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	367.86 กรัมต่อโมล
จุดหลอมเหลว	622 °C (1151.6 °F)
การละลาย	ละลายในน้ำ ไม่ละลายใน diethyl ether และ n-octanol
ความเป็นกรดต่าง (pH)	8

เมื่อโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตละลายในน้ำ จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกของโซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) และไอออนลบของหมู่ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) จากนั้นไอออนลบของหมู่ฟอสเฟตจะไปจับกับไอออนบวกของโมเลกุลหรือสายโซ่อื่นๆ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะไอออนิกในลักษณะโครงข่ายร่างแห

### 2.3.2 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate)

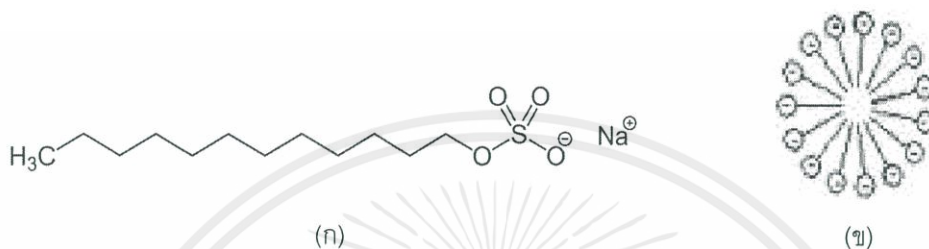
โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก สบู่ และยาสระผม เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้บำบัดน้ำเสียอีกด้วย [16] สมบัติของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต [17]

สมบัติของสาร	โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต
ชื่อทางเคมี	Sodium dodecyl sulfate
ชื่อพ้องอื่นๆ	Sodium lauryl sulfate
สูตรโมเลกุล	$\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$
สถานะ	ของแข็ง สีขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	288.38 กรัมต่อโมล
จุดหลอมเหลว	206 °C (402.8 °F)
การละลาย	ละลายในน้ำ
ความเป็นกรดต่าง (pH)	8.5 - 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตละลายในน้ำหรือสารละลายที่มีขี้ จะแตกตัวเป็นไอออนบวกของโซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) และไอออนลบของโดเดคซิลซัลเฟต ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4^-$ ) โดยส่วนหัวจะเป็นส่วนมีขี้ คือ หมู่ซัลโฟเนต ( $\text{SO}_3^-$ ) และส่วนหางจะเป็นส่วนที่ไม่มีขี้คือสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$  ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) [18] จากนั้นไอออน  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4^-$  จะไปจับกับโมเลกุลอื่นโดยใช้ส่วนมีขี้และไม่มีขี้ ส่วนหัวที่มีขี้จะจับกับสารละลายที่มีขี้ แล้วกักเก็บสารที่ไม่มีขี้ไว้ที่ส่วนหาง เมื่อรวมหลายโมเลกุลของโดเดคซิลซัลเฟตเข้าด้วยกัน จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงในลักษณะแบบไมเซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) [19]



ภาพที่ 2.4 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (ก) โครงสร้างทางเคมี และ (ข) โครงสร้างแบบไมเซลล์

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Vasile, B. S. และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบนาโนสำหรับประยุกต์ใช้ในการรักษาบาดแผล ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ไคโตซานและเจนนตามัยซินซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียได้หลายชนิด ด้วยวิธีการผสมอย่างมีลำดับขั้นตอน โดยผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และสารละลายเจนนตามัยซิน จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายไคโตซาน แล้วปั่นกวนให้เป็นสารเนื้อเดียวกัน จนได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของเจลสีขาวขุ่น มีขนาดอนุภาคประมาณ 15 นาโนเมตร จากนั้นนำเจลที่ได้ไปทดสอบการปลดปล่อยสารเจนนตามัยซินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซาไลน์ จากการตรวจวิเคราะห์โครงสร้าง พบว่าวัสดุประกอบมีโครงร่างแหของสายโซ่ไคโตซานโดยมีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กระจายตัวอยู่ระหว่างสายโซ่ วัสดุประกอบสามารถบรรจุสารเจนนตามัยซินภายในโครงร่างได้ และสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยสารเจนนตามัยซิน รวมถึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ได้ดีกว่าอนุภาคเจนนตามัยซินทั่วไป

งานวิจัยของ Khalili, S. T. และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเจลในระดับนาโนของไคโตซาน/เบนโซอิก ที่มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียจากใบไทม์ด้วยวิธีตกตะกอน โดยใช้หลักการของความมีขี้และไม่มีขี้ของไคโตซานและกรดเบนโซอิก โดยทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถกักเก็บอนุภาคนาโนเป็นอนุภาคที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันสกัดจากใบไทม์ไว้ภายใน ในลักษณะไมเซลล์ การสังเคราะห์เริ่มต้นจากการผสมสารละลายโคโตซานรวมกับกรดพาราไฮดรอกซี-เบนโซอิก เอทิลีนไดคลอไรด์และเอทานอล จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการปรับให้มีค่า pH ประมาณ 8-9 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเกิดการตกตะกอนของนาโนเจล จากนั้นล้างตะกอนด้วยเอทานอล แล้วนำไปแยกด้วยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง กรอง และนำนาโนเจลที่ได้ไปผสมกับน้ำมันสกัดจากใบไทม์ จากนั้นพ่นละอองนาโนเจลของโคโตซาน/เบนโซอิกที่มีการห่อหุ้มน้ำมันสกัดจากใบไทม์ ลงบนมะเขือเทศซึ่งมีการพ่นสปอร์ของเชื้อรา *Thymus vulgaris* แล้วเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าโครงสร้างของอนุภาคนาโนเจลที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเป็นทรงกลม ไม่เป็นรูกลวง โดยเฉลี่ยมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 นาโนเมตร และสามารถปลดปล่อยน้ำมันสกัดจากใบไทม์ออกมาจากนาโนเจล เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

งานวิจัยของ Madusanka, N. และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบระดับนาโนของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดินมอนต์มอริลโลไนต์และขมิ้นชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปลดปล่อยของขมิ้นชัน โดยผสมขมิ้นชันซึ่งละลายในเอทานอลลงในคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสพร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เป็นสารละลายชั้นหนืด จากนั้นนำไปผสมลงในดินมอนต์มอริลโลไนต์ แล้วปั่นกวนต่ออีก 1 ชั่วโมง จากนั้นเอาไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำอนุภาควัสดุประกอบไปอัดเป็นเม็ด แล้วนำไปวางไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส pH เท่ากับ 5.4 พบว่าขมิ้นชันและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถแทรกเข้าไปภายในโครงสร้างของดินมอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้มีขนาดของช่องว่างระหว่างชั้นของดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม อนุภาคของดินมอนต์มอริลโลไนต์จะถูกเคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและขมิ้นชัน นอกจากนี้เม็ดวัสดุประกอบที่เตรียมได้ สามารถปลดปล่อยขมิ้นชันในน้ำกลั่นได้ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ขณะที่เม็ดขมิ้นชันทั่วไปไม่ละลายในน้ำกลั่น ทำให้ไม่ปรากฏขมิ้นชันในน้ำกลั่นที่ทดสอบการปลดปล่อย แสดงว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีบทบาทอย่างมากในการเพิ่มความสามารถในการละลายของขมิ้น ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะเป็นตัวช่วยในการกักเก็บและปลดปล่อยขมิ้นชัน

งานวิจัยของ Sowasod, N. และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาศึกษาการบรรจุขมิ้นชันในโคโตซาน ด้วยวิธีการอิมัลชัน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์ที่ซับซ้อน สารตั้งต้นโคโตซานอยู่ในวัฏภาคน้ำ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว Tween 80 และสารตั้งต้นในรูปวัฏภาคน้ำมันคือขมิ้นชันและเอทานอล นำมาผสมสารตั้งต้นทั้งวัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าด้วยกัน แล้วผสมน้ำมันมิเนอรัล (mineral oil) ซึ่งใช้ Span 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 1.5% w/v จะได้นาโนแคปซูลอิมัลชัน (o/w/o emulsion) จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกไป จากนั้นทำการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง เพื่อแยกนาโนแคปซูลออกจากน้ำมันมินเอร์ล แล้วล้างด้วยสารละลายไฮโปคลอไรต์-อีเทอร์ จากนั้นจึงกำจัดน้ำออกไปด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุภาคนาโนแคปซูล ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 254 - 415 นาโนเมตร และมีความสามารถในการบรรจุไขมันชั้นได้สูงสุดที่ 18 - 96 %w/w

งานวิจัยของ Parize, A. L. และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคโคโตซาน/โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่บรรจุไขมันชั้นไว้ภายใน ด้วยวิธีการพ่นแห้ง (Spray drying) โดยผสมโคโตซานกับไขมันชั้น แล้วจึงหยดสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตลงไป จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการพ่นแห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์จะได้อนุภาคระดับไมโครเมตร ไม่มีรูพรุน และเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) พบว่าไขมันชั้นเข้าไปแทรกในสายโซ่ของโคโตซาน หรืออาจมีการเชื่อมโยงกันระหว่างไขมันชั้นและโคโตซาน เป็นโครงข่ายพอลิเมอร์แบบใหม่ซึ่งทำให้มีการกระจายตัวของไขมันชั้นได้ดีและเสถียรมากขึ้น

งานวิจัยของ Yadav, A. และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโคโตซานที่บรรจุไขมันชั้น เพื่อศึกษาการบำบัดความเป็นพิษของสารหนู การสังเคราะห์ทำโดยผสมโคโตซานกับสารลดแรงตึงผิว Tween 80 แล้วจึงผสมสารละลายไขมันชั้นลงไป ต่อมาหยดสารละลายโซเดียมซัลเฟต กลูตาโรลดีไฮด์ และโซเดียมเมทาไบซัลเฟต ตามลำดับ จากนั้นวางทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วกรองเพื่อกำจัดน้ำออก พบว่าอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตร เมื่อทำการตรวจสอบเลือดและเนื้อเยื่อสมองของกลุ่มหนูทดลองที่มีการฉีดสารหนูเข้าไปในตัว แล้วได้รับอนุภาคนาโนโคโตซานที่ห่อหุ้มไขมันชั้นเข้าไป พบว่าสารหนูมีปริมาณที่ลดลง เนื่องมาจากของการปลดปล่อยไขมันชั้นจากอนุภาค

งานวิจัยของ Nguyen, M. H. และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมของไขมันชั้น โดยใช้ต้นทุนไม่มาก สารตั้งต้นคือโคโตซานที่ละลายในสารละลายกรดอะซิติก และไขมันชั้นที่ละลายในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นำสารละลายไขมันชั้นผสมลงในสารละลายโคโตซานด้วยอัตราส่วนปริมาตรที่เท่ากัน จากนั้นนำไปอัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 25 วินาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง ต่อมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Microscope, FE-SEM) พบว่าอนุภาคนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น มีขนาดอยู่ในช่วง 200 - 300 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นคือที่ค่า pH เท่ากับ 4.4 และมีประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก และไม่มีความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Madhusudhan, B. และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น โดยใช้สารเชื่อมโยงคือสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการเกิดเจลแบบไอออนิก (Ionic gelation) เริ่มต้นจากการนำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายไขมันชั้นซึ่งใช้ไขมันชั้น 2 มิลลิกรัมในเอทานอล 500 ไมโครลิตรและเติมสารลดแรงตึงผิว Tween 80 ปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นหยดสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0.25 %w/v แล้วนำไปแยกโดยหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง 10,000 rpm เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและทำแห้งแบบเยือกแข็ง พบว่าขนาดของอนุภาคที่ได้อยู่ในช่วง 173 – 224 นาโนเมตร เมื่อมีความเข้มข้นของไขมันชั้นเพิ่มขึ้น จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบรรจุไขมันชั้น เนื่องจากสายโซ่ของไคโตซานสามารถกักเก็บปริมาณของไขมันชั้นได้มากขึ้นเมื่อมีโครงสร้างเป็นเจล เมื่อผสมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาจากอนุภาค โดยบรรจุวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นไว้ในเยื่อบาง แล้วแช่ลงในสารละลายฟอสเฟต-บัฟเฟอร์ชาไลน์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่ค่า pH เท่ากับ 7.4 และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีการสั่น 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าอนุภาคมีการปลดปล่อยไขมันชั้นได้ช้า โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง สามารถปลดปล่อยไขมันชั้นได้ 53.24 – 62.66 %w/w และ เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง สามารถปลดปล่อยไขมันชั้นได้ 65.71 – 78.22 %w/w

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 ขมิ้นชัน (Curcumin) บริษัททอภัยภูเบศร เกรดอาหาร
- 3.1.2 ไคโตซาน (Chitosan) บริษัทไบโอ 21 จำกัด เกรดอาหาร
- 3.1.3 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium Tripolyphosphate, TPP) บริษัทรวมเคมี เกรดการค้า
- 3.1.4 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulfate, SDS) บริษัท Ajax Finechem เกรดการค้า
- 3.1.5 กรดอะซิติก (Acetic acid,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิเคราะห์
- 3.1.6 เอทานอล (Ethyl alcohol,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) บริษัท Carlo Erba เกรดวิเคราะห์
- 3.1.7 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซาไลน์ (Phosphate buffer saline) บริษัท Calbiochem เกรดการค้า
- 3.1.8 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) บริษัท Carlo Erba เกรดวิเคราะห์
- 3.1.9 ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (Dipotassium phosphate,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) บริษัท Sigma-aldrich เกรดวิเคราะห์
- 3.1.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท Carlo Erba เกรดวิเคราะห์
- 3.1.11 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) บริษัท Carlo Erba เกรดวิเคราะห์
- 3.1.12 น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) บริษัทพิสุทธิ์ เกรดอาหาร
- 3.1.13 น้ำกลั่น (Distilled water)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver รุ่น SI-234
- 3.2.2 เครื่องปั่นกวน บริษัท IKA รุ่น C-MAG HS 7
- 3.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง บริษัท Hermle รุ่น Z36HK Rotor-Number 221.22 V01
- 3.2.4 หลอดทดลอง
- 3.2.5 แท่งแม่เหล็กสำหรับปั่นกวน
- 3.2.6 ไมโครปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) บริษัท Mettler Toledo รุ่น FG2 FiveGo
- 3.2.8 ตู้อบ บริษัท Lab Companion รุ่น AAH14026U OF-11E Forced Convection Oven, (100L)
- 3.2.9 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) บริษัท Thermo Scientific รุ่น Helios Omega
- 3.2.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ บริษัท Memmert รุ่น WNB 24
- 3.2.11 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) บริษัท Perkin Elmer รุ่น PYRIS Diamond DSC
- 3.2.12 พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum GX

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการดูดซับ

การเตรียมวัสดุประกอบ ด้วยวิธีการดูดซับ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.3.1.1 และ 3.3.1.2 และสรุปในภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.1

##### 3.3.1.1 การเตรียมอนุภาคไคโตซาน

- (1) เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5 % w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v ลงในบีกเกอร์และปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- (2) เตรียมสารเชื่อมโยง ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) เข้มข้น 1% w/v และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) เข้มข้น 1% w/v
- (3) นำสารละลายไคโตซาน ผสมกับสารละลายของสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายสีขาวขุ่น
- (4) นำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไปแยกหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง โดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะเกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นของเหลวกับสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีม
- (5) นำสารผลิตภัณฑ์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้อนุภาคไคโตซาน CS/TPP และ CS/SDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

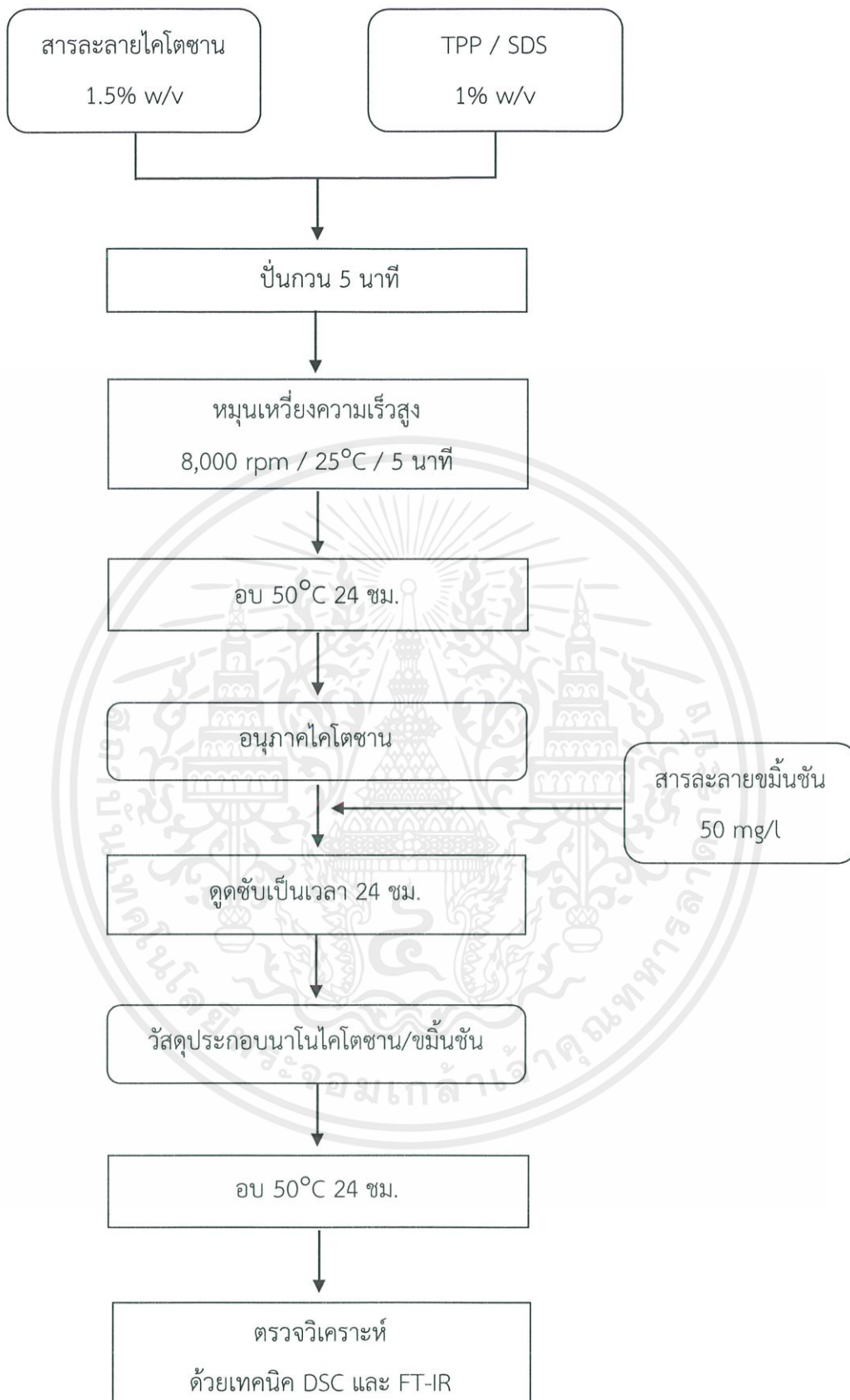
### 3.3.1.2 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น

- (1) เตรียมสารละลายไขมันชั้นเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอล ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 1 : 0.05
- (2) เช้อนุภาคไคโตซาน 0.5 กรัม ลงในสารละลายไขมันชั้น 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้อนุภาคของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น
- (3) แยกสารละลายไขมันชั้นออกจากอนุภาควัสดุประกอบ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis
- (4) นำอนุภาคของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นและสภาวะในการเตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลายไคโตซาน (ml)	ปริมาตรของสารเชื่อมโยง (ml)		ความเข้มข้นของสารละลายไขมันชั้น
		TPP	SDS	
CS/TPP + CUR 1:0.5	200	100	-	50 mg/l
CS/TPP + CUR 1:1	150	150	-	
CS/TPP + CUR 1:2	100	200	-	
CS/SDS + CUR 1:0.5	200	-	100	
CS/SDS + CUR 1:1	150	-	150	
CS/SDS + CUR 1:2	100	-	200	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการดูดซับ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว

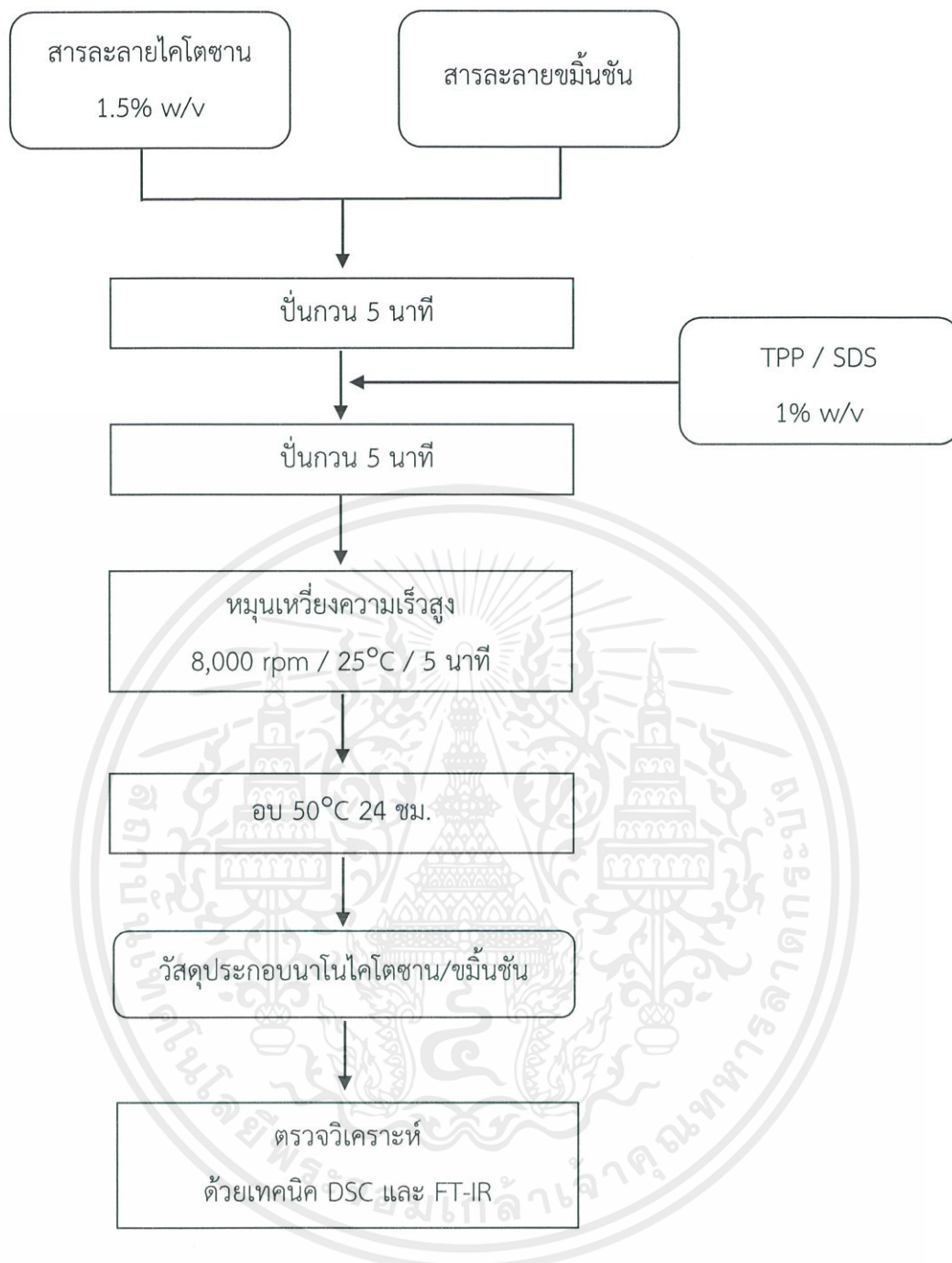
#### 3.3.2.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น รูปแบบที่ 1

- (1) เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5% w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v
- (2) เตรียมสารละลายไขมันชั้นเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอล ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 1 : 0.05
- (3) เตรียมสารเชื่อมโยง ไตแก์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) เข้มข้น 1% w/v และ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) เข้มข้น 1% w/v
- (4) นำสารละลายไขมันชั้นผสมกับสารละลายไคโตซาน พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
- (5) นำสารละลายผสมในข้อ 4 เติมลงในสารเชื่อมโยงที่เตรียมไว้ แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยสีเหลืองขุ่น
- (6) นำสารแขวนลอยในข้อ 5 ไปหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงโดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะเกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นของเหลวกับสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีม
- (7) แยกสารละลายไขมันชั้นออกจากอนุภาควัสดุประกอบ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis
- (8) นำสารผลิตภัณฑ์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้วัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น CS-CUR / TPP และ CS-CUR / SDS แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น และสภาวะในการเตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลายไคโตซาน (ml)	ปริมาตรของสารละลายไขมันชั้น (ml)	ปริมาตรของสารเชื่อมโยง (ml)	
			TPP	SDS
CS-CUR / TPP 1:0.5	190	15	95	-
CS-CUR / TPP 1:1	142.5	15	142.5	-
CS-CUR / TPP 1:2	95	15	190	-
CS-CUR / SDS 1:0.5	190	15	-	95
CS-CUR / SDS 1:1	142.5	15	-	142.5
CS-CUR / SDS 1:2	95	15	-	190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการเตรียมแบบ  
ขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

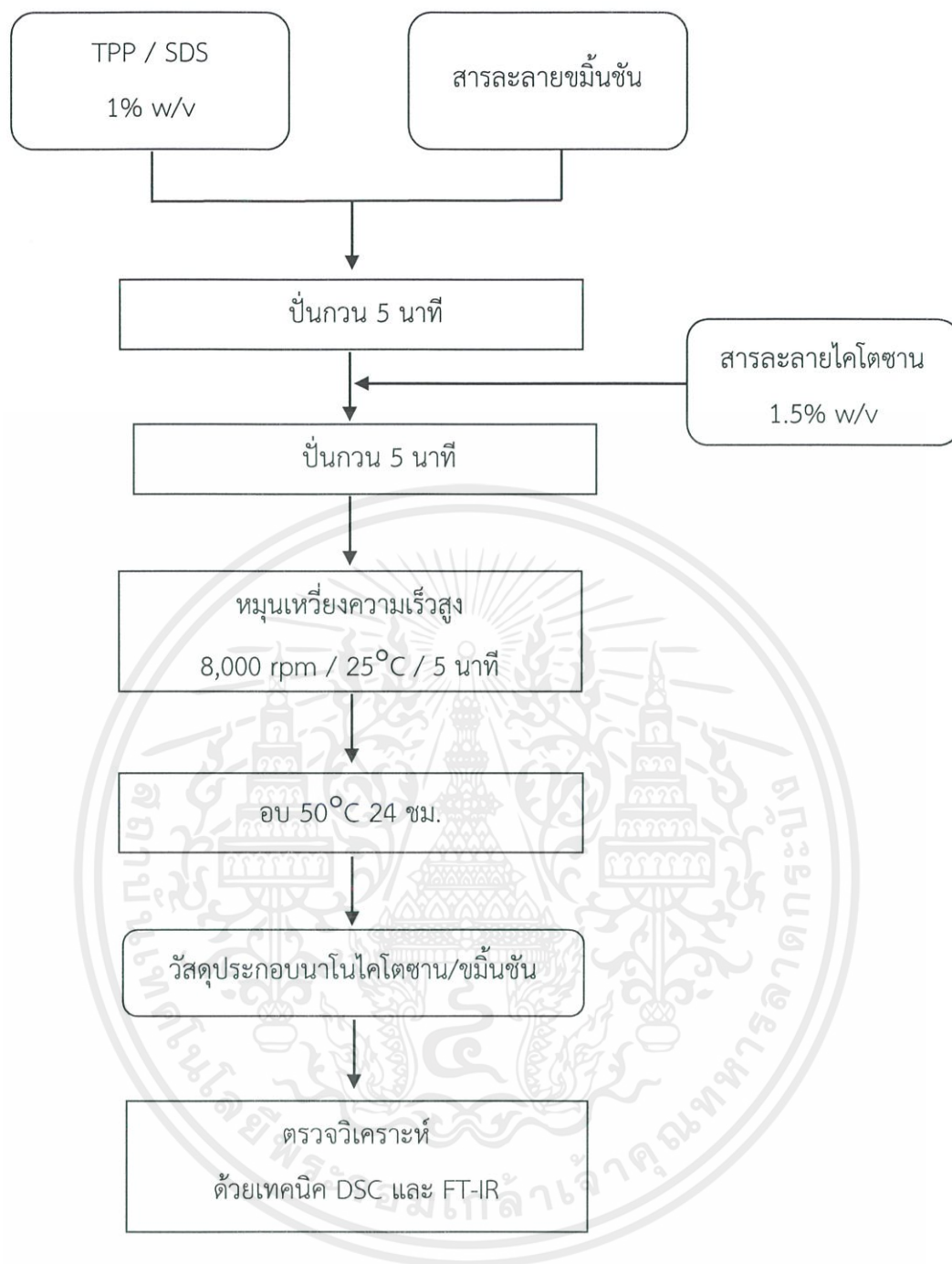
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น รูปแบบที่ 2

- (1) เตรียมสารเชื่อมโยง ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) เข้มข้น 1% w/v และ โซเดียม-โดเดซิลซัลเฟต (SDS) เข้มข้น 1% w/v
- (2) เตรียมสารละลายไขมันชั้นเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำ และเอทานอล ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 1 : 0.05
- (3) เตรียมสารละลายโคโตซานเข้มข้น 1.5% w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v
- (4) นำสารละลายไขมันชั้นผสมกับสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
- (5) นำสารละลายผสมในข้อ 4 เติมลงในสารละลายโคโตซานที่เตรียมไว้ แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยสีเหลืองขุ่น
- (6) นำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง โดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะเกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นของเหลวกับ สารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีม
- (7) แยกสารละลายไขมันชั้นออกจากอนุภาควัสดุประกอบ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis
- (8) นำสารผลิตภัณฑ์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น CS / TPP-CUR และ CS / SDS-CUR แล้วนำไป วิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น และสภาวะในการเตรียมด้วยวิธีการ เตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาตรของ สารละลายโคโตซาน (ml)	ปริมาตรของสารเชื่อมโยง (ml)		ปริมาตรของ สารละลาย ไขมันชั้น (ml)
		TPP	SDS	
CS / TPP-CUR 1:0.5	190	95	-	15
CS / TPP-CUR 1:1	142.5	142.5	-	15
CS / TPP-CUR 1:2	95	190	-	15
CS / SDS-CUR 1:0.5	190	-	95	15
CS / SDS-CUR 1:1	142.5	-	142.5	15
CS / SDS-CUR 1:2	95	-	190	15



ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการเตรียมแบบ  
ขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

### 3.3.3 ประสิทธิภาพในการบรรจุขมิ้นชัน

เมื่อนำสารละลายขมิ้นชันที่แยกออกจากวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณขมิ้นชันในวัสดุประกอบจากสมการ  $y = 0.01348x - 0.01107$  ( $y$  คือค่าการดูดกลืนแสง และ  $x$  คือความเข้มข้นของสารละลายขมิ้นชัน) ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำกลั่น

สำหรับการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว เมื่อนำสารละลายขมิ้นชันที่แยกออกจากวัสดุประกอบที่เตรียมได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณขมิ้นชันในวัสดุประกอบ จากสมการ  $y = 0.00671x + 0.00143$  ( $y$  คือค่าการดูดกลืนแสง และ  $x$  คือความเข้มข้นของสารละลายขมิ้นชัน) ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติก เอทานอลและน้ำกลั่น

## 3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

### 3.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน มาตรวจวิเคราะห์การเชื่อมโยง โดยมีสภาวะดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์ คือ 40 – 400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที

### 3.4.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน มาตรวจวิเคราะห์ ด้วยวิธี Disc diffusion โดยนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน อัดรวมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) เพื่อเตรียมเป็นแผ่น จากนั้นวัดการดูดกลืนอินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$

## 3.5 การทดสอบการปลดปล่อยขมิ้นชัน

3.5.1 เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยละลายเม็ดฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1 เม็ดในน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.5.2 เตรียมสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (Simulated Gastric Fluid, SGF) โดยโซเดียมคลอไรด์ 2.5 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ซึ่งปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 1.2

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 เตรียมสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ (Simulated Intestinal Fluid, SIF) โดยใช้ ไตโปแทสเซียมฟอสเฟต 3.4 กรัม ละลายในกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ซึ่งปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 7.5

3.5.4 เตรียมน้ำมันมะพร้าว 10 มิลลิลิตร

3.5.5 นำสารละลายที่ใช้ในการทดสอบใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 10 มิลลิลิตร แล้วใส่วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน 0.1 กรัม ลงไปในหลอดทดลองแล้วปิดฝาให้สนิท

3.5.6 แช่หลอดทดลองในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 37 องศาเซลเซียส

3.5.7 ดูดสารละลายออกจากวัสดุประกอบ แล้วนำสารละลายที่แยกออกมาไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

### 3.6 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antimicrobial activity)

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC®25923 (*S.aureus*) และ *Escherichia coli* ATCC®25922 (*E.coli*) ด้วยวิธี Disc diffusion โดยใช้ agar เป็นตัวกลาง การทดสอบจะเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐาน The Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, M100-21 โดยพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

#### 4.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันด้วยวิธีการดูดซับ

##### 4.1.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงต่อสมบัติทางความร้อน

ในการศึกษานี้ จะปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ผสมกับสารละลายไคโตซาน เพื่อศึกษาผลของสารเชื่อมโยงที่ใช้ต่อสมบัติทางความร้อนของอนุภาคไคโตซานที่เตรียมได้ โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว ( $T_m$ ) และค่าพื้นที่ใต้กราฟของอนุภาคไคโตซานที่ผ่านการเชื่อมโยง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยที่ค่าพื้นที่ใต้กราฟของพีการหลอมเหลวจะบ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ใช้เพื่อให้สารเกิดการหลอมเหลว ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับสัดส่วนของไคโตซานที่เกิดการเชื่อมโยงและเป็นผลให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP และ SDS จากเทอร์โมแกรม DSC

ชื่อตัวอย่าง	$T_m^*$ (องศาเซลเซียส)	พื้นที่ใต้กราฟ (จุลต่อกรัม)
CS/TPP 1:0.5	171.8	340.6
CS/TPP 1:1	175.0	385.4
CS/TPP 1:2	176.2	392.4
CS/SDS 1:0.5	178.8	138.7
CS/SDS 1:1	177.2	148.8
CS/SDS 1:2	188.8	161.1

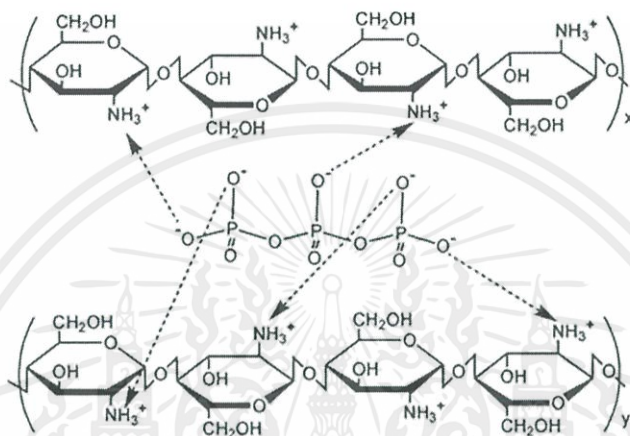
\* ค่าที่ตำแหน่ง onset

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า  $T_m$  ของไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP และ SDS มีค่าอยู่ในช่วง 172 – 177 องศาเซลเซียส จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารเชื่อมโยงทั้งสองชนิดไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อศึกษาผลของการเชื่อมโยงไคโตซานด้วย TPP พบว่าเมื่อปริมาณของ TPP ที่ใช้ในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ค่า  $T_m$  ของไคโตซานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าพื้นที่ใต้กราฟมีค่าเพิ่มขึ้นอย่าง

ชัดเจน แสดงว่ามีสัดส่วนของไคโตซานที่เกิดการเชื่อมโยงและมีความเป็นระเบียบเนื่องจากการเอกสารถูกเป็นเอกสารถี่สวงวนไว้สำหรับกรเซงานเพอกรศึกษาเทานน ไมอนุญาตให้เนาไปเซประเยชนคานการค้ำไมว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมโยงด้วย TPP มากขึ้น เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับกลไกการเชื่อมโยงไคโตซานด้วย TPP จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [28] ได้อธิบายว่าเมื่อละลายไคโตซานในกรดอะซิติก หมู่เอมีน ( $\text{NH}_2$ ) ของไคโตซานจะถูกโปรตอนเตต (Protonate) แล้วเปลี่ยนเป็น  $\text{NH}_3^+$  จึงทำให้ไคโตซานมีประจุเป็นบวก จากนั้นเมื่อผสมสารละลายไคโตซานเข้ากับ TPP หมู่ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ของ TPP ซึ่งมีประจุลบ จะเกิดอันตรกิริยากับหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของไคโตซาน เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิก ซึ่งโครงสร้างการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.1



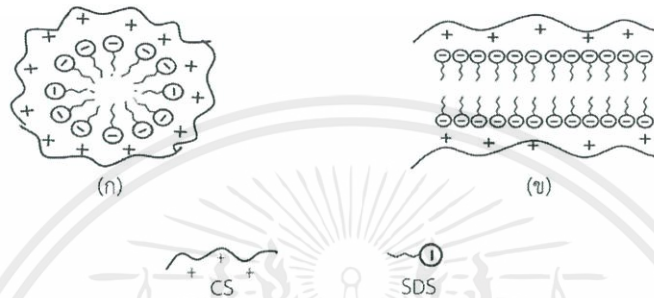
ภาพที่ 4.1 กลไกการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ TPP [29]

จากกลไกการเชื่อมโยงข้างต้น เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP โดยให้ปริมาณ TPP เพิ่มจาก 0.5 เป็น 1 และ 2 ส่วนโดยน้ำหนัก จึงเป็นผลให้ความหนาแน่นการเชื่อมโยงของไคโตซานเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวจึงเพิ่มสูงขึ้น

สำหรับระบบที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง ซึ่ง SDS เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนหัวคือหมู่ซัลโฟเนต ( $\text{SO}_3^-$ ) เป็นส่วนที่มีขั้ว และส่วนหางคือสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$ ) เป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นพฤติกรรมในการเชื่อมโยงกับไคโตซานจึงแตกต่างจาก TPP โดยในกรณีที่ใช้ SDS ในการเชื่อมโยงไคโตซานในระบบที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลในลักษณะของไมเซลล์ โดย SDS จะหันส่วนหางที่ไม่มีขั้วเข้าด้านใน รวมตัวกันเป็นไมเซลล์ที่มีส่วนหัวที่มีขั้วหันออกมาด้านนอก ซึ่งหมู่  $\text{SO}_3^-$  จะจับกับหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของไคโตซาน ดังแสดงในภาพที่ 4.2(ก) จากผลการวิเคราะห์ด้วย DSC ในตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ SDS เป็น 1:0.5 และ 1:1 ค่า  $T_m$  ของไคโตซานที่ผ่านการเชื่อมโยงมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่ใต้กราฟของพีคหลอมเหลวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณ SDS ที่ใช้เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ไคโตซานต่อ SDS เป็น 1:2 พบว่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟของพีคหลอมเหลวของไคโตซาน มีค่ามากกว่าไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย SDS ในอัตราส่วนอื่นๆ สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณ SDS มากจนไม่เสถียรในการรวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันในลักษณะไมเซลล์ เกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างสองชั้น (Double layer) ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างแบบแซนด์วิช (Sandwich structure) โดยที่โมเลกุลของ SDS จะเรียงตัวในแนวระนาบแล้วหันส่วนหางที่ไม่มีขั้วเข้าหากัน เป็นผลให้เกิดโครงสร้างลักษณะแบบสองชั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.2(ข) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณของโคโตซานที่ถูกเชื่อมโยงมีปริมาณมากกว่าในโครงสร้างแบบไมเซลล์ ดังนั้นค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟของพีคหลอมเหลว จึงมีค่ามากกว่าในจากอัตราส่วนอื่นๆอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.2 กลไกการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ SDS (ก) แบบไมเซลล์ และ (ข) แบบแซนด์วิช

#### 4.1.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันชั้น

เมื่อนำอนุภาคโคโตซานที่เตรียมโดยใช้สารเชื่อมโยง TPP และ SDS ไปดูดซับสารละลายไขมันชั้นเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัม ภายหลังจากดูดซับทำการแยกสารละลายไขมันชั้นที่เหลือออกจากอนุภาคโคโตซาน แล้วนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของที่มีความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำค่ามาคำนวณปริมาณไขมันชั้นที่ถูกดูดซับด้วยอนุภาคโคโตซาน เกิดเป็นวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยสมการ  $y = 0.01348x - 0.01107$  ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำกลั่น ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น จากสมการที่ 4.1 ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.2

$$\text{ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้น} - \text{ปริมาณไขมันชั้นที่ถูกบรรจุ}}{\text{ปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4.1}$$

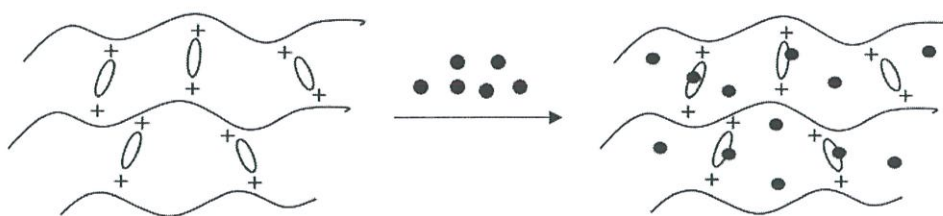
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบรรจุมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/มันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

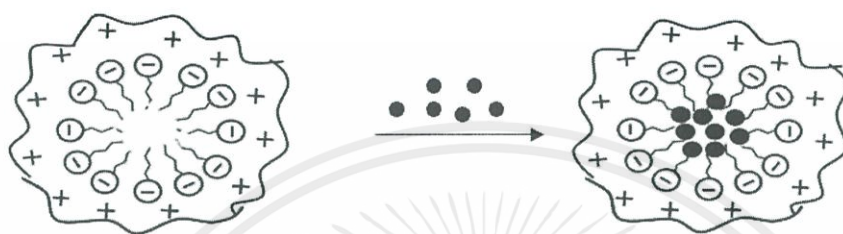
ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณมันชั้น ที่ได้จากการคำนวณ* (มิลลิกรัม)	ปริมาณมันชั้นที่อยู่ในวัสดุประกอบ (มิลลิกรัม/กรัม)	ประสิทธิภาพในการบรรจุมันชั้น (%)
CS/TPP + CUR 1:0.5	0.74	1.48	74.00
CS/TPP + CUR 1:1	0.74	1.48	74.00
CS/TPP + CUR 1:2	0.82	1.64	82.00
CS/SDS + CUR 1:0.5	0.73	1.46	73.00
CS/SDS + CUR 1:1	0.75	1.50	75.00
CS/SDS + CUR 1:2	0.90	1.80	90.00

\*เมื่อนำอนุภาคโคโตซานน้ำหนัก 0.5 กรัมไปดูดซับสารละลายมันชั้น

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง พบว่าเมื่อปริมาณของสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบรรจุมันชั้นสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากว่าเมื่อมีปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จึงสามารถดูดซับโมเลกุลมันชั้นไว้ภายในได้เพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานและสารเชื่อมโยงเป็น 1:2 ทั้งในกรณี TPP และ SDS พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับมันชั้นมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้สันนิษฐานว่าในกรณีของ TPP ในอัตราส่วนดังกล่าว น่าจะมีโครงร่างแหที่แข็งแรง จึงสามารถดูดซับและบรรจุมันชั้นได้ดี ส่วนในกรณีของ SDS ซึ่งเกิดการรวมตัวกันในลักษณะโครงสร้างแซนด์วิช ทำให้มีพื้นที่ในการบรรจุมันชั้นได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าสารตัวอย่างที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง มีประสิทธิภาพในการบรรจุมันชั้นสูงกว่าสารตัวอย่างที่ใช้ TPP ทั้งนี้เนื่องมาจากมันชั้นเป็นโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ ดังนั้นสารตัวอย่างที่ใช้ SDS ซึ่งเป็นสารที่มีส่วนทางที่ไม่ขั้ว เป็นสารเชื่อมโยง สามารถบรรจุมันชั้นดีกว่าสารตัวอย่างที่ใช้ TPP



กรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง



กรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง



ภาพที่ 4.3 กลไกการดูดซับไขมันชั้นในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการดูดซับ

ภาพที่ 4.3 แสดงกลไกที่เกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการดูดซับ สันนิษฐานว่า เมื่อใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง โมเลกุลไคโตซานเกิดการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ TPP แบบไอออนิก ทำให้เกิดโครงร่างแห 3 มิติ จากนั้นนำไปดูดซับไขมันชั้น ทำให้ไขมันชั้นแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างโครงร่างแห ส่วนในกรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง โมเลกุลไคโตซานเกิดการเชื่อมโยงแบบไมเซลล์ โดยส่วนที่มีขั้วหมู่  $\text{SO}_3^-$  จะไปจับกับหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของไคโตซาน ซึ่งส่วนที่ไม่มีขั้วจะอันตรกิริยากับไขมันชั้น ในวิธีการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการดูดซับ จะทำให้เกิดอนุภาคไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงขึ้นก่อนการบรรจุไขมันชั้นไว้ภายใน ส่งผลให้มีพื้นที่ว่างที่จะให้ไขมันชั้นเข้าไปบรรจุภายในโครงสร้างได้มาก จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ด้วยวิธีการดูดซับ ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

##### 4.1.3.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ด้วยวิธีการดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

ชื่อตัวอย่าง	$T_m^*$ (องศาเซลเซียส)	พื้นที่ใต้กราฟ (จุลต่อกรัม)
CS/TPP + CUR 1:0.5	174.2	335.4
CS/TPP + CUR 1:1	176.5	340.0
CS/TPP + CUR 1:2	175.3	419.1
CS/SDS + CUR 1:0.5	192.4	130.2
CS/SDS + CUR 1:1	190.7	193.0
CS/SDS + CUR 1:2	189.3	202.1

\* ค่าที่ตำแหน่ง onset

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ด้วยวิธีการดูดซับ ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าในกรณีใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยงในการเตรียมอนุภาคโคโตซาน ค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวของโคโตซานมีค่าใกล้เคียงกับอนุภาคโคโตซาน (จากตารางที่ 4.1) ทั้งนี้สรุปได้ว่าการดูดซับขมิ้นชันไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอนุภาคโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP เนื่องจากโคโตซานและ TPP เป็นการเชื่อมโยง 3 มิติ จึงทำให้โครงสร้างที่เกิดขึ้นค่อนข้างเสถียร เมื่อนำไปดูดซับขมิ้นชัน โมเลกุลของขมิ้นชันจึงแทรกตัวอยู่ในโครงร่างแหของโคโตซานด้วยอันตรกิริยาอย่างอ่อนโครงสร้างของโคโตซานจึงไม่เปลี่ยนแปลง

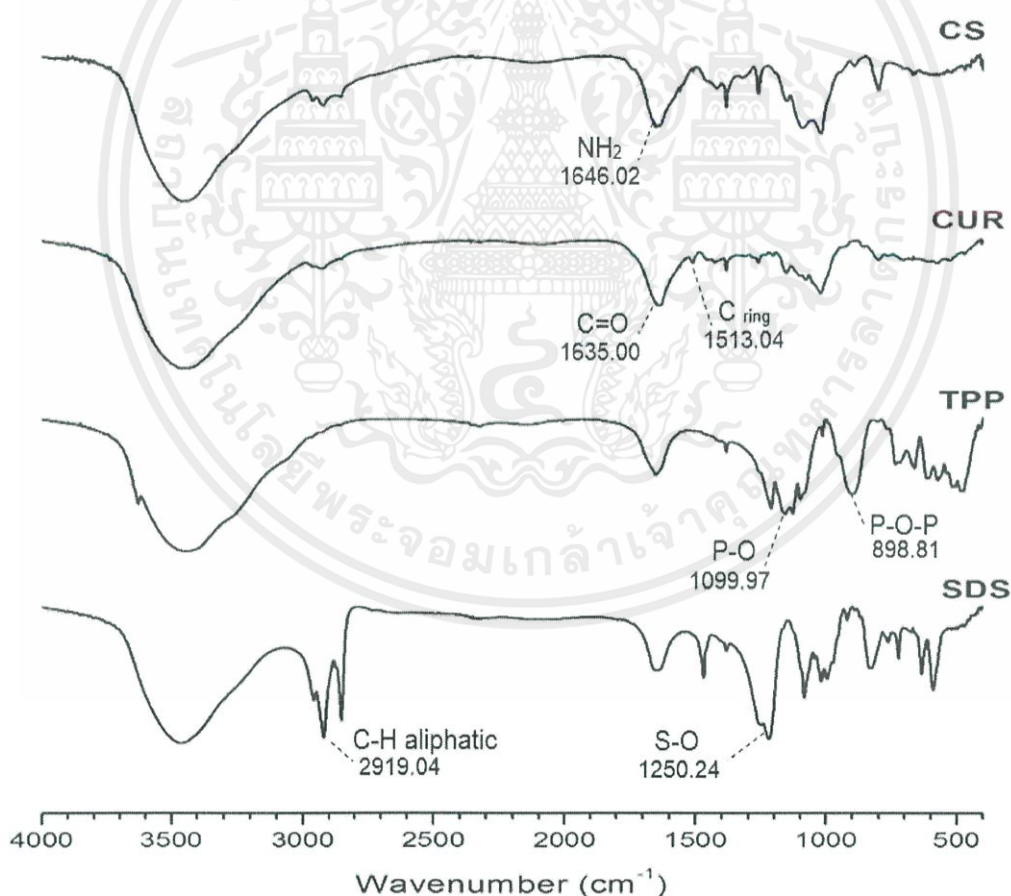
สำหรับในกรณีของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่าเมื่อมีปริมาณของ SDS ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคโคโตซานเพิ่มขึ้น จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟของโคโตซานภายหลังการดูดซับได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคโคโตซาน ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากกลไกการเชื่อมโยงของ SDS กับโคโตซาน ซึ่งมีลักษณะเป็นไมเซลล์ จะเป็นการเชื่อมโยงบางส่วน ดังนั้นเมื่อนำไปดูดซับไขมันชั้นจึงเป็นผลให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการดูดซับได้ ส่งผลให้ค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของไขมันชั้นกับส่วนหางของโมเลกุล SDS

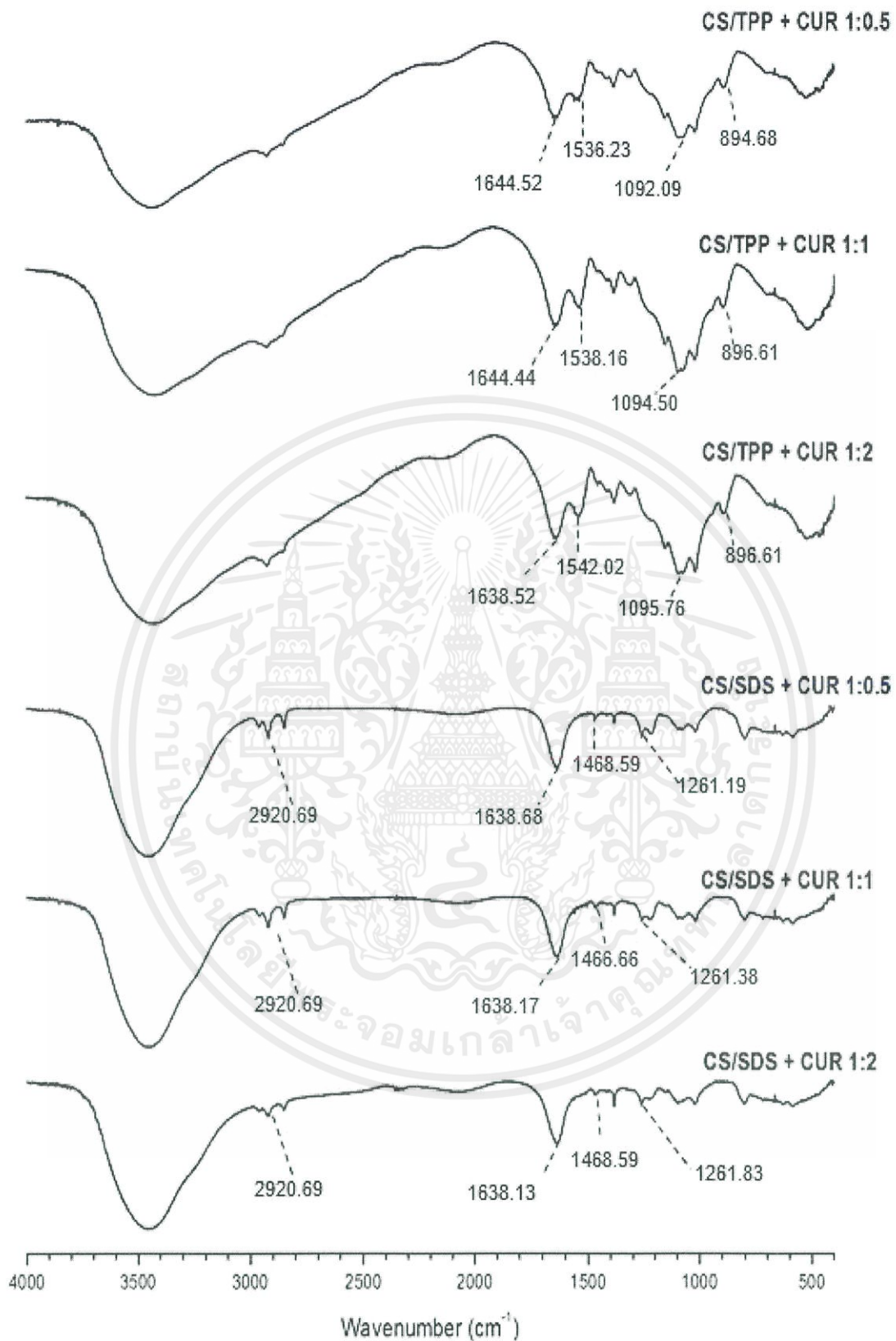
#### 4.1.3.2 โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นและวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 ตามลำดับ ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญ ดังสรุปในตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 สเปกตร้า FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดัดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

ชื่อตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )					
	-NH <sub>2</sub>	C <sub>ring</sub>	P-O	P-O-P	C-H aliphatic	S-O
CS	1646.02	-	-	-	-	-
CUR	-	1513.04	-	-	-	-
TPP	-	-	1099.97	898.81	-	-
SDS	-	-	-	-	2955.51	1250.24
CS/TPP + CUR 1:0.5	1644.52	1536.23	1092.09	894.68	-	-
CS/TPP + CUR 1:1	1644.44	1538.16	1094.50	896.61	-	-
CS/TPP + CUR 1:2	1638.25	1542.02	1095.76	896.61	-	-
CS/SDS + CUR 1:0.5	1638.68	1468.59	-	-	2920.69	1261.19
CS/SDS + CUR 1:1	1638.17	1468.66	-	-	2920.69	1261.38
CS/SDS + CUR 1:2	1638.13	1468.59	-	-	2920.69	1261.83

จากภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ ในกรณีระบบการเชื่อมโยงด้วย TPP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไคโตซาน นั่นคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของไคโตซานในวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในไคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้ สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของ TPP ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลให้ฟีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่นจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น TPP ในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคไคโตซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ P-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน

ในกรณีระบบการเชื่อมโยงของ SDS พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไคโตซานคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของไคโตซานในวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนของไคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชัน S-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ซัลโฟเนต ของ SDS ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ฟีกของ S-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่นจากสเปกตร้าของสารตั้งต้น SDS ในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อ SDS ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคโคโคซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ S-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ไม่เห็นฟีกที่ชัดเจนของขม้นชั้น เพราะตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของขม้นชั้นอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับหมู่ฟังก์ชันของโคโคซาน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักที่ใช้ในการเตรียม

## 4.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขม้นชั้นด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว

ในการศึกษาวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขม้นชั้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 โดยการนำสารละลายขม้นชั้นผสมกับสารละลายโคโคซาน ก่อนทำการเชื่อมโยง และรูปแบบที่ 2 โดยนำสารละลายขม้นชั้นผสมกับสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS ก่อน แล้วจึงเติมสารละลายโคโคซานลงไป เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงพร้อมกับการบรรจุขม้นชั้นเข้าไปในวัสดุประกอบ

### 4.2.1 วัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขม้นชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

#### 4.2.1.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขม้นชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขม้นชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1

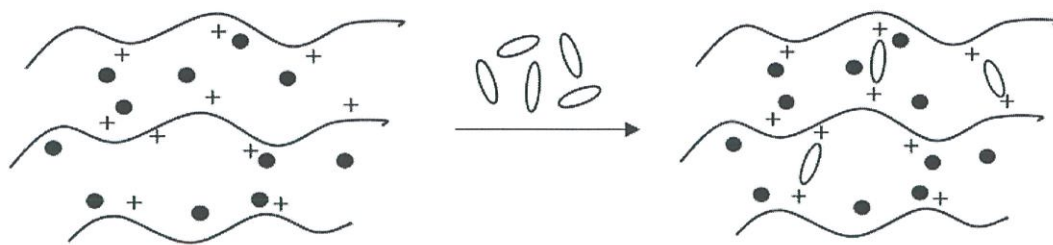
ชื่อตัวอย่าง	$T_m^*$ (องศาเซลเซียส)	พื้นที่ใต้กราฟ (จุลต่อกรัม)
CS-CUR / TPP 1:0.5	175.4	292.8
CS-CUR / TPP 1:1	179.1	308.3
CS-CUR / TPP 1:2	178.4	320.2
CS-CUR / SDS 1:0.5	186.4	143.2
CS-CUR / SDS 1:1	182.9	146.5
CS-CUR / SDS 1:2	195.6	155.4

\* ค่าที่ตำแหน่ง onset

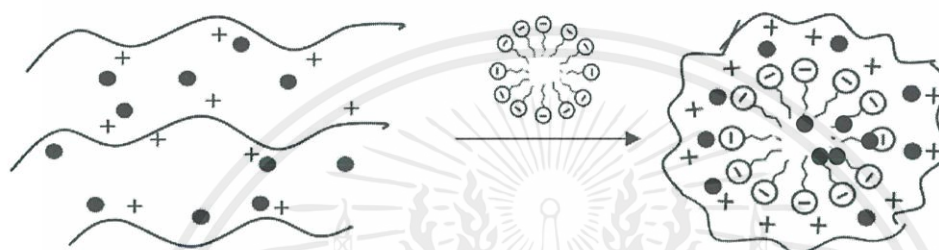
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1 ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าในกรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง ค่า  $T_m$  ของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ใกล้เคียงกับอนุภาคโคโตซาน ที่เชื่อมโยงด้วย TPP โดยไม่มีการบรรจุไขมันชั้นดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 แต่มีพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวของโคโตซานในวัสดุประกอบน้อยกว่าอนุภาคโคโตซาน สันนิษฐานว่าเมื่อนำสารละลายไขมันชั้นผสมกับสารละลายโคโตซานก่อนผสมกับสารเชื่อมโยง TPP ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของโคโตซานกับหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$ ) และหมู่ไฮดรอกซิล ( $\text{OH}$ ) ของไขมันชั้น เมื่อเติม TPP ลงไปภายหลัง หมู่ฟอสเฟตของ TPP จับกับหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของโคโตซานได้ลดลงเนื่องจากมีโมเลกุลของไขมันชั้นขัดขวางอยู่ เป็นผลให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโคโตซานและ TPP ลดลงดังแสดงในภาพที่ 4.6 จึงเกิดการเชื่อมโยงน้อยลง จึงส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวมีค่าลดลง

กรณีของวัสดุประกอบที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับอนุภาคโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย SDS โดยไม่มีการบรรจุไขมันชั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มแตกต่างจากระบบที่ใช้ TPP เนื่องมาจากการเชื่อมโยงด้วย SDS เป็นการเชื่อมโยงด้วยสารซึ่งมีโครงสร้าง 2 ส่วนที่มีสภาพขั้วต่างกัน ไขมันชั้นซึ่งเป็นสารประกอบที่มีขั้วต่ำใกล้เคียงกับสภาพขั้วในส่วนหางของ SDS เมื่อเติม SDS ลงในสารละลายผสมระหว่างโคโตซานกับไขมันชั้น สันนิษฐานว่าส่วนหัวที่มีขั้วของ SDS คือหมู่  $\text{SO}_3^-$  จะเข้าเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของโคโตซาน แล้วเกิดเป็นโครงสร้างของไมเซลล์ ในขณะที่ส่วนหางที่ไม่มีขั้วของ SDS จะเกิดอันตรกิริยากับไขมันชั้นจะล้อมรอบโมเลกุลของไขมันชั้นให้เข้ามาภายในไมเซลล์ จึงทำให้ไขมันชั้นเข้าไปในโครงสร้างได้ โดยไม่ขัดขวางการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ SDS ดังนั้นในระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS โครงสร้างของวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีขั้นตอนเดียวแบบที่ 1 จึงไม่แตกต่างจากโคโตซานที่ใช้ในวิธีการดูดซับ เป็นผลให้ค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวไม่แตกต่างจากอนุภาคโคโตซานที่ใช้ในวิธีดูดซับ ดังแสดงในภาพที่ 4.6



กรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง



กรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง



ภาพที่ 4.6 กลไกการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

#### 4.2.1.2 ปริมาณไขมันชั้นที่บรรจุในวัสดุประกอบที่เตรียมได้

ในวิธีการนี้ทำการผสมสารละลายไคโตซาน TPP หรือ SDS กับสารละลายไขมันชั้น โดยมีปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นเท่ากับ 15 มิลลิกรัม จากนั้นเติมสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS ลงไป ก่อให้เกิดอนุภาควัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมัน จากนั้นนำไปหมუნเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูงเพื่อทำการแยกสารละลายไขมันชั้นที่เหลือออกจากวัสดุประกอบที่เตรียมได้ แล้วนำสารละลายไขมันชั้นที่เหลือไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำค่ามาคำนวณปริมาณไขมันชั้นด้วยสมการ  $y = 0.00671x + 0.00143$  ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างกรด อะซีติก เอทานอลและน้ำกลั่น จากนั้นนำปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันชั้นที่เหลือไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น จากสมการที่ 4.1 ได้ผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

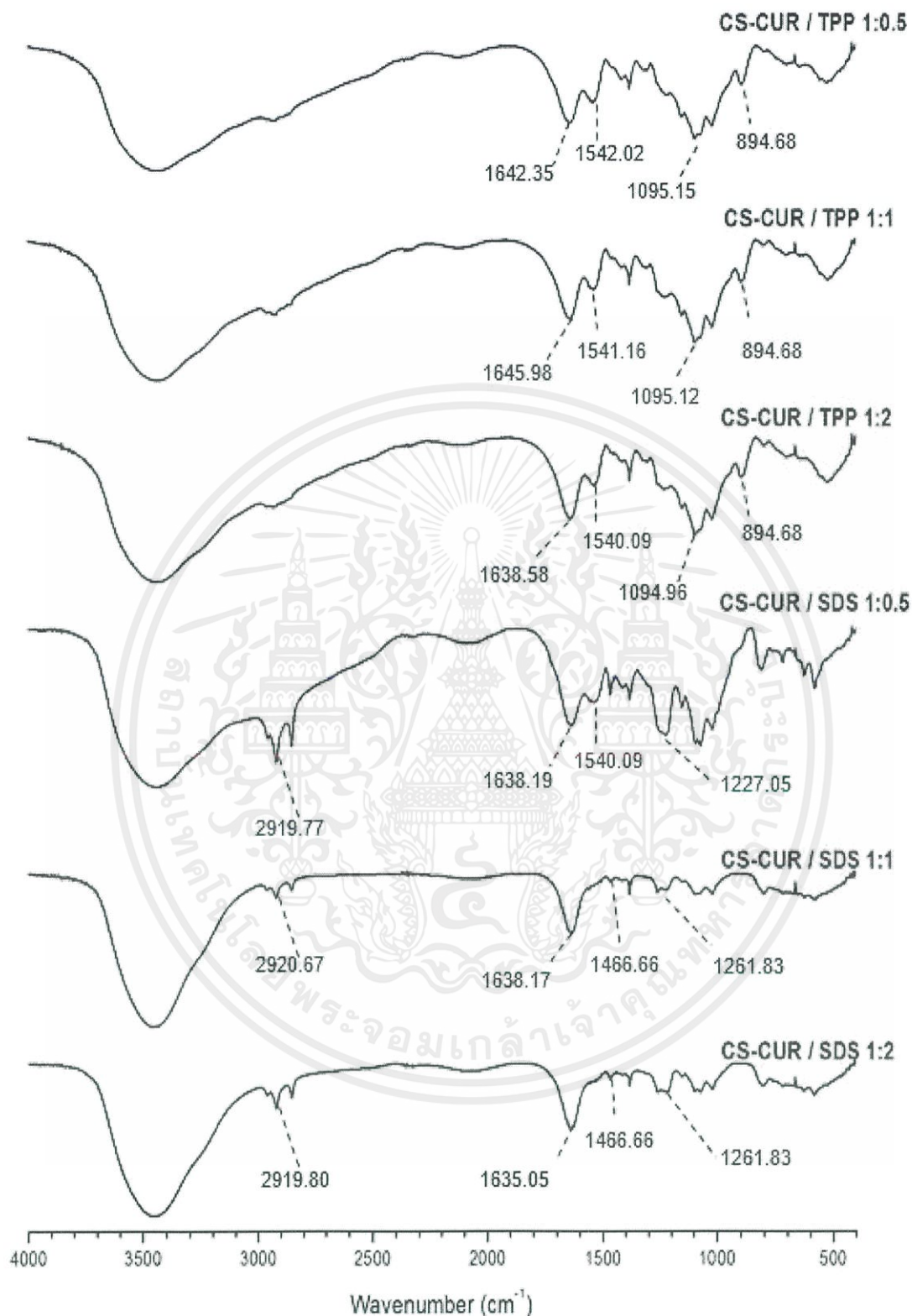
ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณไขมันชั้น ที่ได้จากการคำนวณ* (มิลลิกรัม)	ปริมาณไขมันชั้นที่อยู่ ในวัสดุประกอบ (มิลลิกรัม/กรัม)	ประสิทธิภาพใน การบรรจุไขมันชั้น (%)
CS-CUR / TPP 1:0.5	0.04	0.02	0.28
CS-CUR / TPP 1:1	8.27	4.13	55.12
CS-CUR / TPP 1:2	11.04	5.52	73.60
CS-CUR / SDS 1:0.5	3.13	1.51	20.84
CS-CUR / SDS 1:1	5.54	2.77	36.94
CS-CUR / SDS 1:2	12.61	6.30	84.04

\* ปริมาณไขมันชั้นในวัสดุประกอบ 2 กรัม

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงจากอัตราส่วน 1:0.5 เป็น 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ จะให้ปริมาณไขมันชั้นที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและสารเชื่อมโยงมากขึ้น จึงมีโครงสร้างและพื้นที่ในการบรรจุไขมันชั้นเพิ่มมากขึ้น ไขมันชั้นจะแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้มากขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นในวัสดุประกอบเพิ่มสูงขึ้น

4.2.1.3 โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นและวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1 ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1

ชื่อตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )					
	-NH <sub>2</sub>	C ring	P-O	P-O-P	C-H aliphatic	S-O
CS	1646.02	-	-	-	-	-
CUR		1513.04				
TPP	-	-	1099.97	898.81	-	-
SDS	-	-	-	-	2919.04	1250.24
CS-CUR / TPP 1:0.5	1642.35	1542.02	1095.21	894.68	-	-
CS-CUR / TPP 1:1	1645.98	1538.16	1095.12	894.68	-	-
CS-CUR / TPP 1:2	1638.58	1540.09	1094.96	894.68	-	-
CS-CUR / SDS 1:0.5	1638.19	1540.09	-	-	2919.77	1227.05
CS-CUR / SDS 1:1	1638.17	1468.66	-	-	2920.69	1261.83
CS-CUR / SDS 1:2	1635.05	1466.66	-	-	2919.80	1262.52

เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1 ในระบบการเชื่อมโยงด้วย TPP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไคโตซาน นั่นคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของไคโตซานในวัสดุประกอบที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในไคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของ TPP ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลให้พีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่นจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น TPP ดังแสดงในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคไคโตซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ P-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน

ในกรณีระบบการเชื่อมโยงของ SDS พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไคโตซานคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของไคโตซานในวัสดุประกอบที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนของไคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน S-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ซัลโฟเนตของ SDS ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลให้พีกของ S-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสเปกตร้าของสารตั้งต้น SDS ในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ SDS ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคโคโตซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ S-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ไม่เห็นพีกที่ชัดเจนของขมึ้นชั้น เพราะตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของขมึ้นชั้นอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับหมู่ฟังก์ชันของโคโตซาน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักที่ใช้ในการเตรียม

#### 4.2.2 วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมึ้นชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

##### 4.2.2.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมึ้นชั้นที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมึ้นชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2

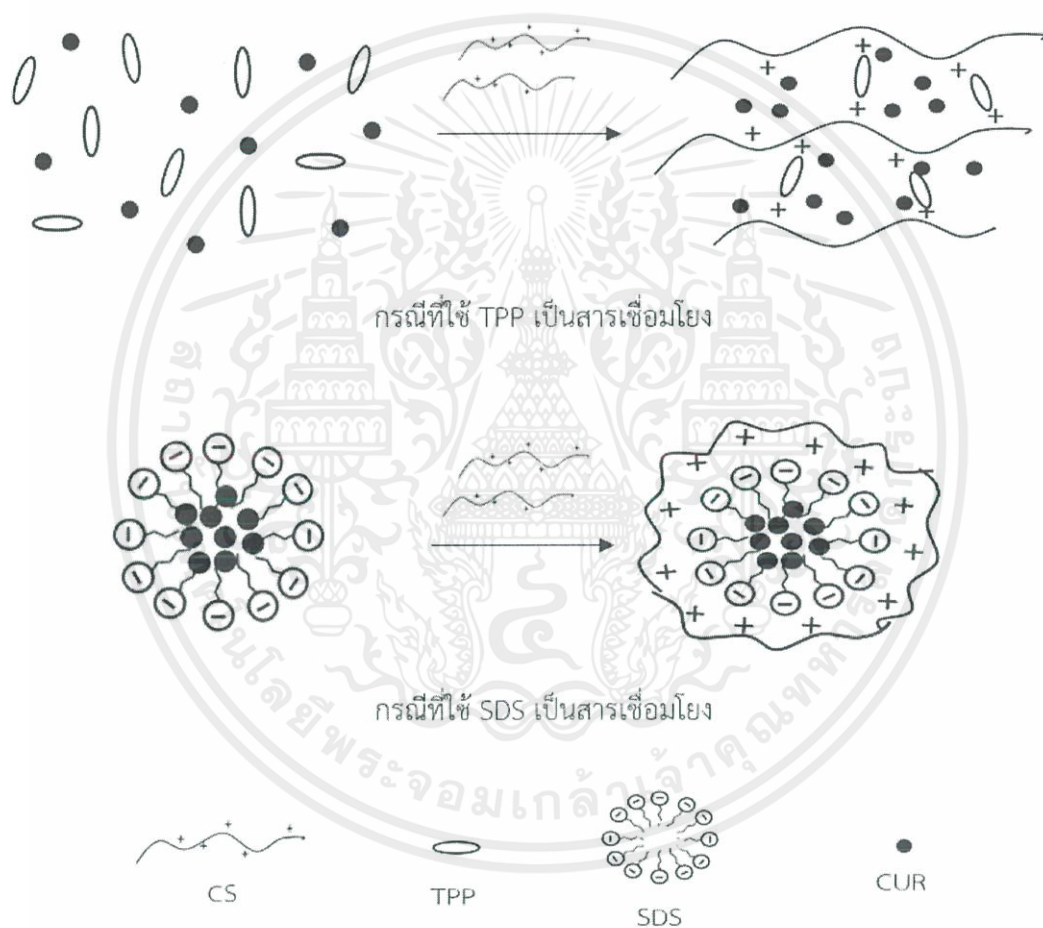
ชื่อตัวอย่าง	$T_m^*$ (องศาเซลเซียส)	พื้นที่ใต้กราฟ (จุลต่อกรัม)
CS / TPP-CUR 1:0.5	176.1	353.9
CS / TPP-CUR 1:1	177.6	354.6
CS / TPP-CUR 1:2	177.3	410.0
CS / SDS-CUR 1:0.5	181.9	115.6
CS / SDS-CUR 1:1	183.6	155.1
CS / SDS-CUR 1:2	196.0	177.0

\* ค่าที่ตำแหน่ง onset

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมึ้นชั้นที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2 ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่า ค่า  $T_m$  และพื้นที่ใต้กราฟการหลอมเหลวของโคโตซานมีค่าใกล้เคียงกับอนุภาคโคโตซานที่เตรียมโดยไม่มีการเติมขมึ้นชั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสารละลายขมึ้นชั้นผสมเข้ากับสารเชื่อมโยงก่อนการผสมกับสารละลายโคโตซาน ไม่ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและสารเชื่อมโยง ดังนั้นการเชื่อมโยงของโคโตซานในวัสดุประกอบที่เตรียมได้ด้วยวิธีการแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2 มีโครงสร้างการเชื่อมโยงของโคโตซานคล้ายคลึงกับอนุภาคโคโตซานที่เตรียมโดยไม่มีการผสมขมึ้นชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกที่เกิดขึ้นในการเตรียมโดยรูปแบบที่ 2 สันนิษฐานว่าในกรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยงในการเตรียม เมื่อนำสารละลายไขมันชั้นผสมเข้ากับสารเชื่อมโยง ไขมันชั้นและ TPP จะอยู่ร่วมกันในสารละลาย เมื่อเติมสารละลายโคโตซานลงไปภายหลัง หมู่  $\text{NH}_3^+$  ของโคโตซานจะเข้าไปจับกับหมู่ฟอสเฟตของ TPP เกิดเป็นโครงร่างแห ในขณะที่เดียวกันก็จะบรรจุไขมันชั้นซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารละลาย เข้าไปแทรกในโครงร่างแหด้วย ส่วนกรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยงในการเตรียม ส่วนหางที่ไม่มีขั้วของ SDS จะหันเข้าหาไขมันชั้น ส่งผลให้เกิดโครงสร้างแบบไมเซลล์ซึ่งภายในมีไขมันชั้นบรรจุไว้ และส่วนหัวที่มีขั้วของ SDS จะหันออกมาจับกับโคโตซาน ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กลไกที่การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

#### 4.2.2.2 ปริมาณไขมันชั้นบรรจุในวัสดุประกอบที่เตรียมได้

ในวิธีการนี้ทำการผสมสารละลายโคโตซาน TPP หรือ SDS กับสารละลายไขมันชั้น โดยมีปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นเท่ากับ 15 มิลลิกรัม จากนั้นเติมสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS ลงไป ก่อให้เกิดอนุภาควัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้น จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำการแยกสารละลายไขมันชั้นที่เหลือนอกจากวัสดุประกอบที่เตรียมได้ แล้วนำสารละลายไขมันชั้นที่เหลือนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำค่ามาคำนวณปริมาณไขมันชั้นด้วยสมการ  $y = 0.00671x + 0.00143$  ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างกรด อะซีติก เอทานอลและน้ำกลั่น จากนั้นนำปริมาณไขมันชั้นที่เหลือนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น จากสมการที่ 4.1 ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณไขมันชั้นที่ได้จากการคำนวณ* (มิลลิกรัม)	ปริมาณไขมันชั้นที่บรรจุในวัสดุประกอบ (มิลลิกรัม/กรัม)	ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้น (%)
CS / TPP-CUR 1:0.5	0.04	0.02	0.28
CS / TPP-CUR 1:1	8.05	4.02	53.64
CS / TPP-CUR 1:2	10.33	5.16	68.84
CS / SDS-CUR 1:0.5	4.60	2.30	30.68
CS / SDS-CUR 1:1	7.60	3.80	50.74
CS / SDS-CUR 1:2	11.80	5.90	78.66

\* ปริมาณไขมันชั้นในวัสดุประกอบ 2 กรัม

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงจากอัตราส่วน 1:0.5 เป็น 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ จะให้ปริมาณไขมันชั้นที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและสารเชื่อมโยงมากขึ้น จึงมีโครงสร้างและพื้นที่ในการบรรจุไขมันชั้นเพิ่มมากขึ้น ไขมันชั้นจะแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้มากขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นในวัสดุประกอบเพิ่มสูงขึ้น

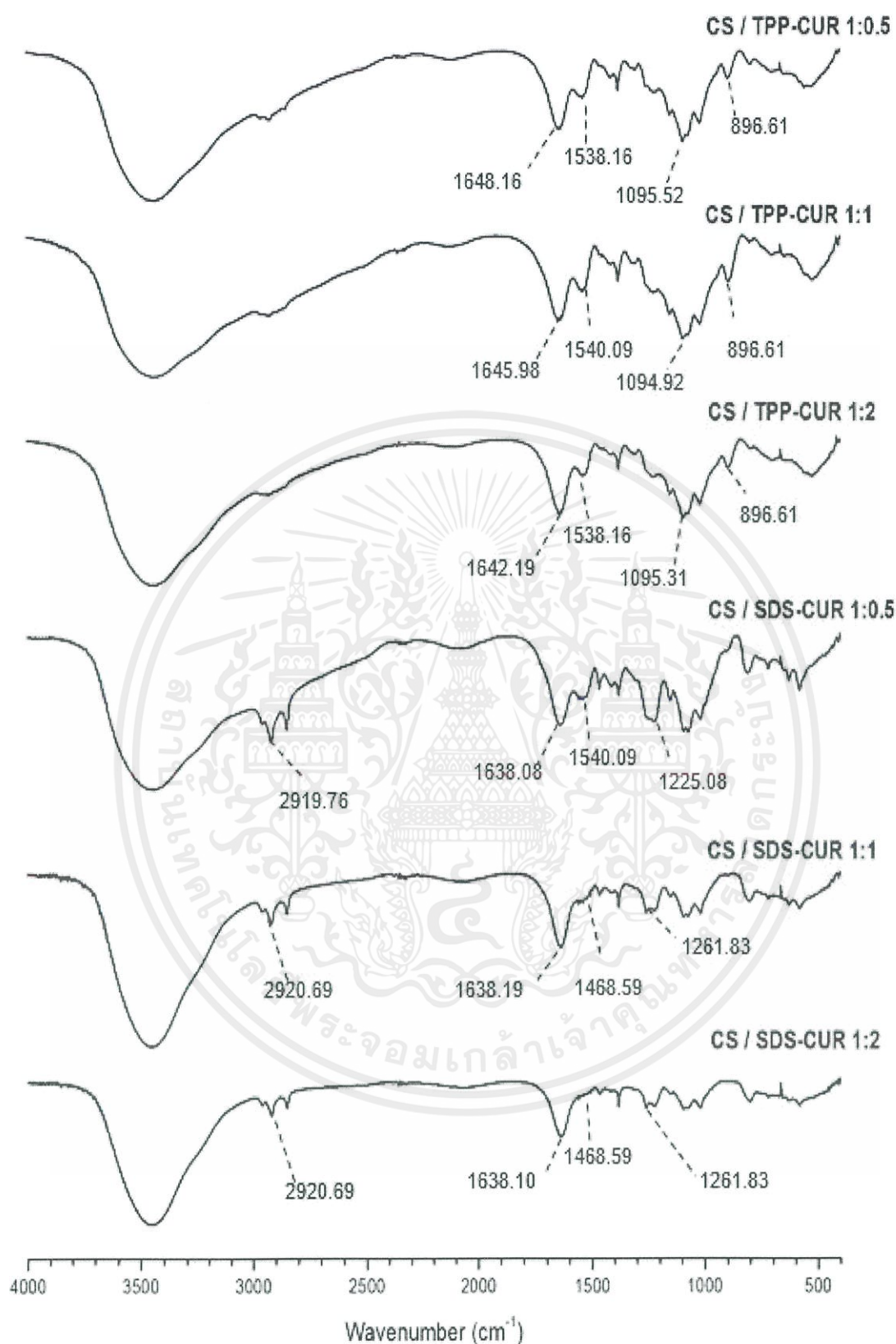
4.2.2.3 โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2 ได้ผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

ชื่อตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )					
	-NH <sub>2</sub>	C <sub>ring</sub>	P-O	P-O-P	C-H aliphatic	S-O
CS	1646.02	-	-	-	-	-
CUR	-	1513.04	-	-	-	-
TPP	-	-	1099.97	898.81	-	-
SDS	-	-	-	-	2919.04	1250.24
CS/ TPP-CUR 1:0.5	1648.16	1538.16	1094.92	892.75	-	-
CS/ TPP-CUR 1:1	1645.89	1540.09	1095.31	896.61	-	-
CS/ TPP-CUR 1:2	1642.19	1538.16	1095.52	896.61	-	-
CS/ SDS-CUR 1:0.5	1638.08	1540.09	-	-	2919.76	1225.08
CS/ SDS-CUR 1:1	1638.19	1468.59	-	-	2920.69	1261.83
CS/ SDS-CUR 1:2	1638.10	1468.59	-	-	2920.69	1261.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.9 พบว่าสเปกตรัม FTIR ของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ด้วยวิธีการแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2 ปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชันสำคัญในลักษณะที่คล้ายคลึงกับวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2 ในระบบการเชื่อมโยงด้วย TPP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของ หมู่ฟังก์ชันสำคัญของโคโตซาน นั่นคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในโคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของโคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของ TPP ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลให้ฟีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่นจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น TPP ในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ TPP ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคโคโตซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ P-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน

ในกรณีระบบการเชื่อมโยงของ SDS พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันสำคัญของโคโตซานคือหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบที่เตรียมได้ เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนของโคโตซานเริ่มต้น (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชัน S-O เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของโคโตซานและหมู่ซัลโฟเนตของ SDS ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ส่งผลให้ฟีกของ S-O มีการเลื่อนตำแหน่งเลขคลื่นจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น SDS ในภาพที่ 4.4 เมื่อปรับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ SDS ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคโคโตซาน พบว่าเลขคลื่นของหมู่เอมีนและหมู่ S-O เกิดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ไม่เห็นฟีกที่ชัดเจนของขมิ้นชัน เพราะตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของขมิ้นชันอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับหมู่ฟังก์ชันของโคโตซาน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักที่ใช้ในการเตรียม

### 4.3 การปลดปล่อยขมิ้นชันของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆไปทดสอบการปลดปล่อยในสารละลาย 4 ชนิด คือ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer saline, PBS) น้ำมันมะพร้าว สารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (Simulated Gastric Fluid, SGF) และ สารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ (Simulated Intestinal Fluid, SIF) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อแช่วัสดุประกอบในสารละลาย PBS และ SIF พบว่าภายหลังการแช่สารละลายยังคงมีลักษณะใสไม่มีสี และเกิดตะกอนสีขาวขุ่น ส่วนการทดสอบการปลดปล่อยในสารละลาย SGF และน้ำมันมะพร้าว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการแช่วัสดุประกอบพบว่าสารละลายมีสีเหลืองอ่อนและไม่พบตะกอนแขวนลอยในสารละลาย จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ขมิ้นชันถูกปลดปล่อยออกมาได้ในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกรด ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 1.2 และในสารละลายที่มีขี้ด่ำ ดีกว่าสารละลายที่มีสภาวะเป็นกลางหรือเบส เนื่องจากในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกลางหรือเบส มีตะกอนสีขาวขุ่นเนื่องจากการกร่อนของอนุภาคโคโคซาน แต่ขมิ้นชันไม่สามารถละลายออกมาหรือละลายได้น้อยมาก ส่วนในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกรดและสารละลายที่มีขี้ด่ำ ขมิ้นชันจึงละลายออกมาได้ ทำให้สารละลายมีสีเหลืองแต่ไม่ขุ่น เนื่องจากไม่มีการกร่อนของอนุภาคโคโคซาน สรุปได้ว่าขมิ้นชันมีความสามารถในการละลายในสารละลายที่มีขี้ด่ำและสารละลายที่มีสภาวะเป็นกรดดีกว่า จึงทำให้ขมิ้นชันถูกปลดปล่อยออกมาได้ เลื่อนนำสารละลาย SGF มาทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยขมิ้นชันออกจากวัสดุประกอบที่เตรียมได้ในการทดลองถัดไป เนื่องจากเป็นสภาวะที่ขมิ้นชันถูกปลดปล่อยออกมาได้และเป็นสารละลายที่จำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ในการศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยของวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการเดียวกันแต่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อสารเชื่อมโยงแตกต่างกัน โดยเลือกนำวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:0.5 1:1 และ 1:2 แช่ลงในสารละลาย SGF เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการแยกสารละลาย SGF ออกจากวัสดุประกอบ แล้วนำสารละลาย SGF ที่แยกออกมา ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร ด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำค่ามาคำนวณปริมาณขมิ้นชันที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุประกอบ ด้วยสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน  $y = 0.01348x - 0.01107$  ( $y$  คือค่าการดูดกลืนแสง และ  $x$  คือความเข้มข้นของสารละลาย) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การปลดปล่อยขมิ้นชันในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ขมิ้นชันที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อสารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณการปลดปล่อยขมิ้นชัน (มิลลิกรัม)
CS/TPP + CUR 1:0.5	0.060
CS/TPP + CUR 1:1	0.066
CS/TPP + CUR 1:2	0.058
CS/SDS + CUR 1:0.5	0.043
CS/SDS + CUR 1:1	0.056
CS/SDS + CUR 1:2	0.020

จากตารางที่ 4.11 พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1 มีความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นได้ดีกว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1:0.5 และ 1:2 จากผลดังกล่าว สันนิษฐานว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อไขมันชั้นเป็น 1:0.5 มีปริมาณไขมันชั้นบรรจุในวัสดุประกอบน้อย เมื่อนำมาทดสอบการปลดปล่อยไขมันชั้น จึงมีปริมาณไขมันชั้นออกมาในสารละลาย SGF เล็กน้อย ในขณะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:2 สันนิษฐานว่าโครงสร้างโคโตซานถูกเชื่อมโยงอย่างหนาแน่น จึงเกิดการบวมตัวในสารละลาย SGF ได้ยากกว่าอัตราส่วน 1:1 เป็นผลให้ไขมันชั้นถูกปลดปล่อยออกมาได้ยากกว่าทั้งในกรณีที่ใช้ TPP และ SDS เป็นสารเชื่อมโยงในการเตรียมวัสดุประกอบ แม้ว่าสารตัวอย่างจะมีประสิทธิภาพในการบรรจุไขมันชั้นได้สูง ดังนั้นจึงเลือกนำวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1 ในการทดสอบการปลดปล่อยไขมันชั้นในลำดับต่อไป

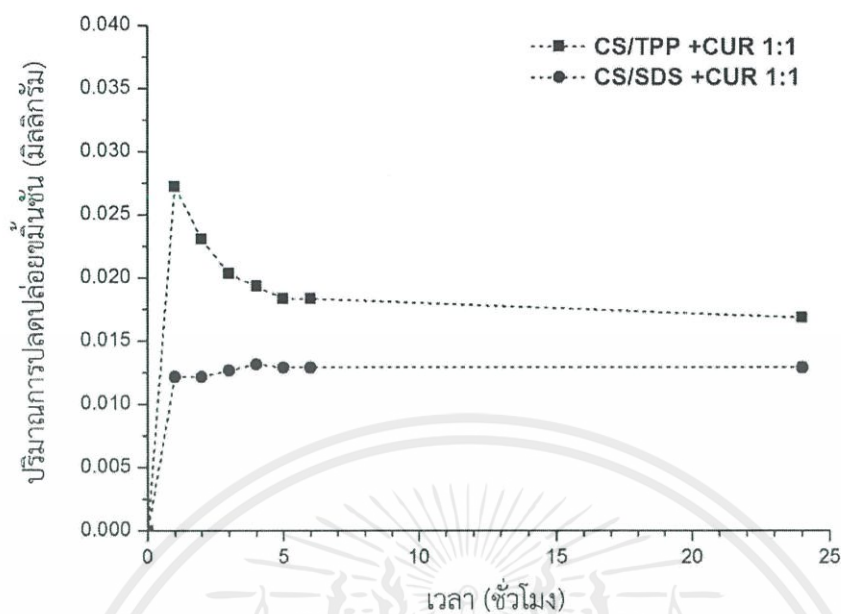
ในการศึกษาผลของระบบการเชื่อมโยงด้วย TPP หรือ SDS ต่อความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้น โดยนำวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 และ CS/SDS + CUR 1:1 แช่ลงในสารละลาย SGF แล้วเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1-6 จากนั้นจึงแช่ไว้ในสารละลาย SGF จนครบ 24 ชั่วโมง สารละลาย SGF ที่แยกออกมาในช่วงเวลาต่างๆจะดูนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยความยาวคลื่น 421 นาโนเมตรด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำมาคำนวณปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นจากสมการ  $y = 0.01348x - 0.01107$  ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.12 การปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่ใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นจาก CS/TPP + CUR 1:1 (มิลลิกรัม)	ปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นจาก CS/SDS + CUR 1:1 (มิลลิกรัม)
1	0.027	0.012
2	0.023	0.012
3	0.020	0.013
4	0.019	0.013
5	0.018	0.013
6	0.018	0.013
24*	0.017	0.013

\* คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ผลการปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่ใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน ที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาการปลดปล่อยที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 มีปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นในปริมาณที่มากกว่าวัสดุประกอบ CS/SDS + CUR 1:1 ในทุกช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง โดยในช่วงชั่วโมงที่ 1 วัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 ปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาในปริมาณมากที่สุด ปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นของวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆในการทดสอบชั่วโมงที่ 2-5 และเริ่มคงที่หลังจากผ่านไป 6 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นที่มีอยู่ในวัสดุประกอบมีค่าเท่ากับ 0.148 มิลลิกรัม (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณไขมันชั้นที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.144 มิลลิกรัม คิดเป็น 96.99 เปอร์เซ็นต์

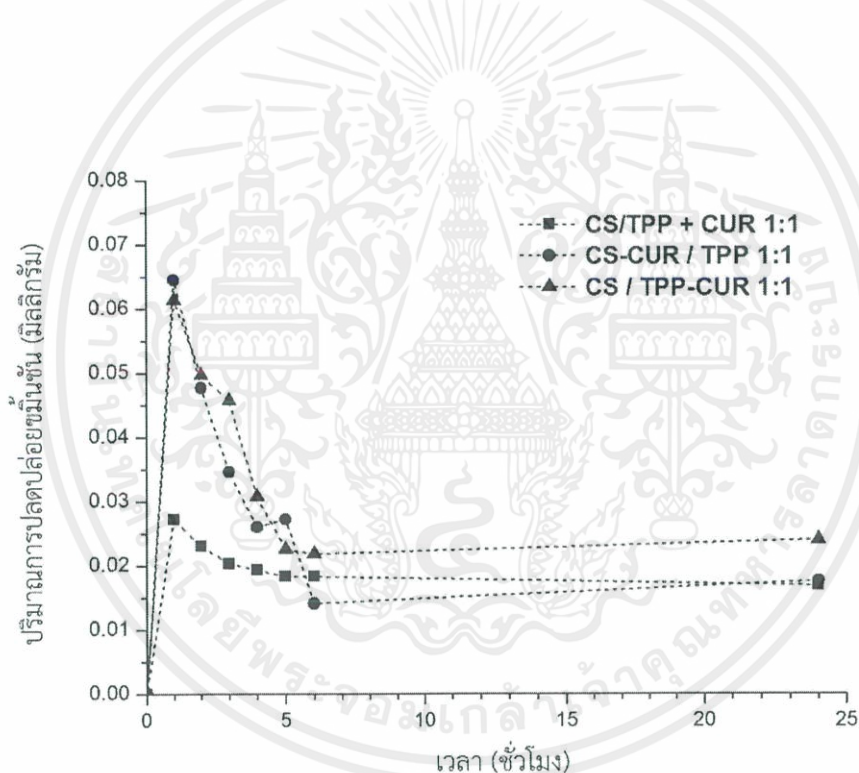
ในขณะที่การปลดปล่อยไขมันชั้นของวัสดุประกอบ CS/SDS + CUR 1:1 มีปริมาณสูงสุดในชั่วโมงแรกเช่นเดียวกับวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 การปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาได้ทีละน้อยอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณการปลดปล่อยที่คงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 เป็นต้นไป โดยปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นที่มีอยู่ในวัสดุประกอบ CS/SDS + CUR 1:1 มีค่าเท่ากับ 0.150 มิลลิกรัม (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณไขมันชั้นที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.087 มิลลิกรัม คิดเป็น 58.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยต่ำกว่า CS/TPP + CUR 1:1 ทั้งนี้

สันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากไขมันชั้นมีสภาพขี้เกลือเคี้ยวกับ SDS จึงเกิดอันตรกิริยาระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทริกซ์ได้ดีกว่าไขมันชั้นในวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 ดังนั้นไขมันชั้นจึงถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่า

ในการศึกษาผลของวิธีการเตรียมวัสดุประกอบต่อความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้น โดยนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ (CS/TPP + CUR 1:1) วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 1 (CS-CUR / TPP 1:1) และวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2 (CS / TPP-CUR 1:1) แผลงในสารละลาย SGF แล้วเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1-6 จากนั้นจึงแช่ไว้ในสารละลาย SGF จนครบ 24 ชั่วโมง สารละลาย SGF ที่แยกออกมาในช่วงเวลาต่างๆจะดูนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยความยาวคลื่น 421 นาโนเมตรด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อนำมาคำนวณปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้น จากสมการ  $y = 0.01348x - 0.01107$  ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และตารางที่ 4.13



ภาพที่ 4.11 ผลการปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน ที่เวลาต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการปลดปล่อยไขมันชั้นในสารละลาย SGF ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/  
ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการปลดปล่อย ไขมันชั้นจาก CS/TPP + CUR 1:1 (มิลลิกรัม)	ปริมาณการปลดปล่อย ไขมันชั้นจาก CS-CUR / TPP 1:1 (มิลลิกรัม)	ปริมาณการปลดปล่อย ไขมันชั้นจาก CS / TPP-CUR 1:1 (มิลลิกรัม)
1	0.027	0.065	0.061
2	0.023	0.048	0.050
3	0.020	0.035	0.046
4	0.019	0.026	0.031
5	0.018	0.027	0.023
6	0.018	0.014	0.022
24*	0.017	0.018	0.024

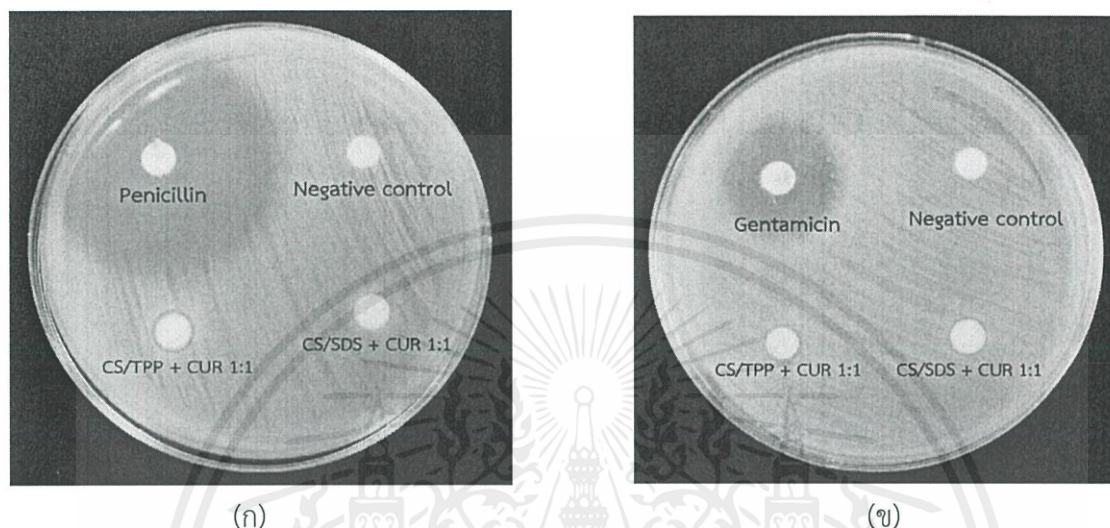
\*คือชั่วโมงที่ 7-24

จากการศึกษาการปลดปล่อยไขมันชั้นข้างต้น พบว่า CS/TPP + CUR 1:1 ปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาอย่างช้าๆในทุกชั่วโมง โดยมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นที่ในวัสดุประกอบคือ 0.148 มิลลิกรัม และเมื่อคำนวณปริมาณไขมันชั้นที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.144 มิลลิกรัม คิดเป็น 96.99 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ CS-CUR / TPP 1:1 ปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาได้มากในชั่วโมงแรก และค่อยๆปลดปล่อยได้น้อยลง โดยที่ปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นที่มีอยู่ในวัสดุประกอบคือ 0.413 มิลลิกรัม และปริมาณไขมันชั้นที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ 0.232 มิลลิกรัม คิดเป็น 56.19 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ CS / TPP-CUR 1:1 ที่มีการปลดปล่อยไขมันชั้นได้มากในชั่วโมงแรกและลดลงเรื่อยๆ โดยที่มีปริมาณไขมันชั้นเริ่มต้นที่ 0.403 มิลลิกรัม และสามารถปลดปล่อยไขมันชั้นออกมาได้ 0.256 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็น 63.54 เปอร์เซ็นต์ สันนิษฐานว่า CS/TPP + CUR 1:1 ซึ่งเตรียมด้วยวิธีการดูดซับ การแทรกตัวของไขมันชั้นในโครงร่างแหไคโตซานเป็นเพียงอันตรกิริยาอย่างอ่อนและเป็นการดูดซับทางกายภาพ จึงปลดปล่อยได้ดีกว่า ในขณะที่ CS / TPP-CUR 1:1 และ CS-CUR / TPP 1:1 ไขมันชั้นมีการยึดเกาะแน่นกับโครงร่างแหของไคโตซานและ TPP ทำให้ไขมันชั้นถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่า จึงทำให้วัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับมีความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นได้ดีกว่าอีกสองวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น

เมื่อนำวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 และ CS/SDS + CUR ได้ทดสอบสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.12 และตารางที่ 4.14



ภาพที่ 4.12 สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (ก) *S.aureus* และ (ข) *E.coli* ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น

ตารางที่ 4.14 เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้น

สารตัวอย่าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)	
	<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>
CS/TPP + CUR 1:1	7.3	8
CS/SDS + CUR 1:1	0	7

จากผลการทดสอบ พบว่า CS/TPP + CUR 1:1 สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ได้ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าวัสดุประกอบ CS/TPP + CUR 1:1 มีปริมาณการปลดปล่อยไขมันชั้นในปริมาณที่มากกว่าวัสดุประกอบ CS/SDS + CUR 1:1 จึงส่งผลให้ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี แต่ CS/SDS + CUR 1:1 ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่ดีเท่า โดยเฉพาะแบคทีเรีย *S.aureus* ซึ่งผนังเซลล์หนาจึงมีความทนทานมากกว่า *E.coli*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวได้ โดยใช้สารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate; TPP) และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:0.5 1:1 และ 1:2 เพื่อบรรจุและควบคุมการปลดปล่อยไขมันชั้น

ในการเตรียมอนุภาคโคโตซานโดยใช้สารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน จะเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของโคโตซานด้วยกลไกที่แตกต่างกัน จึงเกิดโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยในกรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยงจะเกิดโครงสร้างแบบโครงร่างแห 3 มิติ ส่วนในกรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง จะเกิดโครงสร้างแบบไมเซลล์หรือแบบแซนด์วิช อนุภาคโคโตซานที่เชื่อมโยงทั้งสองกรณี สามารถดูดซับและกักเก็บไขมันชั้นได้ โดยอนุภาคโคโตซานที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงมากกว่า จะบรรจุไขมันชั้นได้มากกว่า

ในวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว จะเกิดการเชื่อมโยงพร้อมกับการบรรจุไขมันชั้นเข้าไปในวัสดุประกอบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 คือการนำสารละลายไขมันชั้นผสมกับสารละลายโคโตซานก่อนทำการเชื่อมโยง พบว่าในกรณีที่ใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง ไขมันชั้นจะขัดขวางการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ TPP ทำให้เกิดการเชื่อมโยงน้อยกว่าอนุภาคโคโตซานที่ไม่มีไขมันชั้น แต่ในกรณีของ SDS การผสมโคโตซานกับไขมันชั้นก่อน ไม่ส่งผลต่อการเกิดโครงสร้างแบบไมเซลล์ ในขณะที่การเตรียมรูปแบบที่ 2 โดยนำสารละลายไขมันชั้นผสมกับสารเชื่อมโยง TPP หรือ SDS ก่อนแล้วจึงเติมสารละลายโคโตซานลงไป พบว่าไขมันชั้นไม่ได้ขัดขวางการเชื่อมโยงของโคโตซานทั้งในกรณีที่ใช้ TPP และ SDS เป็นสารเชื่อมโยง ในวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวรูปแบบที่ 2 พบว่าเมื่อปริมาณของสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จะเป็นผลให้ปริมาณไขมันชั้นที่บรรจุในวัสดุประกอบเพิ่มมากขึ้น

วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมได้ มีความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นออกจากวัสดุประกอบได้ดีในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (Stimulated Gastric Fluid, SGF) วัสดุประกอบใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง สามารถปลดปล่อยปริมาณไขมันชั้นได้มากกว่ากรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง โดยวัสดุประกอบที่ปลดปล่อยไขมันชั้นได้มากที่สุดเป็นวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1 นอกจากนี้วัสดุประกอบที่เตรียมได้มีสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยที่วัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ TPP เป็นสารเชื่อมโยง สามารถต้านทานแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ได้ดี ในขณะที่วัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง มีสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* ได้เพียงชนิดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรืออาจมีเนื้อหาที่เป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรืออาจมีการแก้ไขเนื้อหาบางส่วนโดยไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้า การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรปรับเปลี่ยนปริมาณของไขมันชั้นที่ใช้ในการเตรียม เพื่อศึกษาขีดจำกัดในการบรรจุไขมันชั้นของวัสดุประกอบ

5.2.2 ควรมีการปรับเปลี่ยนวิธีการทำให้แห้ง เนื่องจากการทำให้แห้งด้วยความร้อน ทำให้อุณหภูมิของตัว ส่งผลให้มีขนาดเล็กและไม่มีรูพรุน ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยไขมันชั้นออกจากอนุภาคได้

5.2.3 ควรมีการทดสอบสมบัติความเป็นพิษต่อเซลล์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] อรประพันธ์ ส่งเสริม. ขุนพล พงษ์มณี. อรรถวุฒิ พลายบุญ. (2552). การใช้สารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่. ชุดโครงการสมุนไพรรักษาคุณภาพชีวิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [2] เปียทิพย์ พัวพันธ์.(2014). ขมิ้นชัน (Turmeric). บทความความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเทคโนโลยีทางการศึกษา. สืบค้นจาก <http://edtech.ipst.ac.th/index.php/2011-07-29-04-02-00/18-2011-08-09-06-29-06/1631--tumeric.html>
- [3] Jea, W. L., Hye, M. H., Dong, D. K., et al. (2010). Dimethoxycurcumin, a Structural Analogue of Curcumin, Induces Apoptosis in Human Renal Carcinoma Caki Cells Through the Production of Reactive Oxygen Species, the Release of Cytochrome c, and the Activation of Caspase-3. Korean Journal of Urology 2010 Dec, 51(12):870-878.
- [4] Ravindran, P. N., Nirmal Babu, K., Sivaraman, K. (2007). Turmeric : The genus Curcuma. Florida : CRC Press.
- [5] สุชาติ จอประเสริฐ. (2554). การยกเว้นการศึกษาชีวสมมูลในมนุษย์ตาม Biopharmaceutics Classification System (BCS) Class I คืออะไร. สารพันสารกับยาสามัญ วงการแพทย์ 16 - 30 มิถุนายน 2554.
- [6] Wan, S., Sun, Y., Qi, X., Tan, F. (2011). Improved Bioavailability of Poorly Water-Soluble Drug Curcumin in Cellulose Acetate Solid Dispersion. AAPS PharmSciTech. 2012 Mar; 13(1) : 159–166.
- [7] กันตวัฒน์ หมาตสุเรน. (2555). การเตรียมและการทดสอบของฟิล์มนาโนคอมพอลิเมอร์ชีวภาพจากโคโตซานและไฮดรอกซีอะพาไทต์. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [8] อนุรักษ์เกียรติ เจริญทรัพย์. วิสา บินมะหะหมัด. สุวิตตรา แซ่มชื่น. (2548). การผลิตแผ่นฟิล์มโคโตซานสำหรับปิดแผล. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] Kashyap, P. L., Xiang, X., Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules* 77 (2015) 36-51.
- [10] น้อย เนียมสา. (2556). อนุภาคระดับไมโครของไคโตซานสำหรับใช้เป็นระบบนำส่งยาแบบควบคุมการปลดปล่อย. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 18 (2556) 2 : 281-287.
- [11] กิ่งชม พิชวงค์. ประธาน จิราณุวัฒน์วงศ์. ปิยศักดิ์ ประกอบแสง. (2548). การชุบเคลือบพริกด้วยไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. งานโครงการหมายเลข ChE2005-10 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [12] Tillet, G., Boutevin, B., Ameduri, B. (2010). Chemical reactions of polymer crosslinking and post-crosslinking at room and medium temperature. *Progress in Polymer Science* 36 (2011) 191-217.
- [13] Thermo Scientific (2012). *Crosslinking Technical Handbook*. Chemistry of Crosslinking. Available at [www.thermoscientific.com/pierce](http://www.thermoscientific.com/pierce).
- [14] Hsing, W. S., Ha, T. N., Fang, Y. S., et al. (2013). Pharmaceutical composition of nanoparticles. United State Patent 8535640 B1.
- [15] ScinceLab.com. (2013). *Material Safety Data Sheet : Sodium tripolyphosphate*. From [www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927608](http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927608).
- [16] วิสาขา ภูจินดา. (2548). การใช้ประโยชน์สารลดแรงตึงผิวในการบำบัดน้ำเสีย. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 2548*.
- [17] Fisher Scientific. (2015). *Sodium Lauryl Sulfate (NF/FCC). SAFETY DATA SHEET*.
- [18] Esmeralda. (2012). *What's in your Shampoo? Part 3 – SLS*. Retrieved August 14, 2012. from [www.sciencesosexy.com/2012/08/whats-in-your-shampoo-part-3-sls.html](http://www.sciencesosexy.com/2012/08/whats-in-your-shampoo-part-3-sls.html)
- [19] Pal, A., Maji, S. K. (2006). Spectrophotometric determination of arsenic via nanogold formation in micellar medium. *Indian Journal of Chemistry A* 45, 1178-1182

- [20] Vasile, B. S., Operea, O., Voicu, G., Ficai, A., et al. (2014). Synthesis and characterization of a novel controlled released zinc oxide/gentamicin-chitosan composite with potential applications in wounds care. *International Journal of Pharmaceutics* 463, 161-169.
- [21] Khalili, S. T., Mohsenifar A., Beyki, M., et al. (2015). Encapsulation of Thyme essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *LWT - Food Science and Technology* 60, 502-508.
- [22] Madusanka, N., Nalin de Silva, K. M., Amaratunga, G. (2015). A curcumin activated carboxymethyl cellulose-montmorillonite clay nanocomposite having enhanced curcumin release in aqueous media. *Carbohydrate Polymers* 134, 695-699.
- [23] Sowasod, N., Charinpanitkul, T., Tanthapanichakoon, W. (2006). Nanoencapsulation of Curcumin in Biodegradable Chitosan via Multiple Emulsion/Solvent Evaporation. *Proc. Thailand Material Science and Technology Conference 4<sup>th</sup>*.
- [24] Parize, A. L., Stulzer, H. K., Laranjeira, M. M., Souza, I. (2012). Evaluation of chitosan microparticles containing curcumin and crosslinked with sodium tripolyphosphate produced by spray drying. *Quim Nova* 35(6), 1127-1132.
- [25] Yadav, A., Lomash, V., Sanim, M., Flora, S. J.S., (2012). Curcumin encapsulated in chitosan nanoparticles : A novel strategy for the treatment of arsenic toxicity. *Chemico-Biological Interactions* 199, 49-61.
- [26] Nguyen, M. H., Yu, H., Hadinoto, K., (2015). Cost-effective alternative to nano-encapsulation : Amorphous curcumin-chitosan nanoparticle complex exhibiting high payload and supersaturation generation. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 96, 1 - 10.
- [27] Madhusudhan, B., Kumara, V., (2015). Synthesis, characterization and hemocompatibility evaluation of curcumin encapsulated chitosan nanoparticles for oral delivery. *International Journal of Advanced Research* 3(4), 604 – 611.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

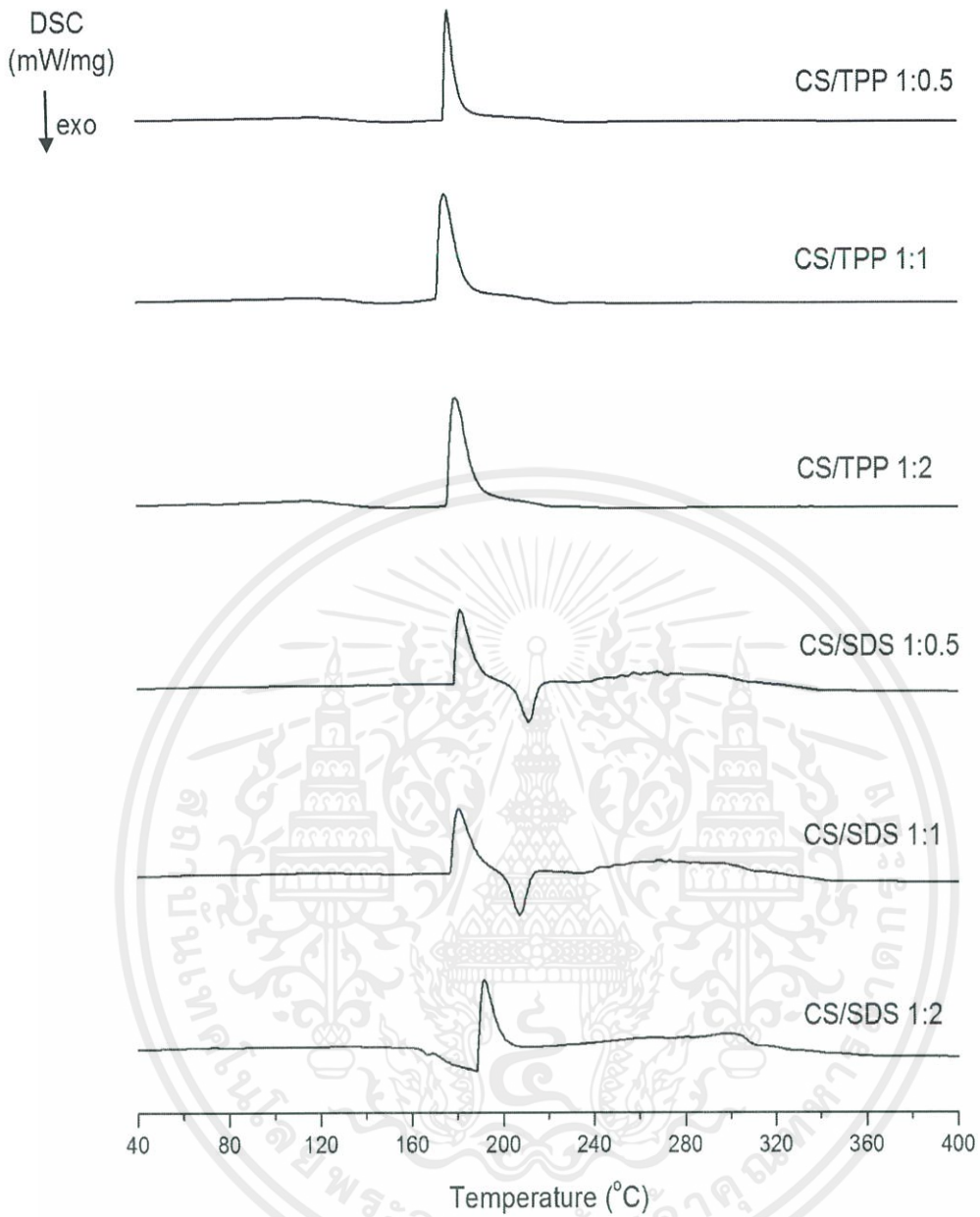
- [28] จิตาภา คุณารักษ์. สติลภา โพธิ์อ่อน. สุกัญญา พรหมอารักษ์. (2556). การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล. ปรินญา นิพนธ์. สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [29] Yang, C. H., Lin, Y. S., et al. (2009). Microfluidic emulsification and sorting assisted preparation of monodisperse chitosan microparticles. *Lab on a Chip* 9(1), 145-150.





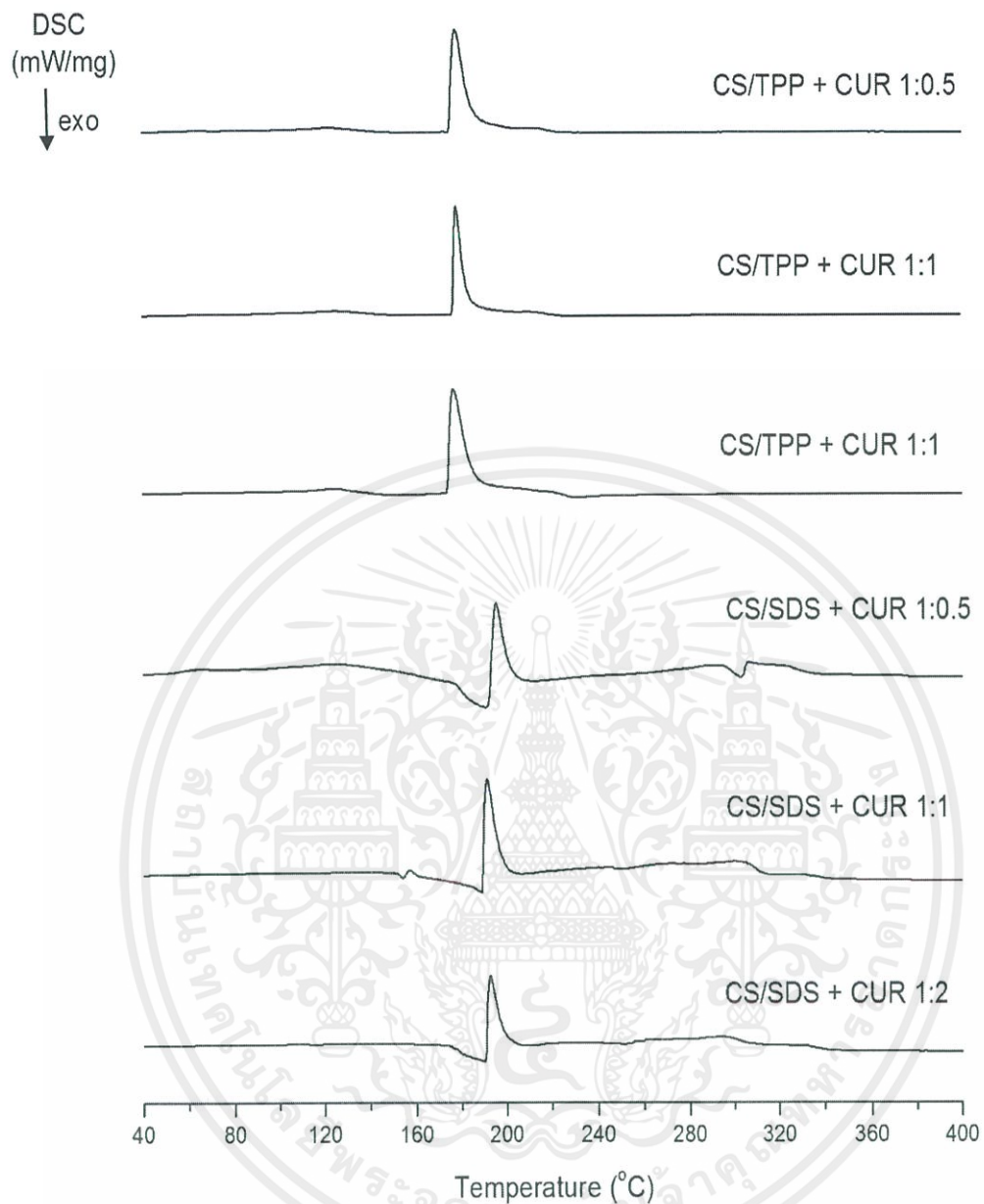
ภาคผนวก ก เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาคโคโตซานและวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/ขมิ้นชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



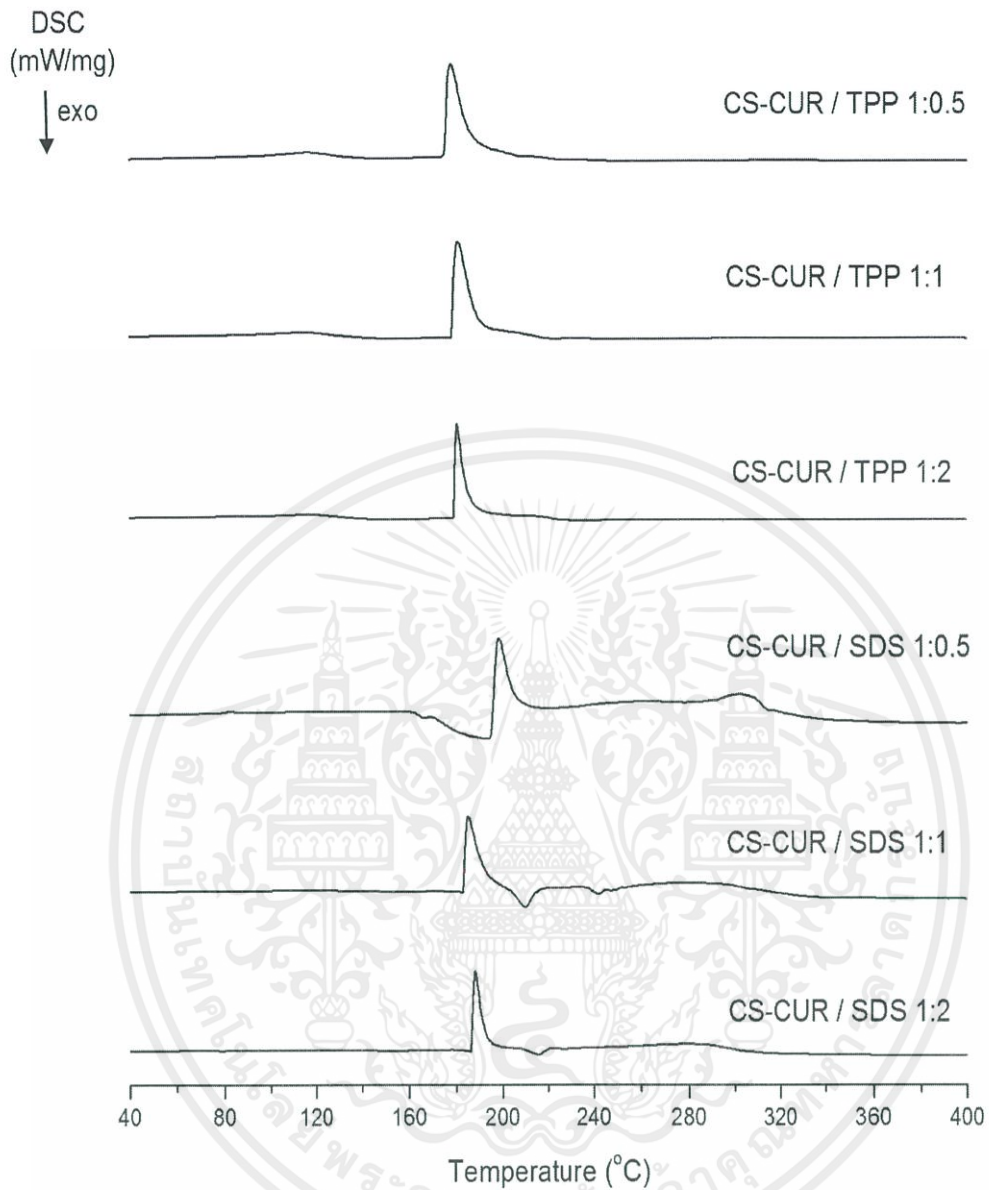
ภาพที่ ก.1 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาคไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP หรือ SDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

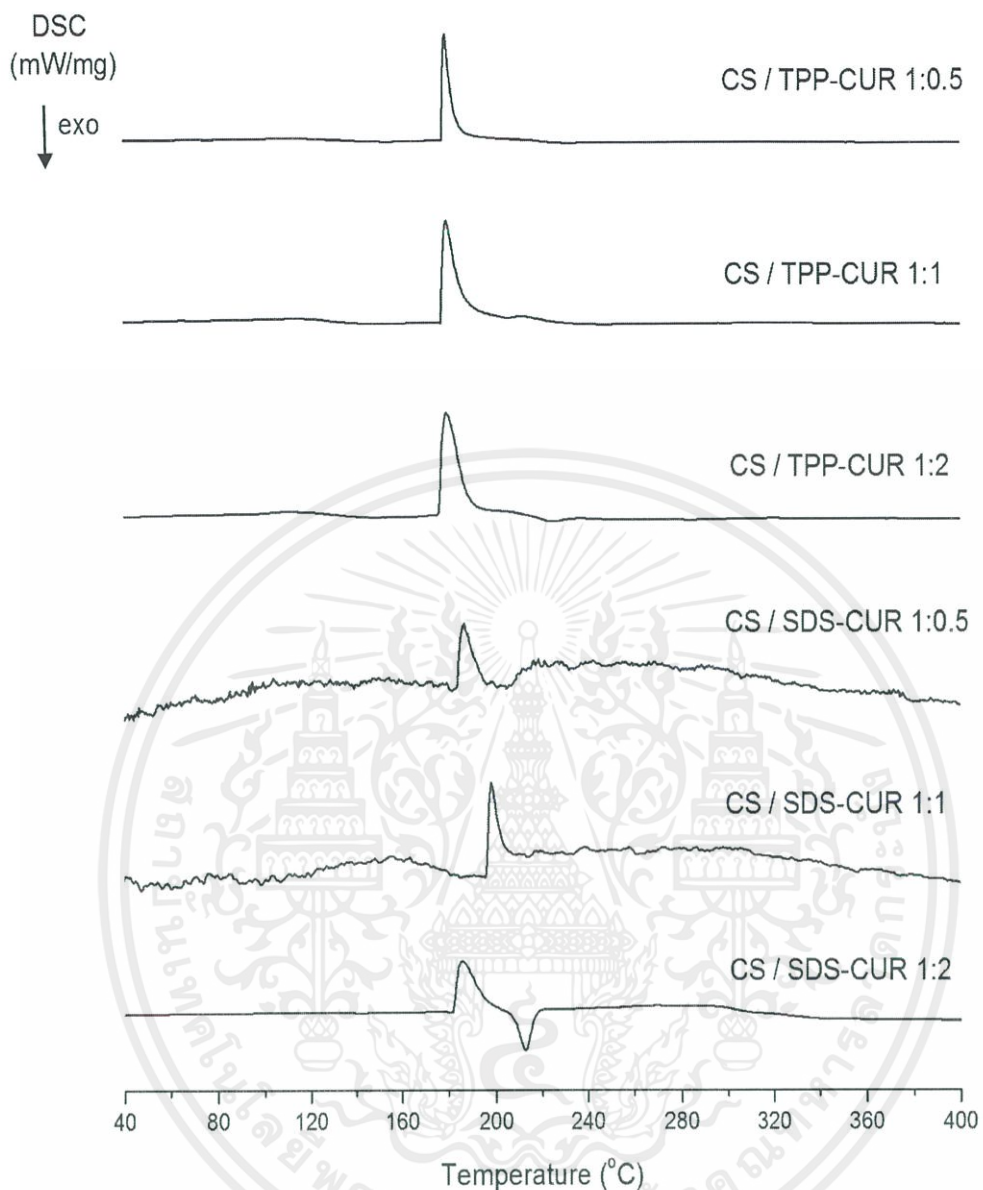


ภาพที่ ก.2 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ไขมันชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.3 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 1



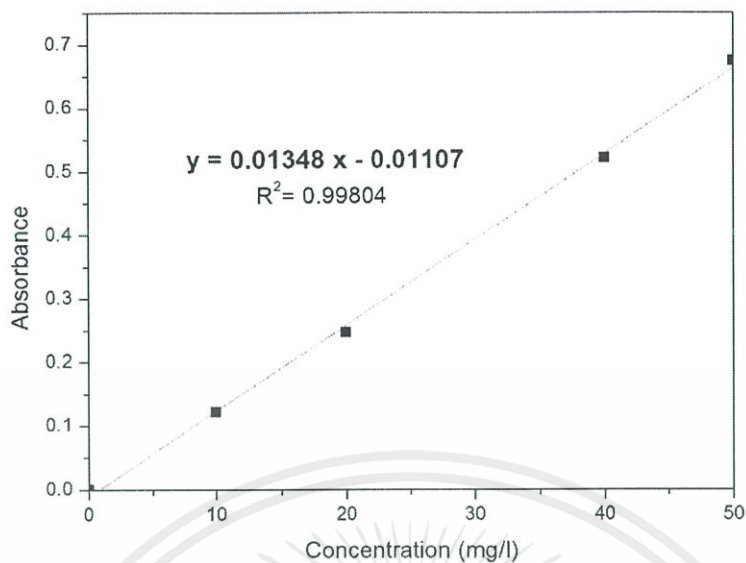
ภาพที่ ก.4 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว รูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

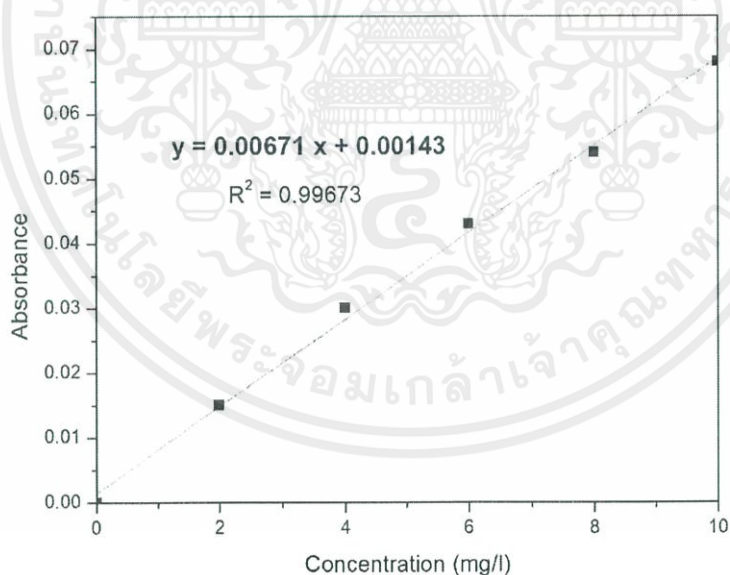
The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sunburst with a small circle at its center, radiating lines, and a central tiered stupa. This central motif is flanked by two smaller tiered stupas. The entire design is set against a background of stylized floral and leaf patterns. The outer ring of the seal contains the university's name in Thai script: "วิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างน้ำกลั่นและเอทานอล



ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายไขมันชั้นในสารละลายผสมระหว่างกรออะซิติก เอทานอล และน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวศุกลวัฒน์ เซวานต์  
วัน-เดือน-ปีเกิด 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536  
สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 20 ซอยเฉลิมพระเกียรติ ร.9 ซอย 12 แยก 1 ตำบลหนองบอน  
อำเภอประเวศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10250

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จาก  
โรงเรียนพระแม่มาลีพระโขนง  
ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียน  
สิริรัตนาร  
ปีการศึกษา 2555 เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา  
วิศวกรรมวัสดุภาโน วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้