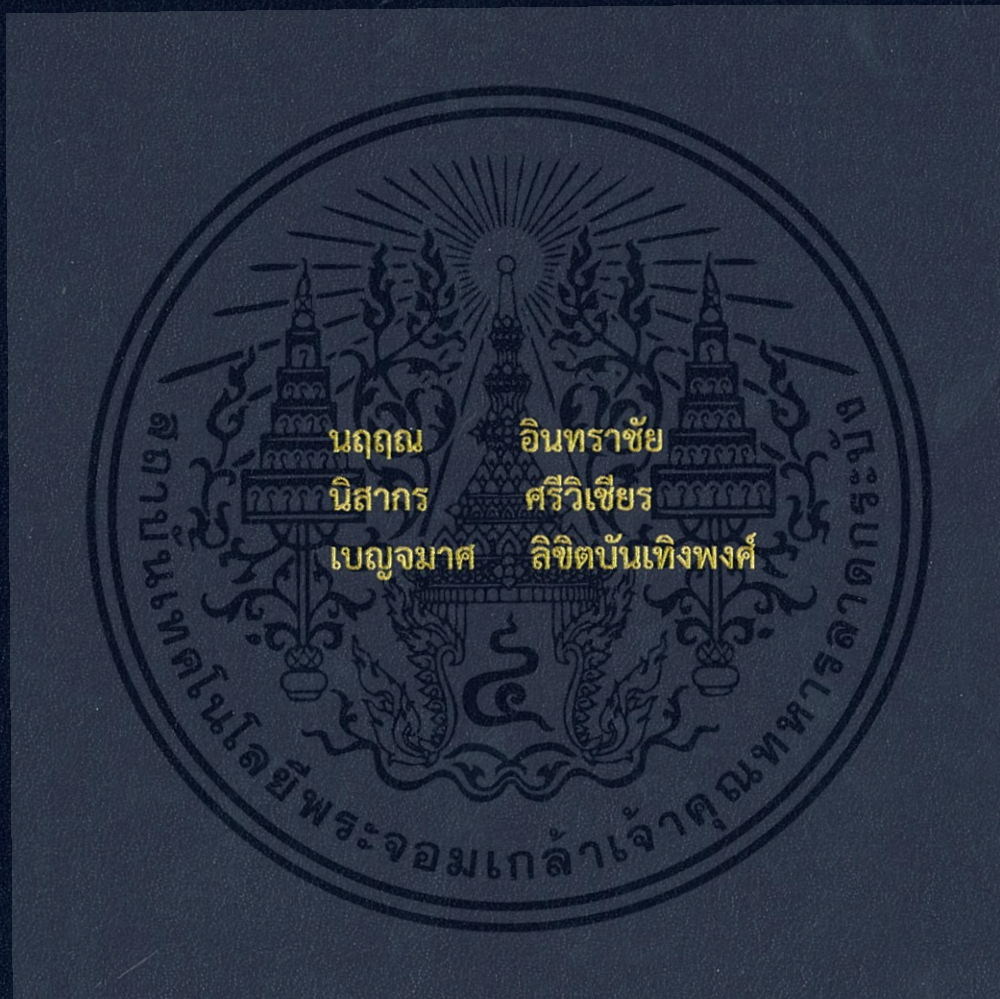


การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน

PREPARATION OF CHITOSAN/CURCUMIN
NANOCOMPOSITES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน

PREPARATION OF CHITOSAN/CURCUMIN
NANOCOMPOSITES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF CHITOSAN/CURCUMIN
NANOCOMPOSITES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ACADEMIC YEAR 2016** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------|---|-----------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน | |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวนฤกษ อิศราชัย | รหัสนักศึกษา 56050514 |
| | นางสาวนิสากร ศรีวิเชียร | รหัสนักศึกษา 56050523 |
| | นางสาวเบญจมาศ ลิขิตบันเทิงพงศ์ | รหัสนักศึกษา 56050524 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) | |
| ภาควิชา | เคมี | |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ | |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | |
| ปีการศึกษา | 2559 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินโดยการผสม 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 ทำการผสมสารละลายเคอร์คูมินกับสารละลายโคโคซานเข้าด้วยกันแล้วเติมสารเชื่อมโยงรูปแบบที่ 2 ผสมสารละลายเคอร์คูมินเข้ากับสารเชื่อมโยงก่อนแล้วจึงเติมสารละลายโคโคซาน โดยใช้สารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อ SDS เป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 และปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นในการเตรียมถูกปรับเปลี่ยนจาก 1 เท่า เป็น 2 และ 3 เท่า จากนั้นนำวัสดุประกอบที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ พบว่าผลของลำดับการผสมเคอร์คูมินในการเตรียมวัสดุประกอบทั้งสองรูปแบบไม่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อการบรรจุเคอร์คูมิน ในกรณีที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1 วัสดุประกอบที่ใช้สารเชื่อมโยง STPP สามารถบรรจุเคอร์คูมินได้มากกว่า SDS เมื่อเพิ่มปริมาณ STPP เป็นผลให้มีประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ SDS จาก 1:1 เป็น 1:2 ส่งผลให้สามารถบรรจุเคอร์คูมินได้มากขึ้น แต่ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกบรรจุมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณ SDS จาก 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 เมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบเป็นผลให้ปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ประสิทธิภาพในการบรรจุมีค่าลดลง วัสดุประกอบที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยงสามารถปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากกว่า SDS โดยวัสดุประกอบที่ปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากที่สุดเตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโคซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 ปลดปล่อยเคอร์คูมินออกมาในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารได้ 97.9% นอกจากนี้วัสดุประกอบที่เตรียมด้วย STPP ยังมีสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ในขณะที่วัสดุประกอบที่เตรียมด้วย SDS ต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้เพียงชนิดเดียว

คำสำคัญ : การปลดปล่อยยา การเชื่อมโยงแบบไอออนิก เคอร์คูมิน โคโคซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---------------|---|---------------------|
| Title | Preparation of Chitosan/Curcumin Nanocomposites | |
| Students | Miss Nareurin Intrachai | Student ID 56050514 |
| | Miss Nisakorn Sriwichian | Student ID 56050523 |
| | Miss Benjamas Likitbunthoengpong | Student ID 56050524 |
| Degree | Bachelor of Science (Industrial Chemistry) | |
| Department | Chemistry | |
| Faculty | Science | |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) | |
| Academic Year | 2016 | |
| Advisor | Asst.Prof.Dr.Punnama Siriphannon | |

Abstract

This research studied on preparation of chitosan/curcumin nanocomposites *via* two preparation methods. The first method was performed by mixing the curcumin solution with the chitosan solution prior to adding the crosslinking agents, while the curcumin solution was mixed with the crosslinking agents prior to adding the chitosan solution in the second method. Two different crosslinking agents were used, i.e. sodium tripolyphosphate (STPP) with the weight ratios of chitosan:STPP of 1:0.75, 1:1, 1:1.5 and 1:2 and sodium dodecyl sulfate (SDS) with the weight ratios of chitosan:SDS of 1:1, 1:2, 1:3 and 1:4. The amount of initial curcumin used in the preparation of nanocomposites was increased from 1-fold to 2- and 3-fold. The synthesized nanocomposites were characterized by various techniques. It was found that the order of curcumin adding in two different preparation methods did not affect the curcumin encapsulation efficiency of nanocomposites. In the case of 1:1 weight ratio of chitosan:crosslinking agent, the curcumin could be encapsulated in the CS/STPP nanocomposites more than that in the CS/SDS nanocomposites. The increase of STPP quantity resulted in the increase of the curcumin encapsulation efficiency. The curcumin encapsulation efficiency increased significantly with increasing of weight ratio of CS : SDS from 1:1 to 1:2, however, the curcumin loading remained almost constant when the SDS was increased from 1:2 to 1:3 and 1:4. The increase of initial curcumin content in the preparation of nanocomposites brought about the increase of curcumin loading, however, the curcumin encapsulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

efficiency was decreased. The CS/STPP nanocomposites exhibited higher curcumin releasing than the CS/SDS nanocomposites. The nanocomposites prepared by the first preparation method using CS:STPP weight ratio of 1:0.75 could release 97.9% of curcumin loading 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 *E.coli*.

Keywords : Drug releasing, Ionic crosslinking, Curcumin, Chitosan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.ปยุตต์มา ศิริพันธ์โนน ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารจุฬารามวไลยลักษณ์ 1 และศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อมูล ความช่วยเหลือ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือมาโดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้กำลังใจ ช่วยเป็นแรงผลักดัน และคอยสนับสนุนเสมอมา



นฤคุณ อินทราชัย
 นิสากร ศรีวิเชียร
 เบญจมาศ ลิขิตบันเทิงพงศ์

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ง |
| สารบัญ..... | จ |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ขมิ้นชัน (Turmeric)..... | 4 |
| 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน..... | 4 |
| 2.1.2 สารสำคัญในขมิ้นชัน..... | 4 |
| 2.1.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา..... | 5 |
| 2.1.4 ประโยชน์ของขมิ้นชัน..... | 5 |
| 2.2 ไคโตซาน (Chitosan)..... | 6 |
| 2.2.1 สมบัติของไคโตซาน..... | 6 |
| 2.2.2 ประโยชน์ของไคโตซาน..... | 8 |
| 2.3 สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)..... | 9 |
| 2.3.1 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต..... | 10 |
| 2.3.2 โซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต..... | 10 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 11 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 18 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... | 18 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.3 วิธีการทดลอง..... | 19 |
| 3.3.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 19 |
| 3.3.2 ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน..... | 23 |
| 3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์..... | 24 |
| 3.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)..... | 24 |
| 3.4.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)..... | 24 |
| 3.5 การทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน..... | 24 |
| 3.6 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย..... | 24 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | 25 |
| 4.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 25 |
| 4.1.1 ผลของลำดับการผสมเคอร์คูมินในการเตรียม วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 25 |
| 4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง..... | 31 |
| 4.1.3 ผลของปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น..... | 37 |
| 4.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 41 |
| 4.2.1 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์..... | 42 |
| 4.2.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร.. | 45 |
| 4.2.3 ปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้..... | 49 |
| 4.2.4 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสภาวะจำลองระบบในร่างกาย..... | 51 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 54 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 54 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 56 |
| ภาคผนวก..... | 59 |
| ภาคผนวก ก เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 60 |
| ภาคผนวก ข กราฟพารามิเตอร์ของสารละลายเคอร์คูมินในสารละลายผสม..... | 63 |
| ภาคผนวก ค การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลาย ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต..... | 10 |
| 2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต | 11 |
| 3.1 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน และสภาวะในการเตรียม | 23 |
| 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2..... | 25 |
| 4.2 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 | 29 |
| 4.3 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 | 30 |
| 4.4 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง | 31 |
| 4.5 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง | 35 |
| 4.6 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง | 36 |
| 4.7 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น | 37 |
| 4.8 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น | 39 |
| 4.9 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น | 41 |
| 4.10 เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของวัสดุประกอบ นาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ค.1 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบ นาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน..... | 64 |
| ค.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบ นาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน..... | 65 |
| ค.3 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบ นาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 66 |
| ค.4 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน..... | 67 |
| ค.5 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน..... | 68 |
| ค.6 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 69 |
| ค.7 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน..... | 70 |
| ค.8 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน..... | 71 |
| ค.9 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 72 |
| ค.10 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 73 |
| ค.11 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 73 |
| ค.12 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน..... | 74 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของเคอร์คูมินอยดในขมิ้นชัน | 4 |
| 2.2 ปฏิกริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล เปลี่ยนโครงสร้างโคตินเป็นโคโตซาน | 6 |
| 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต..... | 10 |
| 2.4 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (ก) โครงสร้างทางเคมี และ (ข) โครงสร้างแบบไมเซลล์ | 11 |
| 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ด้วยวิธีการเตรียมรูปแบบที่ 1 | 20 |
| 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ด้วยวิธีการเตรียมรูปแบบที่ 2 | 22 |
| 4.1 ลักษณะการเชื่อมโยงแบบไอออนิกระหว่างโคโตซานและ STPP | 26 |
| 4.2 ลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ SDS แบบไมเซลล์ | 26 |
| 4.3 สเปกตร้า FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน..... | 27 |
| 4.4 สเปกตร้า FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 | 28 |
| 4.5 ลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและ SDS แบบแซนด์วิช | 32 |
| 4.6 สเปกตร้า FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง | 33 |
| 4.7 สเปกตร้า FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนเคอร์คูมินเริ่มต้น | 38 |
| 4.8 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย PBS (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน | 42 |
| 4.9 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย SGF (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน | 46 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.10 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย SIF (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน..... | 49 |
| 4.11 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสภาวะจำลองระบบในร่างกาย | 52 |
| 4.12 สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (ก) <i>S.aureus</i> และ (ข) <i>E.coli</i> ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน | 53 |
| ก.1 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 | 60 |
| ก.2 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง | 61 |
| ก.3 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนเคอร์คูมินเริ่มต้น | 62 |
| ข กราฟมาตรฐานของสารละลายเคอร์คูมินในสารละลายผสม ระหว่างกรดอะซิติก เอทานอล และน้ำกลั่น | 63 |

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|-----------------|--|
| CS | Chitosan |
| CUR | Curcumin |
| STPP | Sodium tripolyphosphate |
| SDS | Sodium dodecyl sulfate |
| DSC | Differential scanning calorimeter |
| FT-IR | Fourier transform infrared spectrophotometer |
| SEM | Scanning electron microscope |
| TEM | Transmission electron microscope |
| NMR | Nuclear magnetic resonance |
| PBS | Phosphate buffer saline |
| SGF | Simulated gastric fluid |
| SIF | Simulated intestinal fluid |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไขมันชั้นเป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในตระกูลขิง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว นิยมนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ใช้เป็นเครื่องเทศในการแต่งสี และแต่งกลิ่นอาหาร นอกจากนี้ไขมันชั้นยังมีวิตามินและแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี แคลเซียม และเกลือแร่ต่าง ๆ รวมไปถึงเส้นใยอาหาร เป็นต้น ไขมันชั้นมีสรรพคุณทางยารักษาอาการและโรคต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น รักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด รักษาโรคระเคาะ ช่วยขับน้ำนมสำหรับสตรีหลังคลอดบุตร เป็นต้น อีกทั้งไขมันชั้นยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ลดการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งสารก่อมะเร็งได้ จึงทำให้มีการศึกษาพัฒนาในการประยุกต์ใช้ไขมันชั้นอย่างมากมาย แต่ข้อจำกัดที่สำคัญของไขมันชั้น คือ ความสามารถในการละลายน้ำต่ำ และมีการสลายตัวที่รวดเร็ว ส่งผลให้ร่างกายดูดซึมสารออกฤทธิ์สำคัญในไขมันชั้นที่เรียกว่า เคอร์คูมินไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ทำให้ไขมันชั้นที่บริโภคเข้าไปมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ที่ลดลง [1]

จากข้อจำกัดของไขมันชั้นที่กล่าวข้างต้น ทำให้นักวิจัยกลุ่มต่าง ๆ มีการพัฒนาโดยนำเคอร์คูมินมาเตรียมเป็นวัสดุประกอบนาโน หรือเตรียมเป็นนาโนแคปซูลที่บรรจุเคอร์คูมินไว้ภายใน เช่น การเตรียมเคอร์คูมินบรรจุในนาโนแคปซูลด้วยเทคนิคอิมัลชัน การเตรียมเป็นนาโนเจล เป็นต้น ซึ่งการเตรียมด้วยวิธีดังกล่าวส่งผลให้เคอร์คูมินมีความคงตัวมากขึ้น และช่วยควบคุมการปลดปล่อยเคอร์คูมินทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมเคอร์คูมินเข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้น และมีความสามารถในการออกฤทธิ์ได้ดีขึ้น

โครงการพิเศษนี้จึงได้ศึกษากระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/เคอร์คูมิน (CS/CUR) โดยการบรรจุเคอร์คูมินไว้ในโครงร่างโมเลกุลของโคโคซาน เนื่องจากโคโคซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ มีความสามารถในการห่อหุ้มและกักเก็บสารหลายประเภท ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารที่ถูกกักเก็บ ดังนั้นจึงส่งผลให้เคอร์คูมินสลายตัวได้ยากขึ้น และสามารถควบคุมการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสภาวะที่ต้องการได้ อีกทั้งมีการใส่สารเชื่อมโยง ทำให้โครงสร้างของวัสดุประกอบมีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยการเชื่อมโยงด้วยสาร 2 ชนิด ได้แก่ STPP และ SDS ซึ่งสารเชื่อมโยงทั้งสองชนิดนั้นไม่เป็นพิษ โดยระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงและเสถียร ขณะที่ระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS นั้นมีส่วนที่ไม่มีขั้วที่เข้ากับเคอร์คูมินได้ดี และมีโครงสร้างแบบแคปซูล ดังนั้น 2 ระบบนี้คาดว่าจะมีพฤติกรรมการกักเก็บและปลดปล่อยเคอร์คูมินที่ต่างกัน จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโคซาน/ไขมันชั้นด้วยวิธีการดูดซับ [2] ในวิธีการดูดซับได้เตรียมอนุภาคโคโคซานโดยใช้สารเชื่อมโยงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงนำไปดูดัชนีชั้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีความยุ่งยากใช้เวลานาน และมีความสามารถในการบรรจุเคอร์คูมินค่อนข้างต่ำ โครงการพิเศษนี้จึงมุ่งพัฒนากระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโน CS/CUR ด้วยวิธีการเตรียมรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก ประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาปัจจัยผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลาย ไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง และผลของปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน และมีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้ดี นอกจากนี้จะศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2
2. ศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการเตรียมต่อโครงสร้างของวัสดุประกอบที่เตรียมได้ และความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในระบบจำลองสภาวะในร่างกาย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน โดยมีปัจจัยศึกษา ดังนี้
 - 1) กระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน ด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1
 - 2) ชนิดของสารเชื่อมโยง ได้แก่ สารละลาย STPP และสารละลาย SDS
 - 3) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 และใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4
 - 4) ปริมาณเคอร์คูมินที่ใช้ในการเตรียม โดยใช้ปริมาณเคอร์คูมินเป็น 1 เท่า 2 เท่า และ 3 เท่า

2. ศึกษาสภาวะและความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมิน

ทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากวัสดุประกอบที่เตรียมได้จากกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกันโดยควบคุมอุณหภูมิระบบทดสอบที่ 37°C โดยใช้ระบบจำลองของสารละลายในร่างกาย 3 ชนิด ได้แก่

- 1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
- 2) สารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3) สารละลายจำลองสภาวะในลำไส้เล็กส่วนต้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่
- 1) ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-VIS Spectroscopy)
 - 2) ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)
 - 3) ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ได้
2. ทราบสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ที่มีประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน และมีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

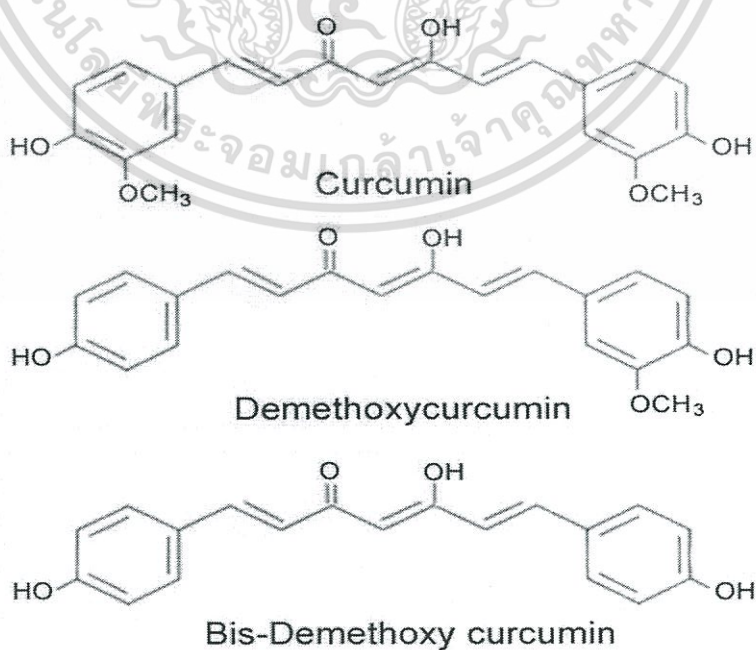
2.1 ขมิ้นชัน (Turmaric)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน

ขมิ้นชันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma Longa Linn* อยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* ชื่อสามัญคือ Turmaric เป็นพรรณไม้ล้มลุกที่มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีเหง้าอยู่ใต้ดิน [3] โดยลักษณะของเหง้าจะมีแขนงรูปทรงกระบอกแตกออกทางด้านข้าง 2 ด้าน ผิวนอกสีเหลืองถึงสีเหลืองน้ำตาล มีเนื้อในเหง้าสีเหลืองส้ม มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว รสขม ฝาด เผื่อน เผ็ดเล็กน้อย โดยขมิ้นชันเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย การปลูกและขยายพันธุ์ นิยมใช้เหง้าหรือหัวแบ่งปลูก

2.1.2 สารสำคัญในขมิ้นชัน

ในเหง้าขมิ้นชันมีสารสำคัญในการออกฤทธิ์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) และกลุ่มสารสีเหลืองส้มที่ เรียกว่า เคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) สารทั้ง 2 กลุ่มจะออกฤทธิ์เสริมกันในการรักษาอาการต่างๆ [4] โดยสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (Curcumin) ดีเมท็อกซีเคอร์คูมิน (Demethoxycurcumin) และบิสดีเมท็อกซีเคอร์คูมิน (Bisdemethoxy curcumin) มีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการวิจัยที่สอดคล้องกับโครงการวิจัยของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยไม่หวังผลกำไร และไม่มีการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ผลการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา [6-7]

- ฤทธิ์ต้านการเกิดแผลและสมานแผลในกระเพาะอาหาร และฤทธิ์อื่นๆต่อระบบทางเดินอาหาร
ไขมันชั้นมีสรรพคุณสมานแผลในกระเพาะอาหาร โดยเร่งการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อบริเวณที่เป็นแผล ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น โดยกระตุ้นการหลั่งมิวซิน (Mucin) มาเคลือบกระเพาะอาหารและยับยั้งการหลั่งน้ำย่อยต่าง ๆ นอกจากนี้ไขมันชั้นยังมีฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ ฤทธิ์ลดอาการแน่นจุกเสียด ฤทธิ์ขับน้ำดี และฤทธิ์รักษาอาการท้องเสีย

- ฤทธิ์ต้านการแพ้

สารเคอร์คูมินและสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตทมีฤทธิ์ต้านการแพ้ โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งสารฮิสตามีน (Histamine) ซึ่งเป็นสารสื่อกลางที่กระตุ้นให้เกิดการแพ้ นอกจากนี้สารสกัดไขมันด้วยเอทิลอะซิเตทและบิวทานอลยังมีกลไกการออกฤทธิ์เหมือนยาต้านฮิสตามีนอีกด้วย

- ฤทธิ์ลดการอักเสบ

สารเคอร์คูมินในไขมันชั้นเป็นสารสำคัญที่มีฤทธิ์ลดการอักเสบ ซึ่งพบว่าการรักษาอาการอักเสบแบบเฉียบพลัน เคอร์คูมินมีฤทธิ์ใกล้เคียงกับยาแผนปัจจุบันที่ช่วยบรรเทาอาการอักเสบที่มีชื่อว่า ฟีนิลบิวทาโซน (Phenylbutazone) แต่ในการรักษาอาการอักเสบแบบเรื้อรัง เคอร์คูมินจะมีฤทธิ์เพียงครึ่งเดียวเมื่อเทียบกับฟีนิลบิวทาโซน นอกจากนี้เคอร์คูมินแล้ว น้ำมันหอมระเหยในไขมันชั้นยังมีฤทธิ์ลดการอักเสบด้วย และในระยะแรกของการอักเสบจะมีฤทธิ์ต้านฮิสตามีน ซึ่งช่วยบรรเทาอาการปวดท้องเนื่องจากแผลในกระเพาะอาหารได้

- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย

สารเคอร์คูมินอยดในไขมันชั้น เป็นสารช่วยต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย (Antioxidant) ซึ่งปกติในร่างกายจะมีการทำลายของเซลล์ที่เสื่อม โดยเฉพาะเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดมลพิษจากการแตกตัวของเซลล์เหล่านี้ มลพิษที่เกิดขึ้นจะไปจับกับเซลล์ต่าง ๆ ทำให้เซลล์เสื่อมเร็ว ทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์และอาจก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งได้ ดังนั้นการทำงานของสารเคอร์คูมินอยดในไขมันชั้นจึงช่วยลดอาการเสื่อมของเซลล์ชะลอความแก่ และช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งได้ในระดับหนึ่ง

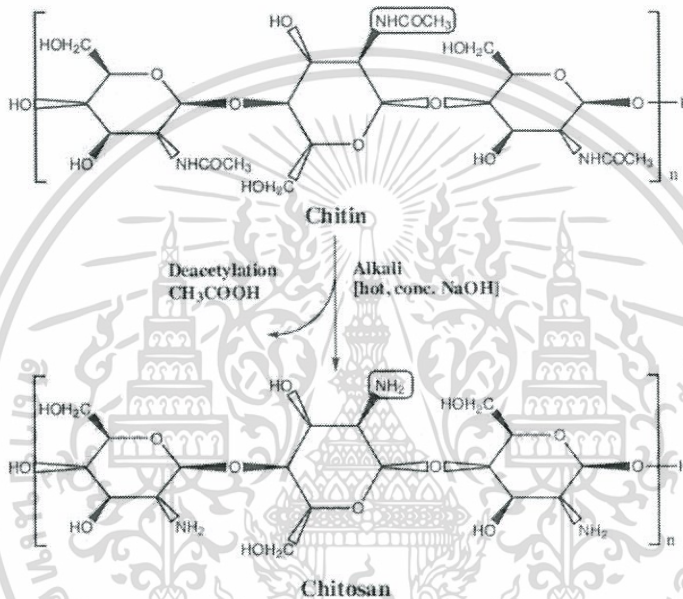
2.1.4 ประโยชน์ของไขมันชั้น

- ยาสำหรับใช้ภายนอก รักษาอาการแพ้ ผื่นคัน ผิวน้ำหนักเกิดอาการอักเสบหรือแผลงกัดต่อย
- ยาสำหรับใช้ภายใน รักษาอาการท้องอืดท้องเฟ้อ จุกเสียด แผลในกระเพาะและอาหารไม่ย่อย
- ใช้ผงไขมันชั้นเป็นส่วนผสมของสีย้อมหรือใช้ย้อมผ้า เป็นสีย้อมธรรมชาติ
- ใช้สำหรับประกอบอาหาร แต่งกลิ่น เป็นสีผสมอาหาร
- ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง เช่น ครีมบำรุงผิว ครีมพอกหน้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า D-glucosamine (2-amino-deoxy-D-glucose) ได้มาจากการย่อยสลายสารไคติน (Chitin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเปลือกนอกของสัตว์ที่มีเปลือกแข็ง เช่น แมลง กุ้ง หอย ปู เป็นต้น รวมถึงผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่าย [8] โดยนำไคตินมาทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ด้วยการต้มกับด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนเป็นไคโตซาน โดยมีการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่อะซิตามิโด (NH-CO-CH_3) เปลี่ยนไปเป็นหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิล เปลี่ยนโครงสร้างไคตินเป็นไคโตซาน [9]

2.2.1 สมบัติของไคโตซาน [10-11]

- การละลาย (Solubility)

ไคโตซานจะไม่ละลายน้ำ รวมถึงสารละลายที่เป็นกลางหรือด่าง แต่ละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์หรือกรดอนินทรีย์บางชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยกว่า 6.5 เป็นตัวทำละลาย สารละลายไคโตซานจะมีความข้น เหนียวใสคล้ายวุ้น ยืดหยุ่นได้เล็กน้อย มีพฤติกรรมแบบนอนนิวตันเนียน (Non-newtonian) ค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ของไคโตซานขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุพอลิเมอร์ ซึ่งควรมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น มวลโมเลกุล ความเข้มข้นความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลสูงจะมีสายโซ่ยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ความหนืดของสารละลายลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าความเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้ความหนืดที่ต่างกัน

- องศาการเกิดอะซีทิลเลชัน (Degree of deacetylation)

ค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากโครงสร้างภายในของไคโตซานจะประกอบด้วยมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine การเกิด Deacetylation มีค่าร้อยละหรือที่เรียกว่า %DD กล่าวคือถ้าไคโตซานมี %DD มากกว่า 60% ขึ้นไปจะมีสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า N-acetyl-D-glucosamine ซึ่งการกระจายตัวของไคโตซานในกรดอินทรีย์จะมีหมู่เอมีโนของ glucosamine เพิ่มขึ้น ทำให้มีความสามารถจับโปรตอนจากสารละลายได้เพิ่มขึ้น ทำให้การละลายดีขึ้น มีสมบัติของประจุบวกเพิ่มขึ้น

- ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulating ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculant and coagulating agent) ที่ดีเนื่องจากมีหมู่เอมีโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับประจุลบได้ เช่น สีย้อมโปรตีน พอลิเมอร์อื่นๆ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถจับกับโลหะหนักได้อีกด้วย โดยไนโตรเจนในหมู่เอมีโนแตกตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่เอมีโน นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่เอมีโนของไคโตซานสามารถจับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่เอซีทิลในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มี Degree of deacetylation สูงมีความสามารถในการจับไอออนของโลหะหนักสูง

- กลไกในการกักเก็บสาร

ไคโตซานมีความสามารถในการห่อหุ้มและกักเก็บสารบางชนิด เพื่อเพิ่มความคงตัวของสารที่ถูกกักเก็บและสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารในสภาวะที่ต้องการ ไคโตซานสามารถเก็บได้ทั้งสารที่ชอบน้ำและสารที่ไม่ชอบน้ำ สารจะถูกกักเก็บภายในเนื้อหรือถูกดูดซับบนพื้นผิวของไคโตซาน ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารของไคโตซานจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียม

- กลไกในการปลดปล่อยสาร

การปลดปล่อยสารของไคโตซานจะขึ้นอยู่กับขนาดและระดับการเชื่อมขวางของอนุภาคไคโตซาน โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถปลดปล่อยสารได้เร็วกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก และอนุภาคที่มีระดับการเชื่อมโยง (ปริมาณของไคโตซานที่ถูกเชื่อมโยง) มากสามารถปลดปล่อยสารได้ช้ากว่า เนื่องจากอนุภาคมีการบวมตัวได้น้อย

กลไกการปลดปล่อยสารจากอนุภาคของโคโตซาน ประกอบไปด้วย 3 กลไกหลัก [12] ได้แก่

1) การปลดปล่อยสารอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น (Initial burst release) เป็นกลไกแรกที่เกิดขึ้น เนื่องจากสารที่อยู่บริเวณผิวหรือใกล้อนุภาคเกิดการละลายออกสู่สิ่งแวดล้อมทันที

2) การแพร่ของสารผ่านเนื้ออนุภาคที่บวมตัว (Bulk erosion) เป็นกลไกที่เกิดจากการปลดปล่อยสารอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เกิดจากการแพร่ของสารผ่านเนื้ออนุภาคที่บวมตัวเนื่องจากโมเลกุลของน้ำแพร่เข้าสู่อนุภาค ทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลของโคโตซานจำนวนมาก ในกลไกนี้มีการปลดปล่อยสารออกมาช้าๆ ในช่วงแรก และเมื่ออนุภาคบวมตัวมากขึ้น การแพร่ของสารเพิ่มขึ้น

3) การปลดปล่อยสารเนื่องจากการกัดกร่อนของอนุภาค (Surface erosion) เป็นกลไกสุดท้ายที่เกิดขึ้น เนื่องจากโคโตซานเกิดการสลายทางชีวภาพ และอนุภาคเกิดการเสถียรภาพ

2.2.2 ประโยชน์ของโคโตซาน [13-14]

● ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

- ใช้ผลิตภัณฑ์ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่เปื้อนแผลเป็นง่าย และสะดวกต่อการลอกแผลผ้าก๊อช ทำให้มีการบาดเจ็บน้อยลงจากการลอกแผ่นปิดแผล
- ใช้เป็นไหมเย็บแผลที่ละลายตัวได้เอง และไม่ทำปฏิกิริยากับร่างกาย
- ใช้ในการเคลือบเม็ดยาให้มีความคงทน ไม่แตกหักง่าย
- ใช้ทำผิวเทียมรักษาแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก
- นำโคโตซานบริสุทธิ์มาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพในการลดความอ้วน เนื่องจากโคโตซานสามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลและไขมันได้
- ใช้เป็นสารตัวกลางที่ปลดปล่อยยาออกมาอย่างช้า ๆ

● ด้านอาหาร

- ใช้เป็นสารกักตุน สารเพิ่มความหนืด และสารช่วยรักษากลิ่น รส โดยเติมลงไปในการอาหาร
- ใช้ผลิตแผ่นฟิล์มสามารถยืดอายุอาหารได้ดี เนื่องจากสามารถถ่ายเทความชื้นจากอาหารสู่ภายนอกได้ดีกว่า
 - เป็นสารช่วยกรอง ในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์ และเครื่องดื่มต่างๆ
 - ใช้เพิ่มใยอาหารธรรมชาติในผลิตภัณฑ์จากแป้ง เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมปัง เป็นต้น

● ด้านความงาม

- ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น สบู่ ยาสระผม แป้งทาหน้า ครีมกันแดด ครีมบำรุงผิว เป็นต้น เนื่องจากโคโตซานสามารถอุ้มน้ำได้ดี สามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบาง ช่วยกักเก็บความชุ่มชื้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านการเกษตร

- ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์ เพื่อป้องกันโรค แมลง เชื้อรา และยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์
- ใช้ในการปรับสภาพดิน เพิ่มความพรุนในดิน และการดูดซับน้ำ
- ช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน สามารถลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค

พืชได้

- ด้านปศุสัตว์

- ใช้ผสมในอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร ลดอัตราการตายของสัตว์ เนื่องจากการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร และเสริมสร้างให้สัตว์มีสุขภาพที่แข็งแรง

- ด้านสิ่งแวดล้อม

- ใช้เป็นสารกรองหรือตัวดูดซับสารมลพิษ เนื่องจากโคโตซานสามารถดูดซับ และจับกับสารอินทรีย์จำพวกไขมัน สี สารแขวนลอย รวมถึงสารจำพวกโลหะหนักได้ดี

- ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

- ใช้ผสมในเส้นใย เพื่อผลิตเสื้อผ้าและสิ่งทอที่สามารถป้องกันและต้านทานเชื้อโรคได้

- ด้านบรรจุภัณฑ์

- ใช้ทำภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ทำฟิล์มถนอมอาหารที่สามารถรับประทานได้ โดยไม่เป็นอันตราย

- ด้านสิ่งพิมพ์

- ช่วยเพิ่มความเหนียว ความแข็งแรงและสามารถซับหมึกได้ดีให้แก่เยื่อกระดาษ ทำให้กระดาษมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3 สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)

การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล คือการเชื่อมโยงที่ทำให้โมเลกุลเหล่านั้นยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยพันธะเคมี สามารถจำแนกประเภทในการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลได้ดังนี้ [15]

- การเชื่อมโยงด้วยพันธะไอออนิก (Ionic crosslinking) เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่โมเลกุลที่มีประจุบวกและประจุลบที่อยู่ใกล้กัน
- การเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent crosslinking) เป็นการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่โมเลกุล ทำให้มีโครงสร้างที่เสถียรมาก
- การเชื่อมโยงด้วยพันธะทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน เป็นต้น

โดยในโครงการงานพิเศษนี้ได้เลือกใช้สารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ STPP และ SDS ดังนี้

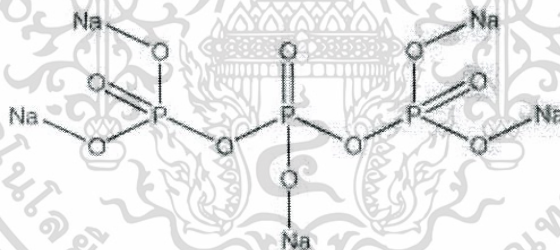
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต

โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต (STPP) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตกระดาษ เซรามิกส์ ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ เนื่องจากโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตมีสมบัติลดความกระด้างของน้ำช่วยให้การซักล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น กำจัดคราบสิ่งสกปรกได้ดี สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต [16]

| สมบัติ | โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต |
|----------------|--------------------------------------|
| ชื่อทางเคมี | STPP |
| สูตรทางเคมี | $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | 367.864 g/mol |
| ลักษณะ | ผงหรือเม็ด สีขาว ละลายน้ำได้ |
| ความหนาแน่น | 2.52 g/cm^3 |
| จุดหลอมเหลว | 622°C (895 K) |



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต [17]

STPP เมื่อละลายในน้ำ เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกคือโซเดียม (Na^+) และไอออนลบคือ หมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โดยไอออน PO_4^{3-} ไปจับกับไอออนบวกของโมเลกุลอื่น ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะไอออนิก

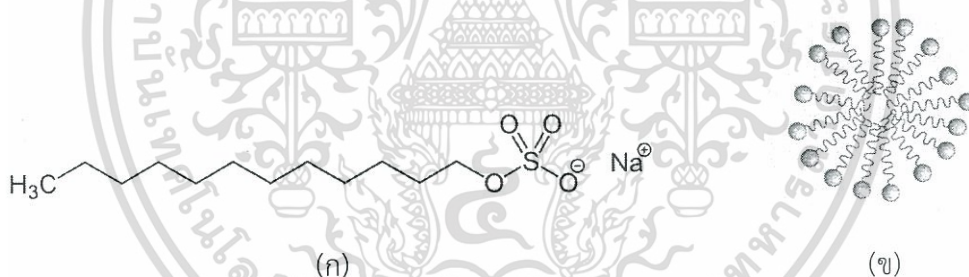
2.3.2 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ให้ประจุลบ โดยสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น เนื่องจากสามารถใช้กำจัดคราบสกปรกได้ดี สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ SDS ดังแสดงในเอกสารที่ 2.2 และโครงสร้างทางเคมีของ SDS ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ไม่นานมานี้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต [18]

| สมบัติ | โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต |
|----------------|---|
| ชื่อทางเคมี | SDS |
| สูตรทางเคมี | $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | 288.372 g/mol |
| ลักษณะ | ของแข็ง สีขาวหรือสีครีม |
| ความหนาแน่น | 1.01 g/cm^3 |
| จุดหลอมเหลว | 206°C (479 K) |

SDS เมื่อละลายในน้ำหรือสารละลายที่มีขี้ เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกของโซเดียม (Na^+) และไอออนลบของโดเดคซิลซัลเฟต ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4^-$) ซึ่งประกอบด้วยส่วนหัวที่มีขี้คือหมู่ซัลโฟเนต (SO_3^-) และส่วนหางที่ไม่มีขี้คือสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}$) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) โดยส่วนหัวที่มีขี้จับกับสารละลายที่มีขี้ และส่วนหางที่ไม่มีขี้หันเข้าหากัน แล้วก็เก็บสารที่ไม่มีขี้ไว้ภายใน เกิดการเชื่อมโยงแบบไมเซลล์ (Micelle) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข)



รูปที่ 2.4 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (ก) โครงสร้างทางเคมี [19] และ (ข) โครงสร้างแบบไมเซลล์ [20]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทความของ Tiyaboonchai, W. [21] ได้นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียมอนุภาคนาโนโคโตซานสำหรับใช้เป็นระบบนำส่งยา (Drug delivery) ซึ่งโคโตซานนั้นได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ดี (Biocompatibility) และสามารถสลายตัวทางชีวภาพได้ (Biodegradability) นอกจากนี้การนำโคโตซานไปใช้ในระบบนำส่งยานั้นสามารถเตรียมได้ด้วยเทคนิคที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เช่น การเกิดเจลแบบไอออนิก (Ionotropic gelation) วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion method) วิธีทำให้เกิดอิมัลชันและการแพร่ผ่าน (Emulsification solvent diffusion method) และสารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte complex, PEC) และโคโตซานยังมีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเปลี่ยนสมบัติทางเคมีได้ง่ายด้วยลิแกนด์ และมีสมบัติช่วยส่งเสริมการดูดซึมสาร (Absorption promoting effect) นอกจากนี้การที่อนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนนั้นช่วยให้ยาสามารถผ่านเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้เพิ่มชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) และอนุภาคนาโนโคโคโตซานยังเหมาะกับการให้ยาโดยวิธีการต่างๆ ได้หลายวิธี เช่น ทางปาก (Peroral) ทางจมูก (Nasal) ทางตา (Ocular) และรวมถึงการนำส่งวัคซีน (Vaccine delivery) ด้วย

งานวิจัยของ Ahmed, K. และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดกรดไขมันที่แตกต่างกันในการสังเคราะห์แคปซูลบรรจุเคอร์คูมิน ด้วยวิธีการนาโนอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in water) และอิมัลชันธรรมดา โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้ วัฏภาคน้ำมัน เติรมโดยนำผงเคอร์คูมิน ละลายในกรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายโมเลกุลสั้น (SCT) ปานกลาง (MCT) และยาว (LCT) ให้ความร้อนที่ 60°C ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (Sonication) เพื่อช่วยผสมเป็นเวลา 20 นาที ส่วนวัฏภาคน้ำเตรียมโดยละลายโปรตีนเบต้าแลกโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) ลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำสารตั้งต้นทั้งวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันผสมกัน โดยใช้เครื่องปั่นโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำของผสมไปวัดการกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution, PSD) และทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกจากอนุภาคภายใต้สภาวะจำลองระบบย่อยอาหารที่ pH 7 พบว่าปริมาณเคอร์คูมินที่สามารถบรรจุได้และอัตราการย่อยไขมันในช่วงเริ่มต้นมีลำดับเป็น $\text{SCT} > \text{MCT} > \text{LCT}$ โดยช่วงท้ายของการย่อยจะมีการผลิตกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) ซึ่งจะยับยั้งเอนไซม์ไลเปสในการย่อยไขมัน ทำให้ลำดับของอัตราการย่อยเปลี่ยนเป็น $\text{MCT} > \text{SCT} > \text{LCT}$ นอกจากนี้ลำดับอัตราการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกจากอนุภาคคือ $\text{MCT} > \text{LCT} > \text{SCT}$ เนื่องจากเมื่อมีปริมาณไขมันที่ไม่สามารถย่อยได้เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินลดลง และการปลดปล่อยไขมันขึ้นจากอนุภาคที่เตรียมด้วยวิธีนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจะสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอิมัลชันธรรมดา

งานวิจัยของ Sari, T. P. และคณะ [23] ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนที่บรรจุเคอร์คูมินในรูปแบบนาโนอิมัลชัน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและชีวปริมาณออกฤทธิ์ของเคอร์คูมินในร่างกาย โดยมีขั้นตอนการเตรียมนาโนอิมัลชันคือ นำเคอร์คูมิน 10-40 g ผสมลงในอิมัลชัน 100 ml ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่น น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายโซ่ขนาดกลาง (Medium chain triglycerides, MCT) 0.5-2% และใช้อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ทวิน 80 (Tween 80) 2-10% w/w และเวย์โปรตีนคอนเซนเทรต 70 (Whey protein concentrate-70, WPC-70) 0-1% w/w แล้วนำของผสมไปปั่นกวน และอัลตราโซนิกตามลำดับ จากการตรวจวิเคราะห์อนุภาคที่สังเคราะห์ได้ พบว่าสภาวะที่เตรียมนาโนอิมัลชันได้ดีที่สุด โดยเตรียมจากเคอร์คูมิน 40 g ในอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำกลั่น น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ชนิดห่วงโซ่ปานกลาง 2% ทวิน 80 2% w/w และเวย์โปรตีนคอนเซนเทรต 70 0.5% w/w นำไปอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที จะได้อนุภาคที่มีขนาด 141.6 ± 15.4 nm ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเก็บกักเคอร์คูมินสูงถึง $90.56 \pm 0.47\%$ และมีค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) เท่ากับ -6.9 ± 0.2 mV เมื่อทดสอบการปลดปล่อย

เอกลักษณะของอนุภาคนาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยวิธีนาโนอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งอนุภาคนาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยวิธีนาโนอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำนี้ มีลักษณะที่แตกต่างจากอนุภาคนาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันธรรมดา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคอร์คูมินออกจากอนุภาคในสภาวะจำลองระบบย่อยอาหาร พบว่าเพปซิน (Pepsin) ไม่สามารถทำให้เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกจากอนุภาคนาโนอิมัลชันได้ อย่างไรก็ตามเคอร์คูมินจะถูกปลดปล่อยออกจากอนุภาคดังกล่าวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแพนครีเอติน (Pancreatin) นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) ของเคอร์คูมินจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อถูกบรรจุในอนุภาคนาโนอิมัลชัน และในการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความร้อน ค่า pH และความแรงของไอออนต่อสมบัติของอนุภาคนาโน พบว่า อนุภาคที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 63°C เป็นเวลา 30 นาที (Pasteurization) หรืออยู่ในสภาวะที่มีค่า pH แสดงความเป็นกรดอ่อน หรือมีความแรงของไอออน 0.1-1 M จะมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับอนุภาคที่เตรียมได้ในสภาวะปกติ

งานวิจัยของ Li, J. และคณะ [24] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโคโคซานที่บรรจุเคอร์คูมิน โดยเตรียมเป็นนาโนแคปซูลอิมัลชันคือ นำเคอร์คูมินละลายในกรดไขมันอิ่มตัวสายโซ่โมเลกุลขนาดปานกลาง (MCT oil) นำไปให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกเอาส่วนที่ไม่ละลายออก นำของผสมที่เตรียมได้ไปผสมกับสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MCT oil : เลซิธิน (Lecithin) : ทวิน 80 (Tween 80) : น้ำกลั่น เท่ากับ 10:6:4:80 ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นผสมพลังสูง (High speed blenders) ด้วยความเร็วรอบ 16,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที จะได้นาโนแคปซูลอิมัลชัน จากนั้นนำนาโนแคปซูลไปเคลือบด้วยโคโคซาน โดยใช้โคโคซานที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (3 kDa) กลาง (30 kDa) และสูง (190-310 kDa) ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น ทำการผสมนาโนแคปซูลอิมัลชันปริมาตร 10 ml ในสารละลายโคโคซาน 10 ml ทำการปั่นกวนแล้วนำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกมาจากอนุภาคโดยจำลองสภาวะระบบย่อยอาหารที่ pH ต่าง ๆ พบว่าการเคลือบแคปซูลด้วยโคโคซานจะไปยับยั้งการสลายตัวของเคอร์คูมินระหว่างการให้ความร้อนและฉายรังสียูวี ซึ่งโคโคซานที่มีมวลโมเลกุลระดับกลางและสูง จะทำให้นาโนแคปซูลอิมัลชันมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะไปรบกวนปฏิกิริยาการสลายไขมัน (Lipolysis) ของนาโนแคปซูลอิมัลชันระหว่างการย่อยอาหาร ทำให้การปลดปล่อยเคอร์คูมินลดลงเล็กน้อย

งานวิจัยของ Zhang, Z. และคณะ [25] ได้ศึกษาอิทธิพลของระบบไฮโดรเจลที่แตกต่างกันต่อการย่อยไขมันและการปลดปล่อยเคอร์คูมิน ได้แก่ ระบบไขมันอิสระแบบละอองที่บรรจุเคอร์คูมิน (Curcumin-loaded free lipid droplets) ระบบอัลจีเนตที่บรรจุเคอร์คูมิน (Curcumin-loaded alginate beads) และระบบคาราจีแนนที่บรรจุเคอร์คูมิน (Curcumin-loaded carrageenan beads) ซึ่งวิธีการเตรียมไฮโดรเจลมีสามขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเริ่มจากการเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยผสมสารก่ออิมัลชัน ทวิน 80 เข้มข้น 1% w/w กับสารละลายบัฟเฟอร์ นำไปปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บค้ำคืนที่อุณหภูมิ 4°C ต่อมาขั้นตอนที่สองทำการเตรียมอิมัลชันที่บรรจุเคอร์คูมินหรือหยดไขมันที่บรรจุเคอร์คูมิน โดยผสมเคอร์คูมิน 9 mg กับอิมัลชันที่เตรียมได้ในขั้นตอน

เอกสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ ซึ่งสามารถใช้ในการรักษาโรคต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การนำเอาสารเหล่านี้มาใช้ในทางการแพทย์นั้น จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้

แรก ปริมาตร 9 ml แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป ในขั้นตอนสุดท้ายเตรียมอนุภาคคาราจีแนนที่บรรจุเคอร์คูมิน และอนุภาคอัลจีเนตที่บรรจุเคอร์คูมิน ซึ่งอนุภาคคาราจีแนนที่บรรจุเคอร์คูมินเตรียมโดยนำ สารละลายพอลิแซคคาไรด์ผสมกับอิมัลชันที่บรรจุเคอร์คูมิน ในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก แล้วปั่น กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อมานำสารที่ได้หยดลงบนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 5% โดย น้ำหนัก พร้อมปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง ส่วนอนุภาคอัลจีเนตที่บรรจุเคอร์คูมิน เตรียมโดยนำสารละลาย โพลีแซคคาไรด์ผสมกับอิมัลชันที่บรรจุเคอร์คูมิน ด้วยอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก แล้วปั่นกวนเป็น เวลา 2 ชั่วโมง ต่อมานำสารที่ได้หยดลงบนสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก พร้อมปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนำอนุภาคไฮโดรเจลคาราจีแนนที่บรรจุเคอร์คูมินและอนุภาค ไฮโดรเจลอัลจีเนตที่บรรจุเคอร์คูมินที่ได้มาบ่มด้วยไอออนบวก (K^+ หรือ Ca^{2+}) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิห้อง แล้วกรอง ล้างด้วยน้ำกลั่นและสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เพื่อกำจัดไอออนที่มากเกินไป พอ ต่อมานำอนุภาคไฮโดรเจลที่เตรียมได้ไปผ่านระบบทางเดินอาหารจำลอง แล้วไปวิเคราะห์ด้วย เทคนิคการกระเจิงแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าหยดไขมันอิสระแบบละอองมีอัตราการ ย่อยสลายไขมันและการปลดปล่อยเคอร์คูมินสูงที่สุด เนื่องจากหยดไขมันอิสระแบบละอองทำการ สร้างไมเซลล์ที่สามารถละลายไขมันชั้นได้มากกว่าอนุภาคไฮโดรเจลคาราจีแนนและอนุภาค ไฮโดรเจลอัลจีเนต ในลำดับถัดมาเป็นอนุภาคไฮโดรเจลคาราจีแนน เนื่องจากมีรูปร่างที่ไม่ปกติ เส้น ผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีค่าประมาณ 2-3 μm มีโครงสร้างที่ค่อนข้างเปราะบาง สลายได้ง่ายใน ระบบทางเดินอาหาร ทำให้ไขมันและเคอร์คูมินถูกปล่อยออกมาได้โดยง่ายกว่าอนุภาคไฮโดรเจล- อัลจีเนต และอันดับสุดท้ายเป็นอนุภาคไฮโดรเจลอัลจีเนต เนื่องจากมีรูปร่างทรงกลม เส้นผ่าน ศูนย์กลางของอนุภาคมีค่าประมาณ 3-4 μm มีโครงสร้างที่แข็งแรงสมบูรณ์ในขณะที่ทดสอบในระบบ ทางเดินอาหาร ทำให้กักเก็บไขมันและเคอร์คูมินในโครงสร้างได้ดี จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างของอนุภาค ไฮโดรเจลที่แตกต่างกัน สามารถควบคุมการปลดปล่อยของไขมันและเคอร์คูมินในระบบทางเดิน อาหารได้

งานวิจัยของ Shah, B. R. และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนโคโตซาน ไตรโพลีฟอสเฟต (CS-STPP) สำหรับใช้เป็นระบบนำส่งเคอร์คูมิน (Curcumin delivery) โดยเริ่ม จากการเตรียมอนุภาคนาโนด้วยเทคนิคการเกิดเจลแบบไอออนิก (Ionic gelation) ซึ่งมีสารตั้งต้นคือ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ละลายในน้ำบริสุทธิ์สูง และโคโตซานที่ละลายในสารละลายกรดอะซิติก โดยหยดสารละลายไตรโพลีฟอสเฟตลงในสารละลายโคโตซานที่มีการปั่นกวน และมีการเตรียมที่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อไตรโพลีฟอสเฟต (CS:STPP) ที่ต่างกัน ได้แก่ 2.0:1.0, 2.5:1.0, 3.0:1.0, 4.0:1.0, 5.0:1.0, 5.0:2.0, 5.0:3.0, 5.0:4.0 และ 5.0:5.0 จากนั้นทำการบรรจุเคอร์คูมิน ด้วยเทคนิคพิกเกอร์อิมัลชัน (Pickering emulsion) เป็นลำดับต่อมา โดยได้ศึกษาผลของ พารามิเตอร์ต่างๆ ต่อความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) ได้แก่ ความเข้มข้นของ สารละลายโคโตซาน เวลา ค่า pH และเกลือ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ พบว่า

เอกสารจะละลายในน้ำที่ pH 7.0 สำหรับใช้ในการศึกษาการกักเก็บไขมัน โดยผู้จัดทำรายงานฉบับนี้เป็นที่นินทาว่า การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนโดยมวลของโคโตซานต่อไตรโพลีฟอสเฟตมีผลต่อขนาดของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ โดยพบว่าจะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุดมีค่าประมาณ 213.8 nm เมื่อสังเคราะห์โดยใช้สภาวะ CS:STPP ในอัตราส่วนเท่ากับ 5.0:5.0 เมื่อนำอิมัลชันไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าในการเตรียมอนุภาคนาโนที่ใช้สารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.2% w/w จะได้อิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานจนเท่ากับ 0.5% w/w จึงได้อิมัลชันที่คงตัวได้ดี นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความคงตัวของอิมัลชันที่ใช้สารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.5% w/w ในสภาวะอื่น ๆ พบว่าอิมัลชันมีความคงตัวสูงในสภาวะที่มีค่า pH เท่ากับ 3 6 และ 7 เมื่อมีการเติมเกลือ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ที่มีความเข้มข้น 0-200 mM ซึ่งการที่อิมัลชันมีความคงตัวสูง จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการนำส่งเคอร์คูมินเข้าสู่ร่างกาย

งานวิจัยของ Nguyen, M. H. และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บกักและชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ของเคอร์คูมินในร่างกาย โดยมีสารตั้งต้นคือ เคอร์คูมินที่ละลายในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโคโตซานที่ละลายในสารละลายกรดอะซิติก การสังเคราะห์เริ่มจากนำสารละลายเคอร์คูมินผสมลงในสารละลายโคโตซาน นำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 25 วินาที แล้วแยกโดยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนตามลำดับ จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบว่ามีเคอร์คูมินอยู่ในอนุภาคนาโน และผลจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์แบบผง (Powder X-ray diffractometer, PXRD) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้มีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อลักษณะของอนุภาคนาโน ได้แก่ ค่า pH และอัตราส่วนประจุของโคโตซานต่อเคอร์คูมิน พบว่าการสังเคราะห์ในสภาวะที่มี pH ต่ำ แสดงความเป็นกรด และมีอัตราส่วนประจุของโคโตซานต่อเคอร์คูมินต่ำกว่า 1 จะได้อนุภาคนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เสถียร ไม่มีความเป็นพิษ มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 200-300 nm มีประสิทธิภาพในการเก็บกักเคอร์คูมินสูงกว่า 90% และได้อัตราส่วนผลผลิตประมาณ 50% โดยพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนนี้คือ การสังเคราะห์ที่ pH เท่ากับ 4.4 และอัตราส่วนประจุของโคโตซานต่อเคอร์คูมินเท่ากับ 0.8 และพบว่าอนุภาคนาโนที่เตรียมจากสภาวะนี้มีภาวะอิมัลชันที่ยาวและความเสถียรทางเคมีที่สูงขึ้น ส่งผลให้ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของเคอร์คูมินในร่างกายสูงขึ้นด้วย

งานวิจัยของ Yang, D. H. และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน/เคอร์คูมิน (β -CD-ss-DDT-ic-RhoB/CUR) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาโรคมะเร็งตับ โดยการสังเคราะห์เริ่มจากการเตรียมอนุภาคนาโนจาก 1-โดเดเคนไธออล (1-Dodecanethiol, DDT) กับเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (β -CD) ที่เชื่อมกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แล้วจึงใส่โรดามีน บี (Rhodamine B, RhoB) ซึ่ง RhoB จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่าง 1-โดเดเคนไธออลกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน จากนั้นจึงบรรจุเคอร์คูมินลงไปใน

เอกภพอันกว้างใหญ่ที่มีชีวิตและจิตใจที่เต็มไปด้วยความหวังและความฝัน... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคนาโนที่เตรียมได้ด้วยวิธีไดอะไลซิส (Dialysis method) จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FT-IR เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (NMR) เครื่องฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fluorescence spectrophotometer) และเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าสามารถสังเคราะห์อนุภาค β -CD-ss-DDT-ic-RhoB ได้ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระเจิงของแสงแบบพลวัต (Dynamic light scattering, DLS) และ TEM พบว่าอนุภาคนาโนที่บรรจุเคอร์คูมินแล้วจะมีลักษณะเป็นทรงกลมที่บิดเบี้ยว และมีขนาดอนุภาคประมาณ 203 nm และในการทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน พบว่าเคอร์คูมินจะถูกปลดปล่อยออกจากอนุภาคนาโนได้โดยการสลายตัวของ β -CD-ss-DDT จากปฏิกิริยารีดักชัน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคนาโนที่บรรจุเคอร์คูมินนี้มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเซลล์มะเร็งตับได้ดีกว่าเคอร์คูมินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอนุภาคนาโนนี้มีส่วนช่วยให้เคอร์คูมินมีความสามารถในการละลายสูงขึ้น

งานวิจัยของ Wang, H. และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการบรรจุเคอร์คูมินในเส้นใยจากข้าวโพด (Zein) ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยเริ่มจากการเตรียมพอลิเมอร์ธรรมชาติจากข้าวโพดให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยให้สารละลายมีความเข้มข้น 25% w/w และตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำปราศจากไอออนมีอัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 4:1 ทำการปั่นจนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่ขม้นชั้นลงไปให้อัตราส่วนโดยมวลเป็น 20, 30 และ 40% จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาผลิตเป็นเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 15 kV และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดสารละลายถึงแผ่นรองรับเท่ากับ 12 cm พบว่าเส้นใยที่ได้มีประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินสูงถึงเกือบ 100% และยังคงความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ของขม้นชั้นไว้ได้ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยด้วย SEM วัดค่าความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscosimeter) และเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณขม้นชั้น จะส่งผลให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีลักษณะกลมมากขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่มีขม้นชั้นซึ่งมีลักษณะแบนคล้ายริบบิ้น นอกจากนี้เมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่นๆ ได้แก่ FT-IR พบว่าเส้นใยและเคอร์คูมินเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน การวิเคราะห์ด้วย XRD แสดงว่าเคอร์คูมินบางส่วนที่ถูกบรรจุในเส้นใยยังมีความเป็นผลึกอยู่ และผลการวิเคราะห์จาก DSC แสดงว่าการเพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน จะส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เพิ่มขึ้น ในการทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน พบว่ากลไกการปลดปล่อยที่สำคัญเกิดจากการแพร่ในแบบฟิกเกียน (Fickian diffusion) และสามารถอธิบายด้วย Hixson-Crowell model ว่าพฤติกรรมปลดปล่อยของเคอร์คูมินนั้นเกิดจากการแพร่มากกว่าการกร่อนของเส้นใย นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยที่บรรจุเคอร์คูมินนี้สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *S. aureus* และ *E. coli* อย่างไรก็ตามมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* สูงกว่า *E. coli* และจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้จัดทำบรรจุภัณฑ์อาหารได้ รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Ariyarathna, I. R. และ Karunaratne, D. N. [30] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคระดับไมโครของโปรตีนจากถั่วลูกไก่ (Chickpea) ที่มีการบรรจุเคอร์คูมินไว้ภายใน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ของเคอร์คูมินในร่างกาย โดยการสังเคราะห์เริ่มจากทำให้โปรตีนตกตะกอนด้วยวิธีการตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric precipitation) จากนั้นนำโปรตีนที่ได้ 1 g ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 50 ml ผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน 0.1 g ในเอทานอล 5 ml ปั่นกวนให้เข้ากัน แล้วทำให้ตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริกซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 4.5 โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปแยกตะกอนโดยการหมุนเหวี่ยง และทำให้แห้งโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็งตามลำดับ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วย SEM และเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) พบว่าขนาดของอนุภาคที่ได้อยู่ในช่วง 1-20 μm และเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบว่าเคอร์คูมินถูกบรรจุอยู่ในอนุภาคโปรตีนแล้ว นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกจากอนุภาค โดยการแช่ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีอุณหภูมิ 37°C และที่ค่า pH ต่างกัน พบว่าอนุภาคมีการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้ช้าที่ pH เท่ากับ 4 และสามารถปลดปล่อยเคอร์คูมินได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH เท่ากับ 2 และอนุภาคโปรตีนนี้สามารถลดการถูกทำลายของเคอร์คูมินด้วยแสงได้ถึง 60% และลดการถูกทำลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ได้ 40% และที่อุณหภูมิ 25 กับ 37°C ได้ 25% ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและใช้ในทางเภสัชกรรมได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เคอร์คูมิน (CUR) บริษัท อภัยภูเบศร จำกัด เกรดอาหาร
2. ไคโตซาน (CS) บริษัท ไบโอ 21 จำกัด เกรดอาหาร
3. โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) บริษัท รวมเคมี จำกัด เกรดการค้า
4. โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) Ajax Finechem Co.,Ltd เกรดการค้า
5. กรดอะซิติก (CH_3COOH) LAB-SCAN Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
6. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) Carlo Erba Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
7. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซาไลน์ (Phosphate buffer saline) Calbiochem Co.,Ltd เกรด

วิเคราะห์

8. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) Carlo Erba Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
9. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) Carlo Erba Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) Carlo Erba Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
11. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) Carlo Erba Co.,Ltd เกรดวิเคราะห์
12. น้ำกลั่น
13. น้ำปราศจากไอออน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo Co.,Ltd รุ่น ML204/01
2. เครื่องปั่นกวน IKA Co.,Ltd รุ่น RO 5
3. เครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูง Hettich Co.,Ltd รุ่น Universal 320
4. เครื่องทำแห้งเยือกแข็ง LaboGene ApS Co.,Ltd รุ่น Coolsafe 110-4
5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) Mettler Toledo Co.,Ltd รุ่น FiveEasy Plus FEP20
6. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) PG Instruments Co.,Ltd รุ่น T60U
7. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ Memmert GmbH Co.,Ltd รุ่น WNB 22
8. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) Netzch (Thailand) Co.,Ltd รุ่น 204 F1 Phonix
9. ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) Perkin Elmer Co.,Ltd

เอกสาร Spectum GX สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

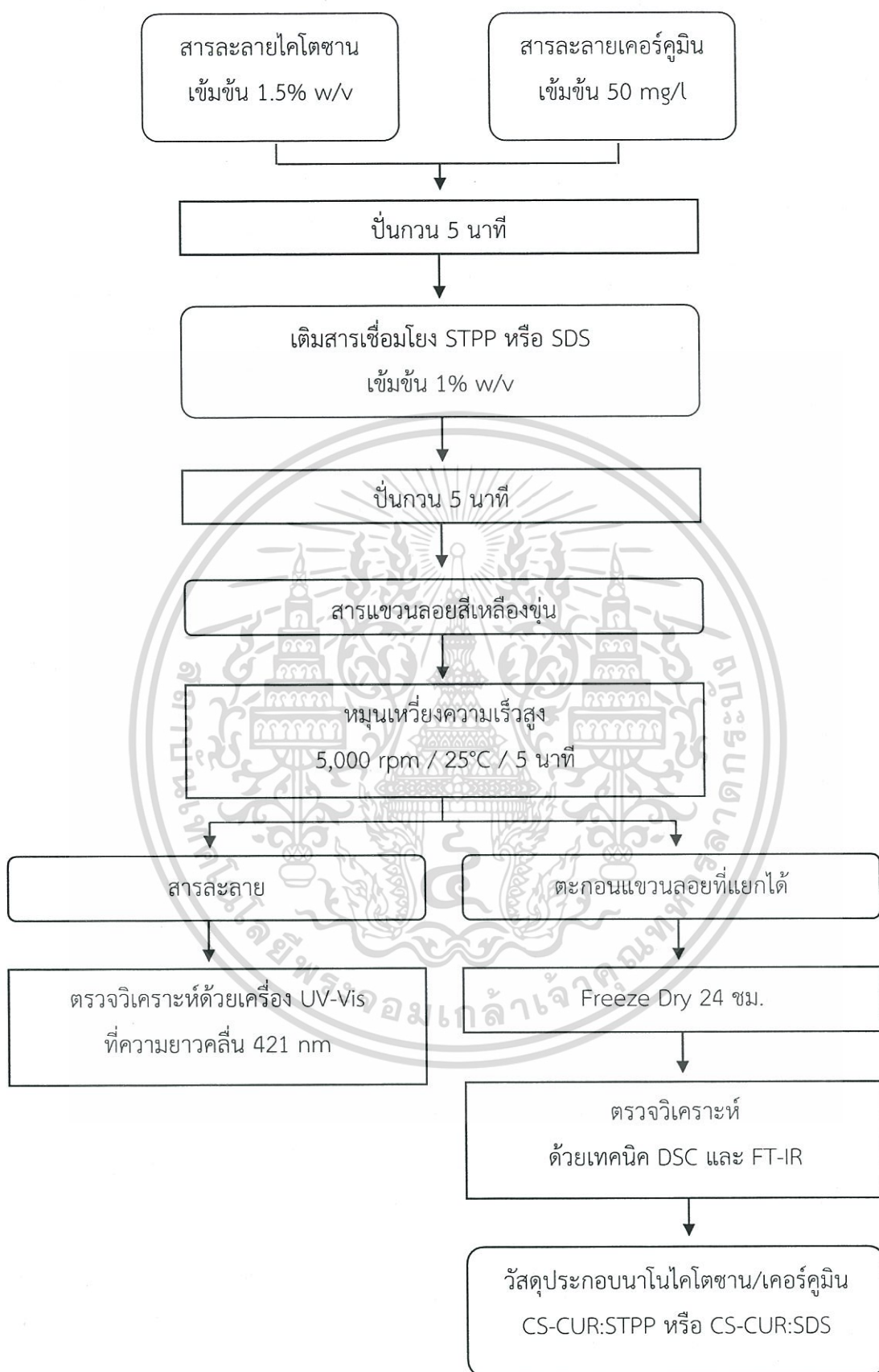
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน

ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้ดังนี้
 รูปแบบที่ 1 เตรียมโดยนำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน แล้วตามด้วยสาร
 เชื่อมโยง STPP หรือ SDS ตามลำดับ
 รูปแบบที่ 2 เตรียมโดยนำสารเชื่อมโยง STPP หรือ SDS ผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน แล้วตามด้วย
 สารละลายไคโตซาน ตามลำดับ

● การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน รูปแบบที่ 1

1. เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5% w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v
2. เตรียมสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้น 50 mg/l ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอลที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 1 : 0.05
3. เตรียมสารเชื่อมโยง ได้แก่ STPP เข้มข้น 1% w/v และ SDS เข้มข้น 1% w/v
4. นำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
5. นำสารเชื่อมโยงที่เตรียมไว้เติมลงในสารละลายผสมในข้อ 4 แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
 ได้สารแขวนลอยสีเหลืองขุ่น
6. นำสารแขวนลอยในข้อ 5 ไปหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง โดยใช้ความเร็วรอบ 5,000 rpm ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 5 นาที เกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นของเหลวกับสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีม
7. แยกสารละลายเคอร์คูมินที่เหลือนอกจากอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน/เคอร์คูมิน แล้วนำสารละลายที่แยกได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 nm ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis)
8. นำสารผลิตภัณฑ์ไปเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้วัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน CS-CUR:STPP และ CS-CUR:SDS แล้วนำวัสดุประกอบที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1

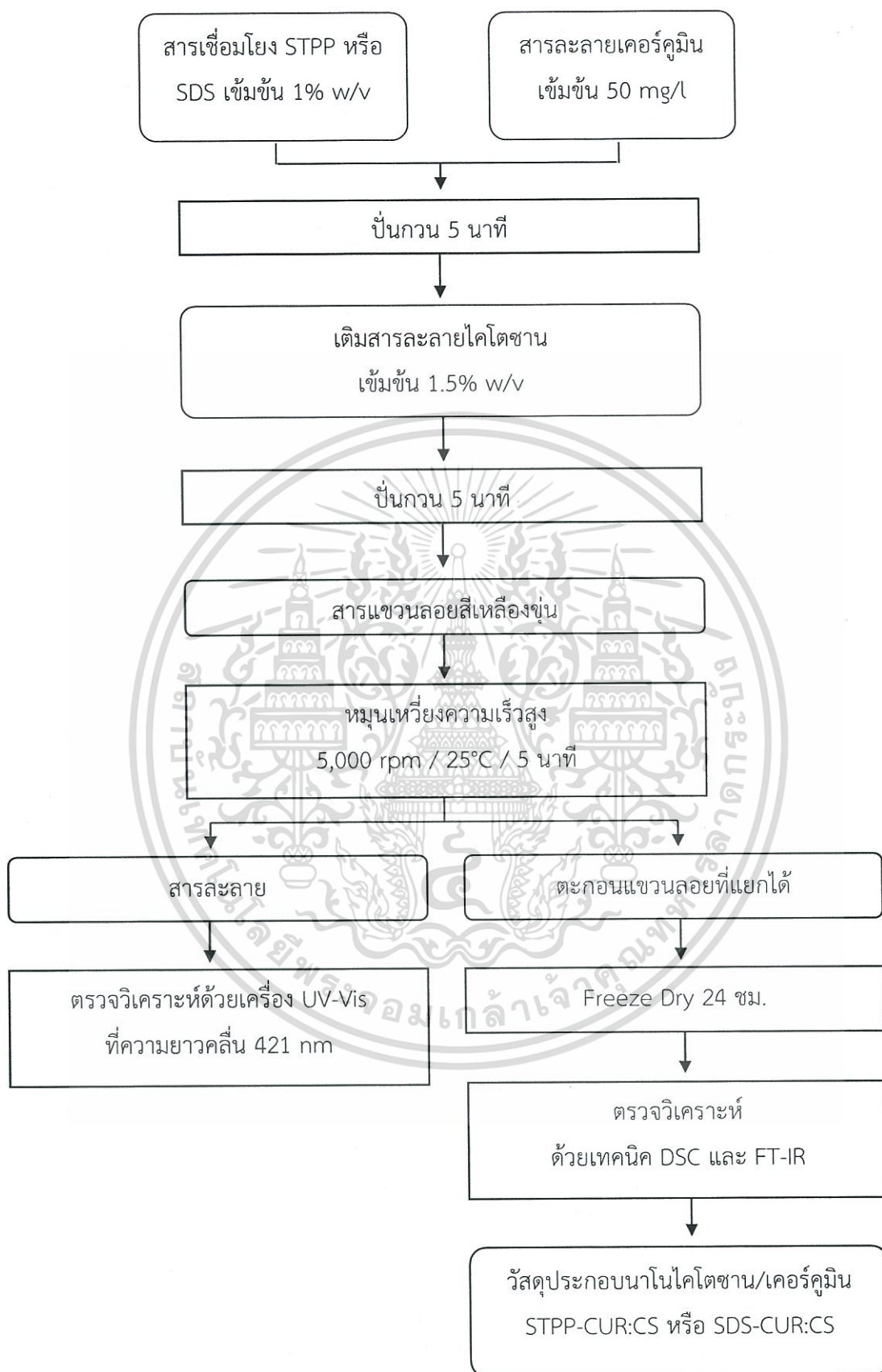
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน รูปแบบที่ 2

1. เตรียมสารเชื่อมโยง ได้แก่ STPP เข้มข้น 1% w/v และ SDS เข้มข้น 1% w/v
2. เตรียมสารละลายเคอร์คูมินเข้มข้น 50 mg/l ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอลที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 1 : 0.05
3. เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5% w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v
4. นำสารเชื่อมโยง STPP หรือ SDS ผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
5. นำสารละลายไคโตซานที่เตรียมไว้เติมลงในสารละลายผสมในข้อ 4 แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที ได้สารแขวนลอยสีเหลืองขุ่น
6. นำสารแขวนลอยในข้อ 5 ไปหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง โดยใช้ความเร็วรอบ 5,000 rpm ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 5 นาที เกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นของเหลวกับสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีม
7. แยกสารละลายเคอร์คูมินที่เหลือนอกจากอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน/เคอร์คูมิน แล้วนำสารละลายที่แยกได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 nm ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis)
8. นำสารผลิตภัณฑ์ไปเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้วัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน STPP-CUR:CS และ SDS-CUR:CS แล้วนำวัสดุประกอบที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และ FT-IR

การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง ซึ่งได้แก่ตัวอย่าง CS-CUR:STPP 1:0.75, CS-CUR:STPP 1:1.5, CS-CUR:STPP 1:2, CS-CUR:SDS 1:2, CS-CUR:SDS 1:3 และ CS-CUR:SDS 1:4

การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมิน ได้แก่ ตัวอย่าง CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า), CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า), CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) และ CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน และสภาวะในการเตรียม

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาตรของ สารละลายไคโตซาน (ml) | ปริมาตรของ สารละลายเคอร์คูมิน (ml) | ปริมาตรของสาร เชื่อมโยง (ml) | |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|-------|
| | | | STPP | SDS |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 28.5 | 3 | 28.5 | - |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 28.5 | 3 | - | 28.5 |
| STPP-CUR:CS 1:1 | 28.5 | 3 | 28.5 | - |
| SDS-CUR:CS 1:1 | 28.5 | 3 | - | 28.5 |
| CS-CUR:STPP 1:0.75 | 28.5 | 3 | 21.4 | - |
| CS-CUR:STPP 1:1.5 | 28.5 | 3 | 42.8 | - |
| CS-CUR:STPP 1:2 | 28.5 | 3 | 57.0 | - |
| CS-CUR:SDS 1:2 | 28.5 | 3 | - | 57.0 |
| CS-CUR:SDS 1:3 | 28.5 | 3 | - | 85.5 |
| CS-CUR:SDS 1:4 | 28.5 | 3 | - | 114.0 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 28.5 | 6 | 28.5 | - |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 28.5 | 9 | 28.5 | - |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 28.5 | 6 | - | 28.5 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 28.5 | 9 | - | 28.5 |

3.3.2 ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน

เมื่อนำสารละลายเคอร์คูมินที่แยกออกจากวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 nm แล้วคำนวณปริมาณเคอร์คูมินในวัสดุประกอบจาก สมการ $y = 0.0234x + 0.0028$ (y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายเคอร์คูมิน) ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติก เอทานอลและน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

3.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน มาตรวจวิเคราะห์การเชื่อมโยง โดยมีสภาวะการวิเคราะห์ดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์ คือ 25 – 400°C อัตราการให้ความร้อน 10°C/min และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 ml/min

3.4.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน มาตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีใช้หลักการแพร่ (Disc diffusion) โดยนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นแผ่น จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนอินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น 400 – 4000 cm^{-1}

3.5 การทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน

1. เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1 เม็ดในน้ำกลั่น 1 L
2. เตรียมสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (Simulated Gastric Fluid, SGF) โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ 1.25 g ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 M ปริมาตร 250 ml ปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 1.2
3. เตรียมสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ (Simulated Intestinal Fluid, SIF) โดยใช้โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.70 g ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.22 g แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 250 ml ปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 6.8
4. นำสารละลายที่ใช้ในการทดสอบใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 10 ml แล้วใส่วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน 0.05 g ลงไปในหลอดทดลองแล้วปิดฝาให้สนิท
5. แช่หลอดทดลองในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C
6. ดูดสารละลายออกจากวัสดุประกอบ แล้วนำสารละลายที่แยกออกมาไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

3.6 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC®25923 (*S.aureus*) และ *Escherichia coli* ATCC®25922 (*E.coli*) ด้วยวิธี Well diffusion โดยใช้ agar เป็นตัวกลาง โดยพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

4.1.1 ผลของลำดับการผสมเคอร์คูมินในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เตรียมโดยการนำสารละลายโคโตซานผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน แล้วตามด้วยสารเชื่อมโยง STPP หรือ SDS ได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ CS-CUR:STPP 1:1 และ CS-CUR:SDS 1:1 และรูปแบบที่ 2 เตรียมโดยนำสารเชื่อมโยง STPP หรือ SDS ผสมกับสารละลายเคอร์คูมิน แล้วจึงผสมกับสารละลายโคโตซาน ได้สารผลิตภัณฑ์ STPP-CUR:CS 1:1 และ SDS-CUR:CS 1:1 โดยสันนิษฐานว่าลำดับในการเตรียมจะส่งผลต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยง และการบรรจุเคอร์คูมินภายในโครงสร้าง

เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

- สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

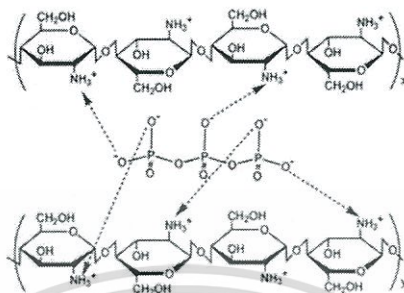
ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

| ชื่อตัวอย่าง | วิธีการเตรียม | T_m ($^{\circ}\text{C}$) * | ΔH_m (J/g) |
|-----------------|---------------|--------------------------------|--------------------|
| CS-CUR:STPP 1:1 | รูปแบบที่ 1 | 178.6 | 363.0 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | | 189.7 | 147.0 |
| STPP-CUR:CS 1:1 | รูปแบบที่ 2 | 176.8 | 387.4 |
| SDS-CUR:CS 1:1 | | 174.3 | 131.5 |

* ค่าที่ตำแหน่ง Onset

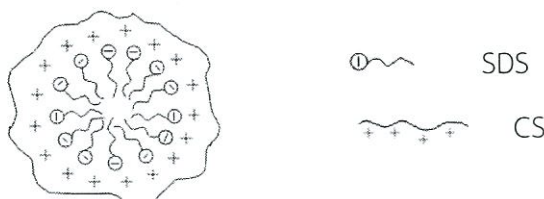
เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 พบว่าในกรณีที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง ค่า T_m และ ΔH_m ของ CS ในวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ลำดับการผสมสารละลายเคอร์คูมินทั้งสองรูปแบบไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน อย่างไรก็ตาม การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประกอบเหล่านี้จำเป็นต้องดำเนินการต่อไป

ผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ STPP ซึ่งหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานเกิดอันตรกิริยาเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ของ STPP เกิดเป็นอนุภาคไคโตซานที่มีโครงสร้างร่างแห ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในขณะที่เกิดการเชื่อมโยงก็บรรจุกอร์คูมินเข้าไปแทรกในโครงสร้างร่างแหด้วย



รูปที่ 4.1 ลักษณะการเชื่อมโยงแบบไอออนิกระหว่างไคโตซานและ STPP [31]

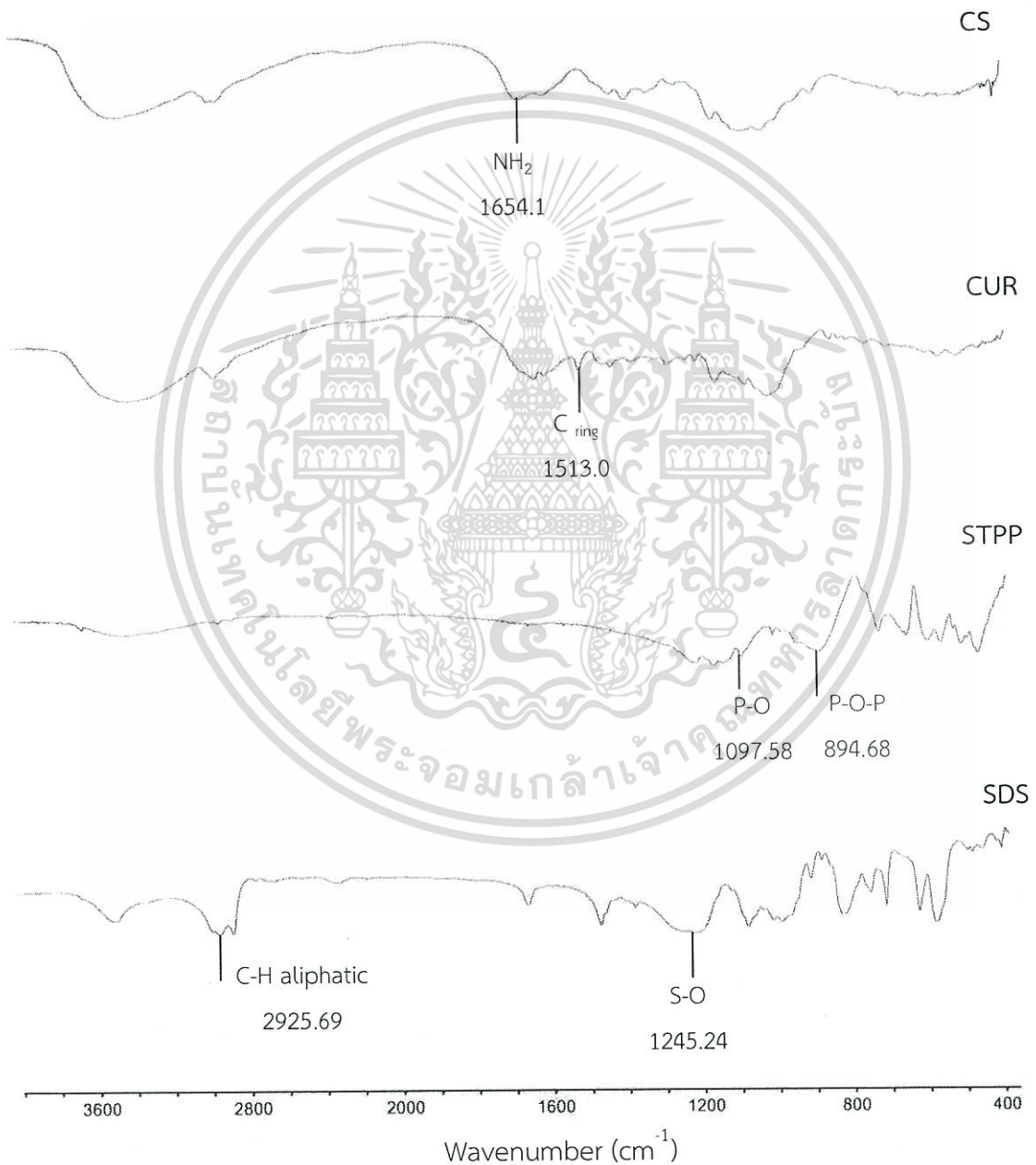
ในกรณีของวัสดุประกอบที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าค่า ΔH_m ของวัสดุประกอบในระบบ SDS มีแนวโน้มแตกต่างจากระบบที่ใช้ STPP โดยวัสดุประกอบในระบบที่ใช้ SDS มีค่า ΔH_m ที่ต่ำกว่าวัสดุประกอบในระบบที่ใช้ STPP ผลดังกล่าวเนื่องมาจากการเชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลไคโตซานด้วย SDS ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย 2 ส่วนที่มีสภาพขั้วต่างกัน เคอร์คูมินซึ่งเป็นสารประกอบที่มีขั้วต่ำใกล้เคียงกับสภาพขั้วในส่วนหางของ SDS เมื่อ SDS ถูกผสมกับสารละลายผสมระหว่างไคโตซานกับเคอร์คูมิน สันนิษฐานว่าโครงสร้างส่วนหัวที่มีขั้วของ SDS คือหมู่ SO_3^- เกิดอันตรกิริยากับหมู่ NH_3^+ ของโมเลกุลไคโตซาน แล้วเกิดเป็นโครงสร้างลักษณะไมเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในขณะที่ส่วนหางที่ไม่มีขั้วของ SDS เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลเคอร์คูมิน โดยล้อมรอบโมเลกุลของเคอร์คูมินให้เข้ามาภายในไมเซลล์ ทำให้เคอร์คูมินแทรกอยู่ในโครงสร้างของไคโตซานได้อย่างไรก็ตามอันตรกิริยาในลักษณะไมเซลล์ของ SDS กับไคโตซานนั้นไม่แข็งแรงเท่ากับอันตรกิริยาระหว่างประจุลบของ STPP และประจุบวกของไคโตซาน จึงส่งผลให้ค่า ΔH_m ของวัสดุประกอบจากระบบที่ใช้ STPP มีค่าสูงกว่าระบบที่ใช้ SDS มาก แต่ค่า T_m ของวัสดุประกอบในระบบ SDS มีค่าสูงกว่าวัสดุประกอบในระบบที่ใช้ STPP เนื่องจากเมื่อใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง เคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ภายในวัสดุประกอบมีความสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับส่วนหางของโมเลกุล SDS เป็นผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูงเพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุประกอบ ส่วนลำดับการผสมเคอร์คูมินใน 2 รูปแบบไม่แสดงผลกระทบต่อสมบัติทางความร้อนอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับในระบบ STPP



รูปที่ 4.2 ลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ SDS แบบไมเซลล์ [2]

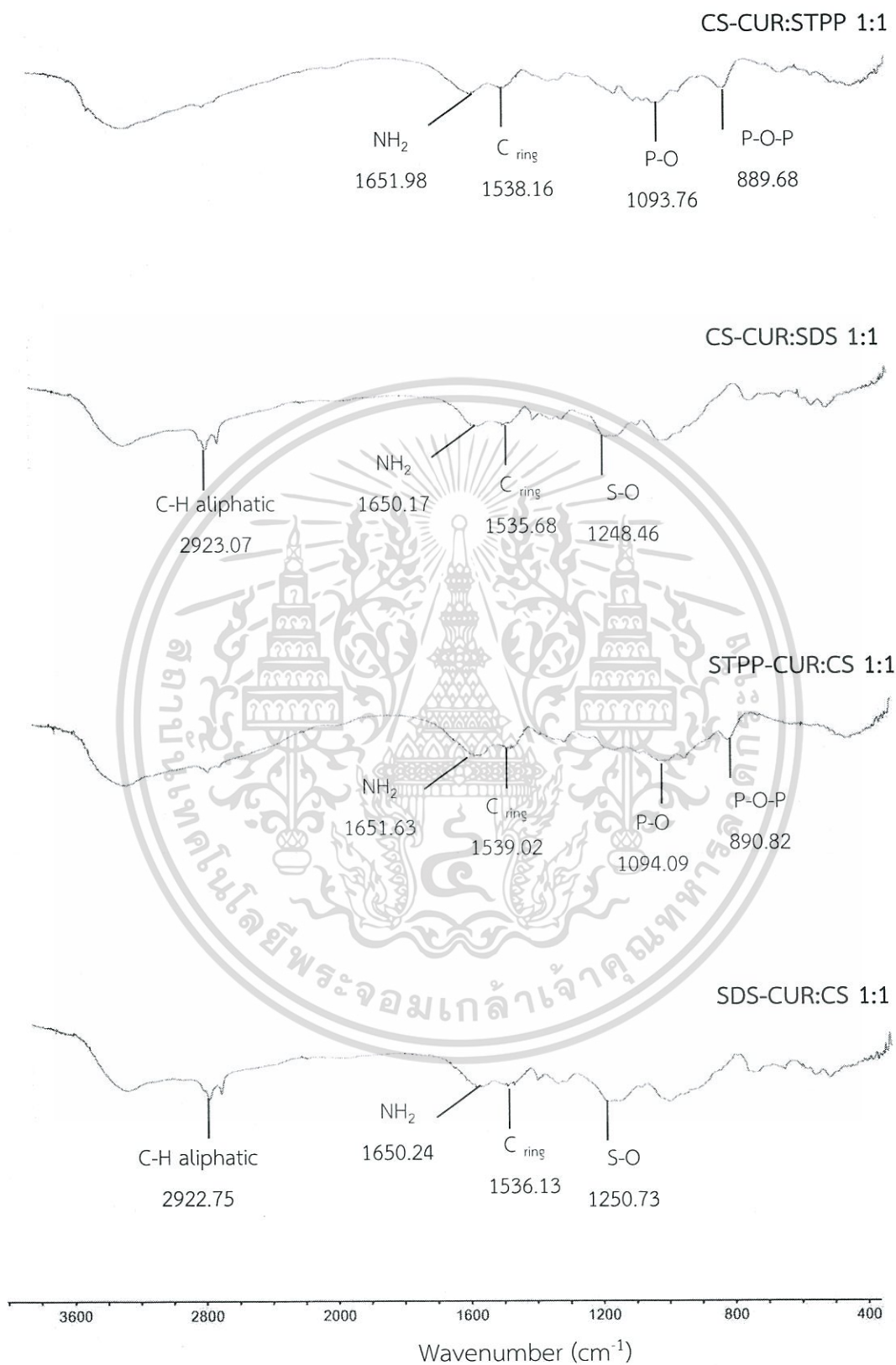
- โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สเปกตรา FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบ

ที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

| ชื่อตัวอย่าง | เลขคลื่น (cm^{-1}) | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------|---------|--------|---------------|---------|
| | -NH ₂ | C _{ring} | P-O | P-O-P | C-H aliphatic | S-O |
| CS | 1654.17 | - | - | - | - | - |
| CUR | - | 1513.04 | - | - | - | - |
| STPP | - | - | 1097.58 | 894.68 | - | - |
| SDS | - | - | - | - | 2925.69 | 1245.24 |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 1651.98 | 1538.16 | 1093.76 | 889.68 | - | - |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 1650.17 | 1535.68 | - | - | 2923.07 | 1248.46 |
| STPP-CUR:CS 1:1 | 1651.63 | 1539.02 | 1094.09 | 890.82 | - | - |
| SDS-CUR:CS 1:1 | 1650.24 | 1536.13 | - | - | 2922.75 | 1250.73 |

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสเปกตรัม FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ปรากฏพีกที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นแต่ละตัว โดยสเปกตรัมของโคโตซานปรากฏพีกของหมู่เอมีนที่เลขคลื่น 1654 cm^{-1} ชี้นั้นสังเกตเห็นพีกของหมู่อะโรมาติก (C_{ring}) ที่เลขคลื่น 1513 cm^{-1} STPP ปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชันฟอสเฟต P-O ที่เลขคลื่น 1097 cm^{-1} และ SDS มีพีกของหมู่ฟังก์ชันซัลเฟต S-O ที่เลขคลื่น 1245 cm^{-1}

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการผสมรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่เอมีน ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันสำคัญของโคโตซาน โดยหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้เกิดที่ตำแหน่งต่ำกว่าหมู่เอมีนในโคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O ของ STPP ร่วมด้วยและเนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของโคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของ STPP ส่งผลให้พีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น STPP เล็กน้อย ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดพันธะระหว่างหมู่ NH₃⁺ และ PO₄³⁻ ในการเชื่อมโยงแบบไอออนิก

ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้เกิดที่เลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในโคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

ที่เตรียมได้ ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชัน S-O และเนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ซัลโฟเนตของ SDS ส่งผลให้ฟีกของ S-O มีการเลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่สูงกว่าที่ปรากฏในสเปกตร้าของสารตั้งต้น SDS นอกจากนี้พบว่าไม่สามารถสังเกตการเกิดฟีกสัญญาณของเคอร์คูมินจากสเปกตร้าของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 ได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของเคอร์คูมินอยู่ที่ 1513 cm^{-1} ตำแหน่งใกล้เคียงกับหมู่ฟังก์ชันของไคโตซานซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักที่ใช้ในการเตรียม หรือโมเลกุลของเคอร์คูมินแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างแหงของไคโตซาน

- ปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุในวัสดุประกอบนาโนไคโตซานที่เตรียมได้

การศึกษาประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/g) คือปริมาณโดยน้ำหนักของเคอร์คูมินต่อปริมาณโดยน้ำหนักของวัสดุประกอบ และประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน (%) พิจารณาจากปริมาณการลดลงของเคอร์คูมินในสารละลายภายหลังการบรรจุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

$$\text{ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น} - \text{ปริมาณเคอร์คูมินที่ไม่ถูกบรรจุ}}{\text{ปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.3 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/g) | ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน (%) |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 4.25 | 56.7 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 3.43 | 45.7 |
| STPP-CUR:CS 1:1 | 4.30 | 57.3 |
| SDS-CUR:CS 1:1 | 3.30 | 44.0 |

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยลำดับการผสมเคอร์คูมินทั้งในรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP มีค่าสูงกว่าระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS สันนิษฐานว่าโครงสร้างของไคโตซานที่เชื่อมโยงกับ STPP ด้วยพันธะไฮออนิก มีความแข็งแรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าโครงสร้างไมเซลล์ของโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย SDS จึงส่งผลให้วัสดุประกอบที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยงมีความสามารถในการกักเก็บเคอร์คูมินมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการผสมในรูปแบบที่ 1 เทียบกับรูปแบบที่ 2 ในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินทั้งในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP และระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่าประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวิธีการเตรียมในรูปแบบที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการเตรียมในรูปแบบที่ 2 เนื่องจากการเตรียมทั้งสองรูปแบบได้วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีโครงสร้าง และมีกลไกในการกักเก็บเคอร์คูมินที่คล้ายคลึงกัน จึงส่งผลให้วัสดุประกอบนาโนที่ได้มีประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินใกล้เคียงกัน

สรุปได้ว่า ลำดับการผสมสารละลายเคอร์คูมินในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ทั้งสองรูปแบบไม่ส่งผลกระทบต่อโอกาสเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงและการบรรจุเคอร์คูมิน ดังนั้นจึงได้เลือกการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 มาใช้เพื่อศึกษาปัจจัยอื่นต่อไป

4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

ในการศึกษานี้ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินถูกเตรียมด้วยวิธีการผสมรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซาน : สารเชื่อมโยง เป็น 1:0.75 1:1.5 และ 1:2 ในระบบที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง และ 1:2 1:3 และ 1:4 ในระบบที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง

- สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

ตารางที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

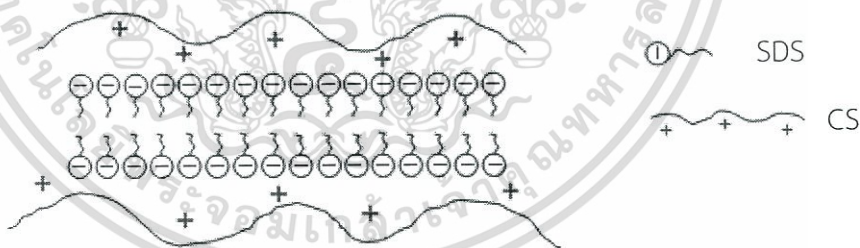
| ชื่อตัวอย่าง | ค่า T_m ($^{\circ}\text{C}$) * | ΔH_m (J/g) |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| CS-CUR:STPP 1:0.75 | 178.3 | 358.9 |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 178.6 | 363.0 |
| CS-CUR:STPP 1:1.5 | 176.9 | 433.8 |
| CS-CUR:STPP 1:2 | 177.3 | 521.0 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 189.7 | 147.0 |
| CS-CUR:SDS 1:2 | 219.6 | 158.6 |
| CS-CUR:SDS 1:3 | 210.9 | 176.3 |
| CS-CUR:SDS 1:4 | 201.6 | 278.2 |

* ค่าที่ตำแหน่ง Onset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง ในกรณีที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ STPP จากอัตราส่วน 1:0.75 เป็น 1:1 1:1.5 และ 1:2 ค่า ΔH_m เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณ STPP ที่ใช้ในการเตรียมเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาเชื่อมโยงระหว่างหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานกับหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ของ STPP มีปริมาณมากขึ้น โครงสร้างร่างแหจึงมีความหนาแน่นมาก ส่งผลให้ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น

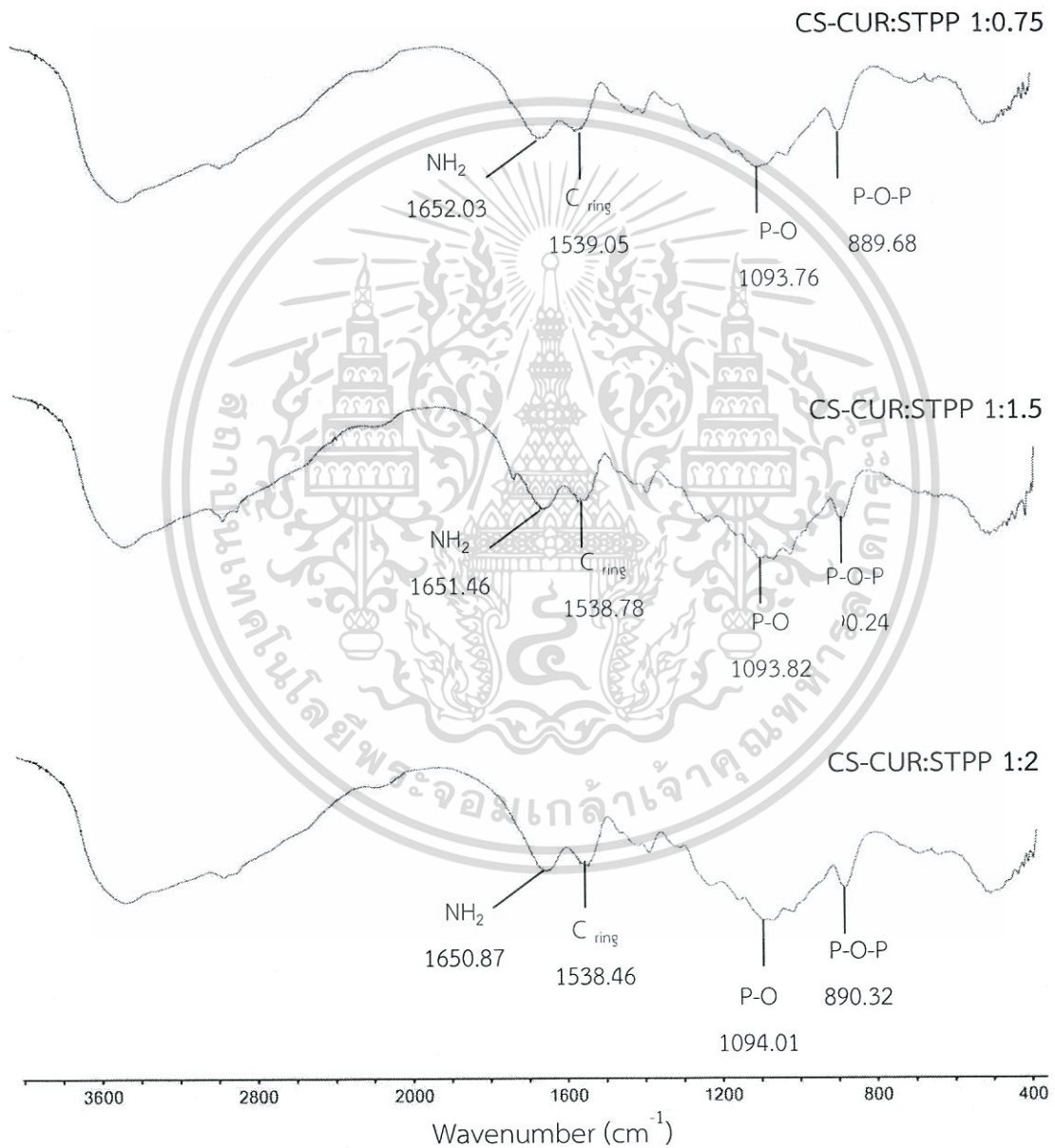
ในกรณีของวัสดุประกอบที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ SDS จากอัตราส่วน 1:1 เป็น 1:2 พบว่าค่า T_m เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณ SDS มากจนไม่เสถียรในการรวมตัวกันในลักษณะไมเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างสองชั้น (Double layer) ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างแบบแซนด์วิช (Sandwich structure) โดยที่โมเลกุลของ SDS เรียงตัวในแนวระนาบแล้วหันส่วนหางที่ไม่มีขั้วเข้าหากัน เป็นผลให้เกิดโครงสร้างลักษณะแบบสองชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำให้ค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ SDS จากอัตราส่วน 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 พบว่าค่า T_m มีค่าใกล้เคียงกัน สันนิษฐานว่าโครงสร้างแบบแซนด์วิชไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและปริมาณไคโตซานที่มาก่อตัวล้อมรอบ SDS มีจำกัด เป็นผลให้ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.5 ลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ SDS แบบแซนด์วิช [2]

- โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

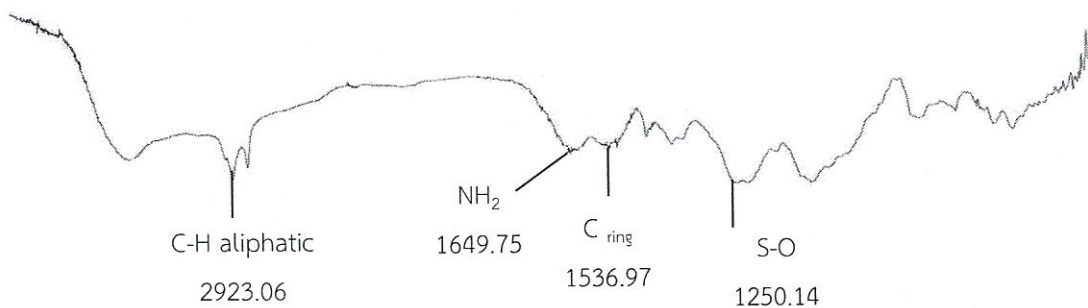
การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



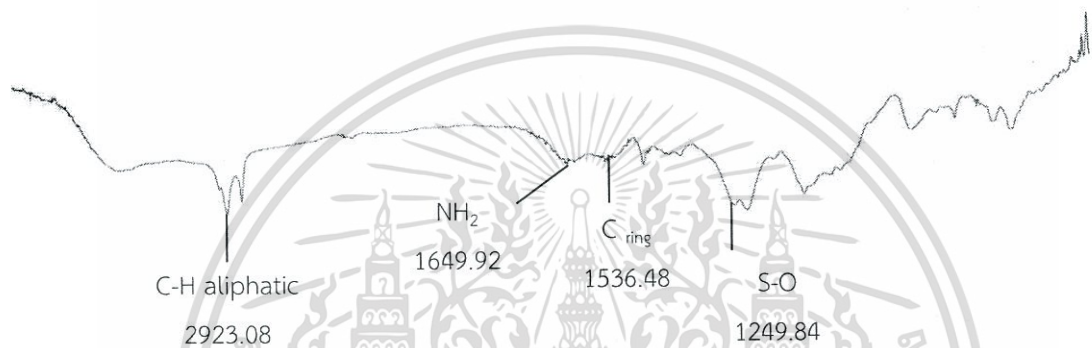
รูปที่ 4.6 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

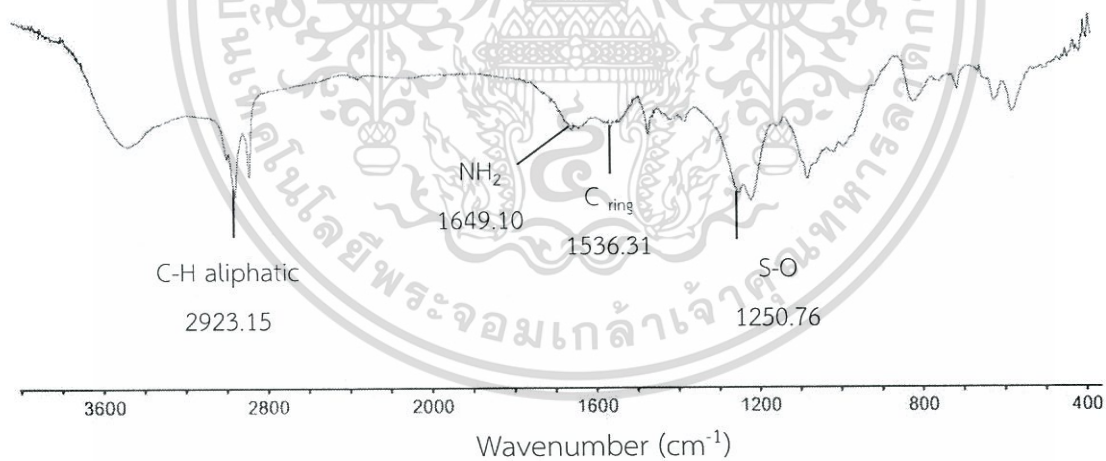
CS-CUR:SDS 1:2



CS-CUR:SDS 1:3



CS-CUR:SDS 1:4



รูปที่ 4.6 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

| ชื่อตัวอย่าง | เลขคลื่น (cm^{-1}) | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|---------|--------|---------------|---------|
| | -NH ₂ | C _{ring} | P-O | P-O-P | C-H aliphatic | S-O |
| CS | 1654.17 | - | - | - | - | - |
| CUR | - | 1513.04 | - | - | - | - |
| STPP | - | - | 1097.58 | 894.68 | - | - |
| SDS | - | - | - | - | 2925.69 | 1245.24 |
| CS-CUR:STPP 1:0.75 | 1652.03 | 1539.05 | 1093.76 | 889.68 | - | - |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 1651.98 | 1538.16 | 1093.76 | 889.68 | - | - |
| CS-CUR:STPP 1:1.5 | 1651.46 | 1538.78 | 1093.82 | 890.24 | - | - |
| CS-CUR:STPP 1:2 | 1650.87 | 1538.46 | 1094.01 | 890.32 | - | - |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 1650.17 | 1535.68 | - | - | 2923.07 | 1248.46 |
| CS-CUR:SDS 1:2 | 1649.75 | 1536.97 | - | - | 2923.06 | 1250.14 |
| CS-CUR:SDS 1:3 | 1649.92 | 1536.48 | - | - | 2923.08 | 1249.84 |
| CS-CUR:SDS 1:4 | 1649.10 | 1536.31 | - | - | 2923.15 | 1250.76 |

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5 พบว่าสเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง พบว่าสเปกตรัมของสารผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยพีกของหมู่ฟังก์ชันสำคัญในลักษณะที่คล้ายคลึงกับสารผลิตภัณฑ์ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1

เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสัญญาณที่เลขคลื่น 1654 cm^{-1} ของหมู่เอมีน โดยหมู่เอมีนของไคโตซานในวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้เกิดที่เลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในไคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O ของ STPP ร่วมด้วย โดยพีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น STPP เล็กน้อย ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดพันธะระหว่างหมู่ NH_3^+ และ PO_4^{3-} ในการเชื่อมโยงแบบไอออนิกและพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงจากอัตราส่วน 1:0.75 เป็น 1:1.5 และ 1:2

ตามลำดับ ความเข้มพีกของ P-O เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ

ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่เอมีน ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันสำคัญของโคโตซาน โดยหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้เกิดพิกที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่าหมู่เอมีนในโคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ ยังปรากฏพิกของหมู่ฟังก์ชัน S-O และเนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่เอมีนของโคโตซานและหมู่ซัลโฟเนตของ SDS ส่งผลให้พิกของ S-O มีการเลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่สูงกว่าที่ปรากฏในสเปกตรัมของสารตั้งต้น SDS และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงจากอัตราส่วน 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ ความเข้มของพิก S-O มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าไม่เกิดพิกสัญญาณของเคอร์คูมินจากสเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 ได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของเคอร์คูมินอยู่ใกล้เคียงกับหมู่ฟังก์ชันของโคโตซาน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักที่ใช้ในการเตรียม

- ปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุในวัสดุประกอบนาโนโคโตซานที่เตรียมได้

การศึกษาประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/g) | ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน (%) |
|--------------------|---|-------------------------------------|
| CS-CUR:STPP 1:0.75 | 3.78 | 50.3 |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 4.25 | 56.7 |
| CS-CUR:STPP 1:1.5 | 4.73 | 63.0 |
| CS-CUR:STPP 1:2 | 4.93 | 65.7 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 3.43 | 45.7 |
| CS-CUR:SDS 1:2 | 6.00 | 80.0 |
| CS-CUR:SDS 1:3 | 6.05 | 80.7 |
| CS-CUR:SDS 1:4 | 6.10 | 81.3 |

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารเชื่อมโยง ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ในกรณีของ STPP เห็นว่าจากอัตราส่วน 1:0.75 เป็น 1:1 และ 1:1.5 ส่งผลให้ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกบรรจุในอนุภาคโคโตซานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่ม STPP ช่วยเพิ่มปริมาณโคโตซานที่ถูกเชื่อมโยงและก่อตัวเป็นอนุภาคของแข็งซึ่งมีเคอร์คูมินบรรจุอยู่ภายใน แต่เมื่อเพิ่ม STPP จาก 1:1.5 เป็น 1:2 อัตราการเพิ่มของปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุได้เริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าการก่อตัวของอนุภาคโคโตซานบรรจุเคอร์คูมินเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่

ในกรณีของ SDS เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ SDS จากอัตราส่วน 1:1 เป็น 1:2 พบว่าปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกบรรจุในอนุภาคโคโตซานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สันนิษฐานว่า SDS เกิดการรวมตัวกันในลักษณะโครงสร้างแบบแซนดวิช ทำให้มีพื้นที่ในการบรรจุเคอร์คูมินได้เพิ่มมากขึ้น และเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ SDS จากอัตราส่วน 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 พบว่าปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกบรรจุในอนุภาคโคโตซานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผลดังกล่าวสันนิษฐานได้ว่าปริมาณ SDS ที่ใช้มีค่ามากเกินไป ในขณะที่ปริมาณโคโตซานที่มาก่อตัวล้อมรอบโมเลกุลของ SDS เกิดเป็นอนุภาคของแข็งมีจำกัด เป็นผลให้ทุกตัวอย่างมีปริมาณอนุภาคโคโตซานของแข็งที่บรรจุเคอร์คูมินในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

4.1.3 ผลของปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น

ในการศึกษานี้ วัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินจะถูกเตรียมด้วยวิธีการผสมรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเป็น 2 เท่า และ 3 เท่า ทั้งในระบบที่ใช้ STPP และ SDS เป็นสารเชื่อมโยง

- สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบที่เตรียมได้

ตารางที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น

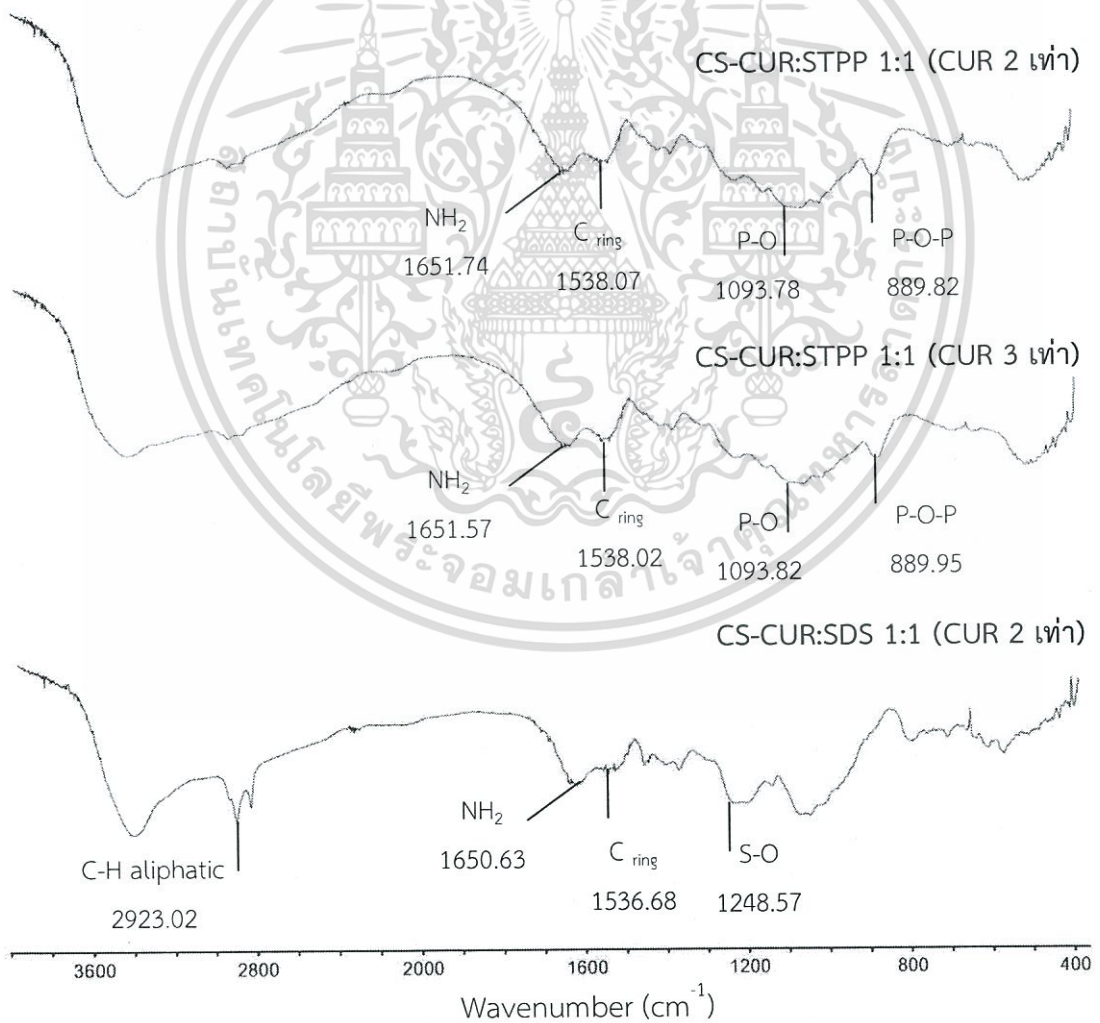
| ชื่อตัวอย่าง | T_m ($^{\circ}\text{C}$) * | ΔH_m (J/g) |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 178.6 | 363.0 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 167.9 | 461.8 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 172.9 | 523.3 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 189.7 | 147.0 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 182.6 | 168.8 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 215.6 | 176.3 |

* ค่าที่ตำแหน่ง Onset
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น ทั้งในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP และระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS เมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเป็น 2 เท่า และ 3 เท่า พบว่าค่า ΔH_m เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สันนิษฐานว่าเมื่อมีปริมาณเคอร์คูมินที่ใช้ในการเตรียมเพิ่มขึ้น เคอร์คูมินสามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างทำให้วัสดุประกอบบรรจุเคอร์คูมินได้มากขึ้น เป็นผลให้ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวเพิ่มขึ้น

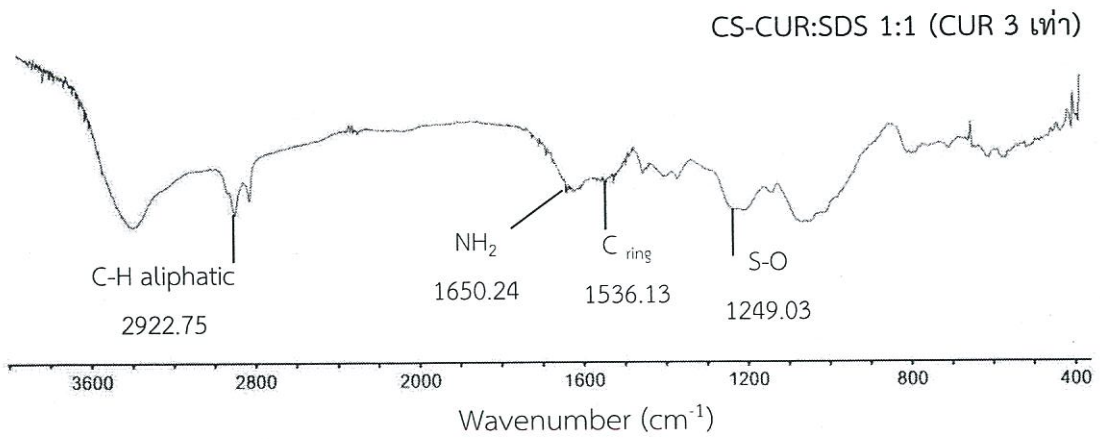
- โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมิน

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมิน ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ต่อ)

ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น

| ชื่อตัวอย่าง | เลขคลื่น (cm ⁻¹) | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|-------------------|---------|--------|---------------|---------|
| | -NH ₂ | C _{ring} | P-O | P-O-P | C-H aliphatic | S-O |
| CS | 1654.17 | - | - | - | - | - |
| CUR | - | 1513.04 | - | - | - | - |
| STPP | - | - | 1097.58 | 894.68 | - | - |
| SDS | - | - | - | - | 2925.69 | 1245.24 |
| CS-CUR:STPP 1:1 | 1651.98 | 1538.16 | 1093.76 | 889.68 | - | - |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 1651.74 | 1538.07 | 1093.78 | 889.82 | - | - |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 1651.57 | 1538.02 | 1093.82 | 889.95 | - | - |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 1650.17 | 1535.68 | - | - | 2923.07 | 1248.46 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 1650.63 | 1536.68 | - | - | 2923.02 | 1248.57 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 1650.24 | 1536.13 | - | - | 2922.75 | 1249.03 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 พบว่าสเปกตรัม FT-IR ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมิน ปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชันสำคัญในลักษณะที่คล้ายคลึงกับวัสดุที่เตรียมโดยใช้ปริมาณเคอร์คูมินเป็น 1 เท่า

เมื่อพิจารณาวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเป็น 2 เท่า และ 3 เท่า ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP พบว่าพีกของหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าจากสเปกตรัมของโคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน P-O ของ STPP ร่วมด้วย โดยพีกของ P-O มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น STPP เล็กน้อย และพบว่าตำแหน่งของเลขคลื่นของหมู่เอมีนและ P-O ของวัสดุประกอบที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินเป็น 1 เท่า มีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมิน 2 เท่า และ 3 เท่า

ในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่าพีกของหมู่เอมีนของโคโตซานในวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าจากสเปกตรัมของโคโตซานเริ่มต้น (รูปที่ 4.3) นอกจากนี้สเปกตรัมของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ ยังปรากฏพีกของหมู่ฟังก์ชัน S-O ของ SDS ร่วมด้วย โดยพีกของ S-O มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่สูงกว่าจากสเปกตรัมของสารตั้งต้น SDS เล็กน้อย และพบว่าตำแหน่งของเลขคลื่นของหมู่เอมีนและ S-O ของวัสดุประกอบที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินเป็น 1 เท่า มีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมิน 2 เท่า และ 3 เท่า จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเคอร์คูมินไม่ส่งผลต่อตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่เอมีน P-O และ S-O นอกจากนี้ยังไม่สามารถสังเกตการเกิดพีกสัญญาณของเคอร์คูมินได้ สันนิษฐานว่าเคอร์คูมินที่ใช้มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณโคโตซานและสารเชื่อมโยงที่ใช้เป็นสารตั้งต้นหลักในการเตรียม

- ปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุในวัสดุประกอบนาโนโคโตซานที่เตรียมได้

การศึกษาประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมิน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณและประสิทธิภาพการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/
เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/g) | ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมิน (%) |
|------------------------------|---|-------------------------------------|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 4.25 | 56.7 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 5.13 | 34.2 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 7.05 | 31.3 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 3.43 | 45.7 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 5.03 | 33.5 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 6.60 | 29.3 |

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยรูปแบบที่ 1 โดยเพิ่มปริมาณเคอร์คูมินเป็น 2 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ ทั้งในกรณีระบบที่เชื่อมโยงด้วย STPP และระบบที่เชื่อมโยงด้วย SDS พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน มีปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากมีปริมาณเคอร์คูมินสัดส่วนที่เหลืออยู่ภายนอกวัสดุประกอบมาก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินมีค่าลดลง

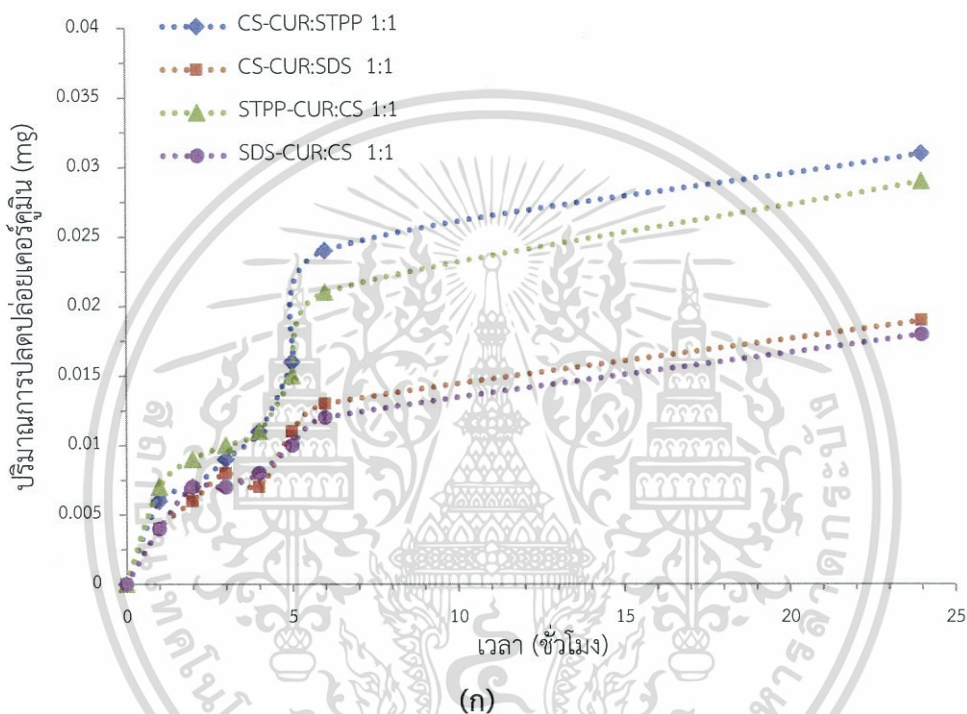
4.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยเคอร์คูมิน ได้แก่ ผลของลำดับการผสมเคอร์คูมินในการเตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยงและผลของปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น นำวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ไปทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน โดยทำการแช่วัสดุประกอบลงในสารละลาย

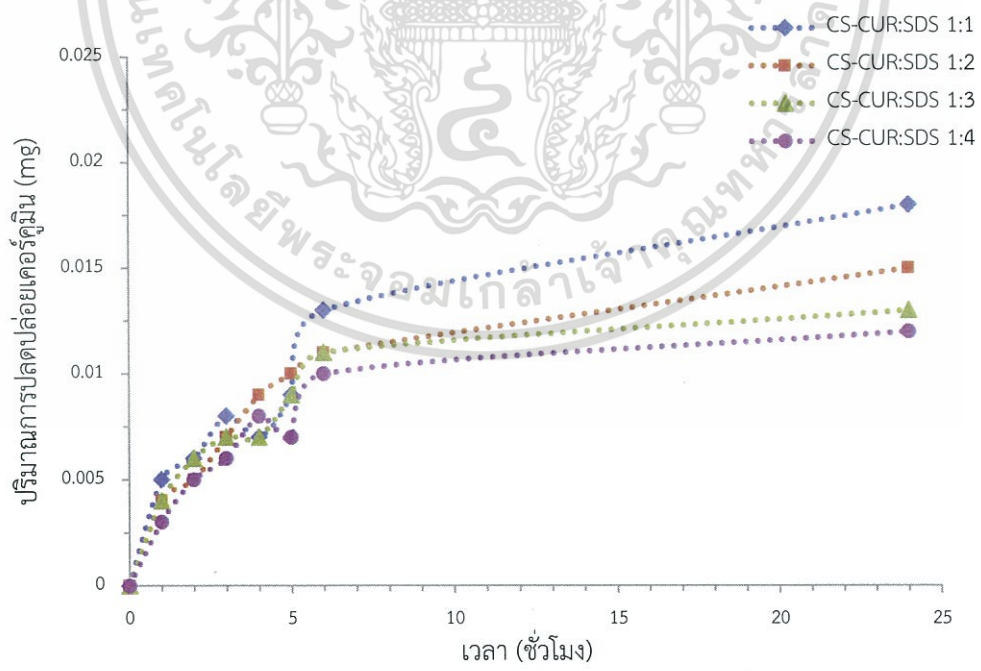
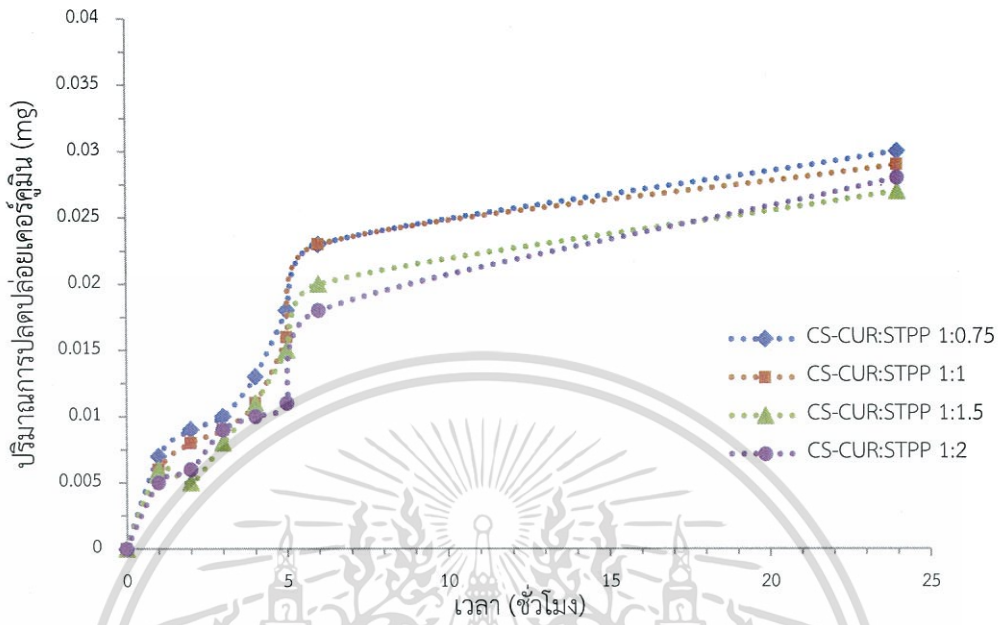
3 ชนิด ได้แก่ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) สารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (SGF) และสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ (SIF)

4.2.1 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้แช่ลงในสารละลาย PBS ที่ pH 7 ได้ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมิน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

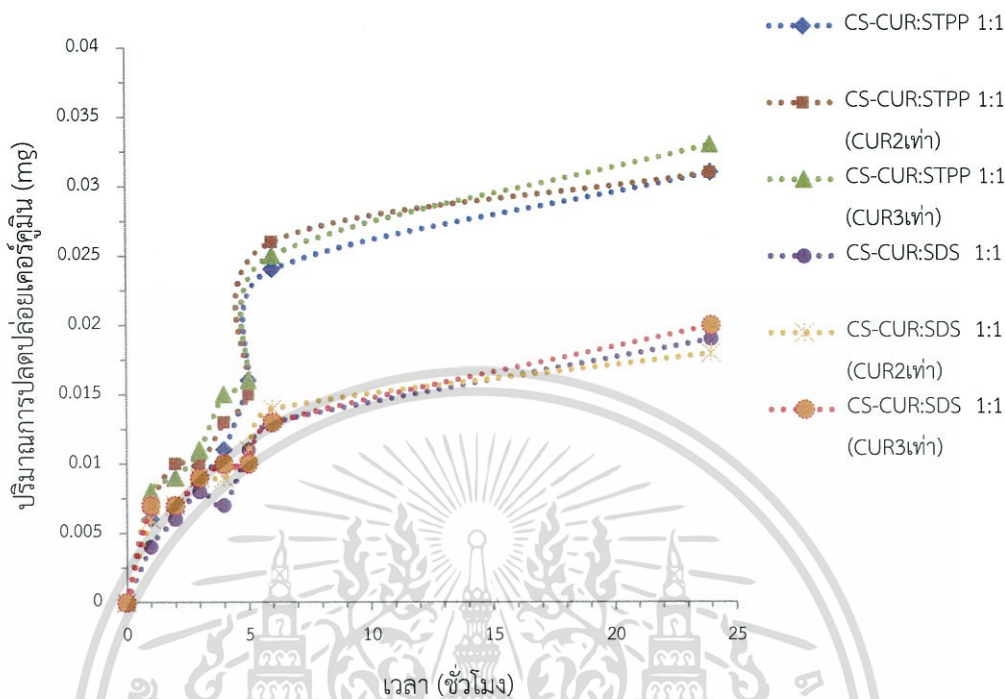


รูปที่ 4.8 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย PBS (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน



รูปที่ 4.8 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)
รูปที่ 4.8 (ต่อ)

รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ในสารละลาย PBS โดยกลไกการปลดปล่อยใน 5 ชั่วโมงแรก เริ่มต้นจากเคอร์คูมินที่อยู่บริเวณผิวของ วัสดุประกอบละลายออกมาภายนอก จากนั้นวัสดุประกอบเกิดการบวมตัว เป็นผลให้สายโซ่โพลีเมอร์ ของโคโตซานเมทริกซ์ยืดหยุ่น เกิดช่องว่างให้เคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ภายในสามารถแพร่ออกสู่ สารละลายได้เพิ่มขึ้น และในช่วงสุดท้ายวัสดุประกอบจะเกิดการกร่อนตัวและเสียหาย ทำให้ปริมาณ เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง จากรูปที่ 4.8 (ง) พบว่าในการเตรียมวัสดุประกอบนาโน โคโตซาน/เคอร์คูมินด้วยลำดับการผสมรูปแบบที่ 1 วัสดุประกอบ CS-CUR:STPP 1:1 มีปริมาณ เคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.213 mg (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณเคอร์คูมินที่ถูก ปลดปล่อยออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.104 mg คิดเป็น 48.8% ในขณะที่ การปลดปล่อยเคอร์คูมินของวัสดุประกอบ CS-CUR:SDS 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.172 mg (จากการคำนวณ) และปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้มีเท่ากับ 0.068 mg คิด เป็น 39.5% และในการเตรียมโดยลำดับการผสมรูปแบบที่ 2 วัสดุประกอบ STPP-CUR:CS 1:1 มี ปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.215 mg (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณเคอร์คูมินที่ถูก ปลดปล่อยออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.102 mg คิดเป็น 47.4% ในขณะที่

การปลดปล่อยเคอร์คูมินของวัสดุประกอบ SDS-CUR:CS 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.165 mg (จากการคำนวณ) และปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้มีเท่ากับ 0.066 mg คิดเป็น 40.0% จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วย SDS มีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยต่ำกว่าวัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วย STPP ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากเคอร์คูมินมีสภาพขั้วใกล้เคียงกับ SDS จึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างเมทริกซ์ได้ดีกว่าเคอร์คูมินในวัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วย STPP ดังนั้นเคอร์คูมินจึงถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่า โดยวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยลำดับการผสมรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ที่ใช้สารเชื่อมโยงชนิดเดียวกันมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยเคอร์คูมินใกล้เคียงกัน ดังนั้นลำดับการผสมเคอร์คูมินทั้งสองรูปแบบจึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการปลดปล่อย จึงเลือกนำวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยลำดับการผสมรูปแบบที่ 1 มาทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมินในลำดับต่อไป

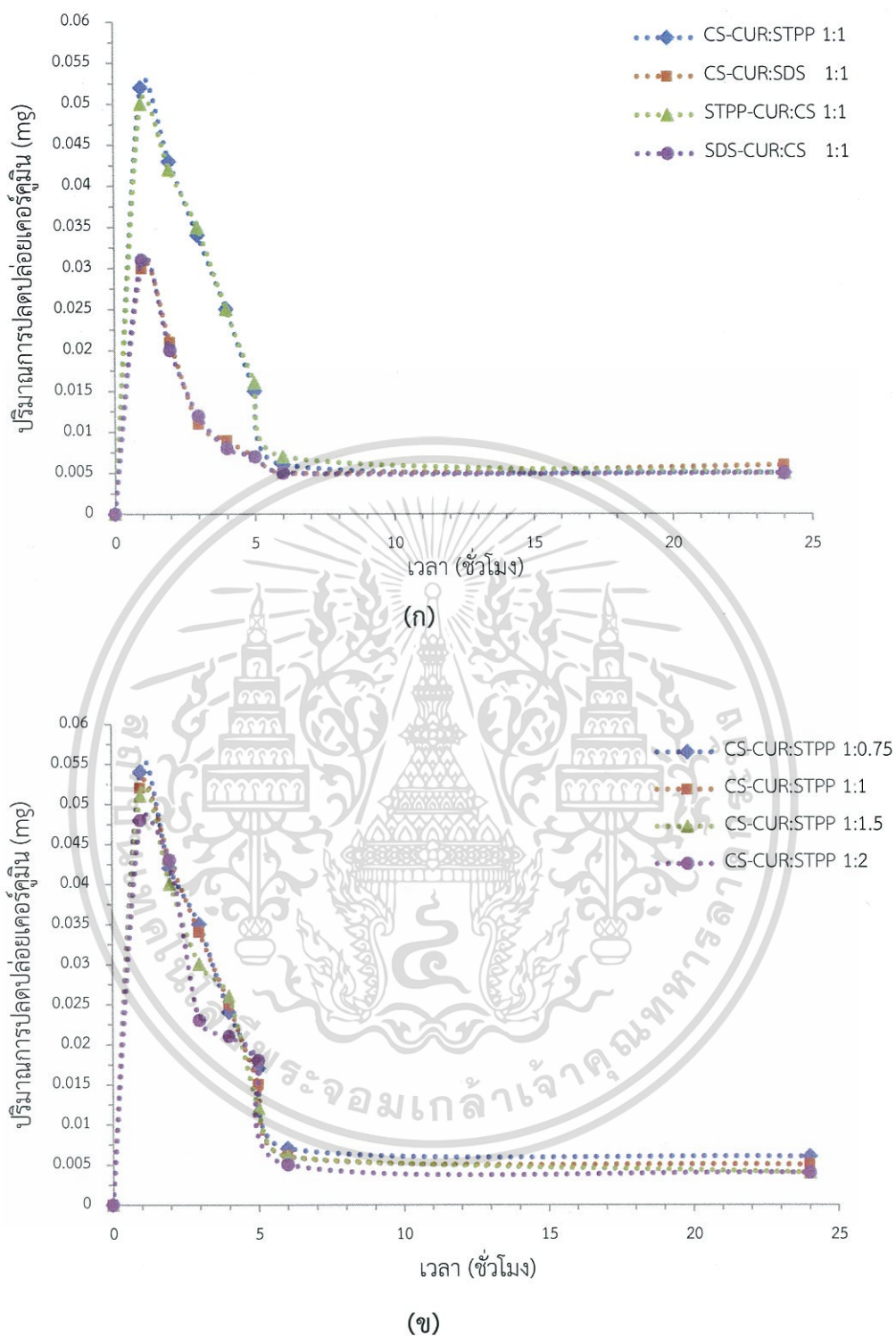
จากรูปที่ 4.8 (ข) วัสดุประกอบที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 มีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากกว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1:1 1:1.5 และ 1:2 สันนิษฐานว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ STPP โครงสร้างโคโตซานถูกเชื่อมโยงอย่างหนาแน่น จึงเกิดการบวมตัวในสารละลาย PBS ได้ยากขึ้น เป็นผลให้เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมาได้ช้าลง จึงมีปริมาณเคอร์คูมินที่ปลดปล่อยออกมาน้อย

จากรูปที่ 4.8 (ค) วัสดุประกอบที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 มีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากกว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:4 สันนิษฐานว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS เป็น 1:2 1:3 และ 1:4 โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะแซนด์วิช ทำให้บวมตัวในสารละลาย PBS ได้ยากกว่าวัสดุประกอบที่ใช้อัตราส่วน 1:1 ที่มีโครงสร้างแบบไมเซลล์ เป็นผลให้เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อย

จากรูปที่ 4.8 (ง) พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นจาก 1 เท่า เป็น 2 เท่า และ 3 เท่า สามารถปลดปล่อยเคอร์คูมินได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน มีปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.1.3

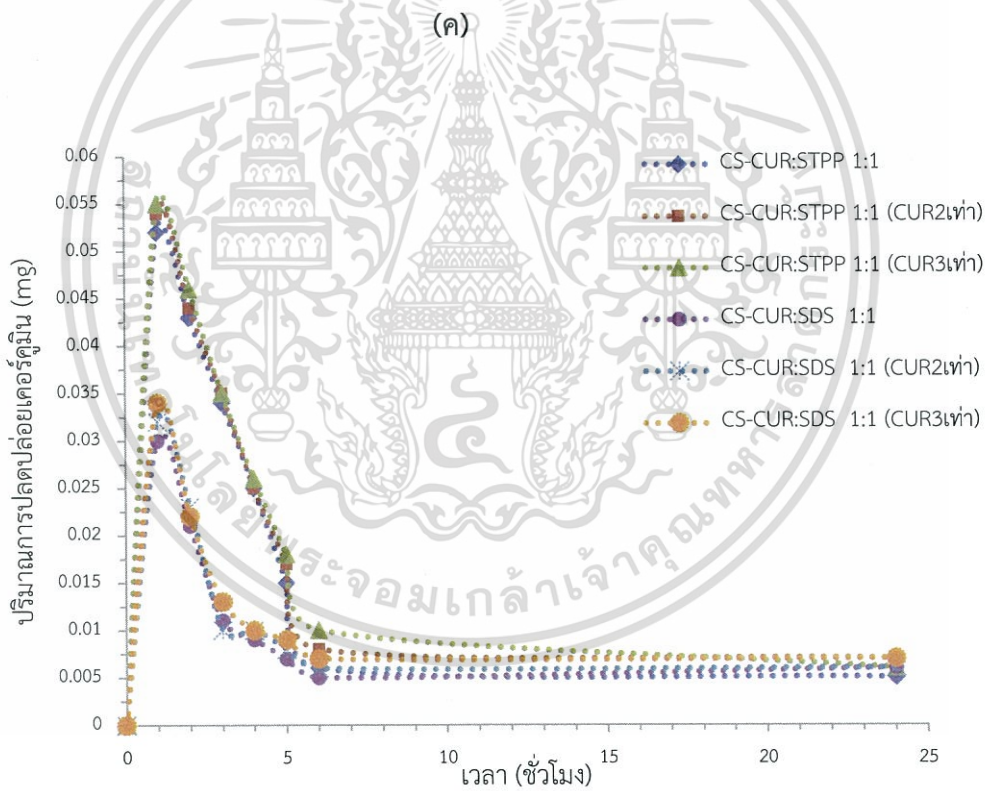
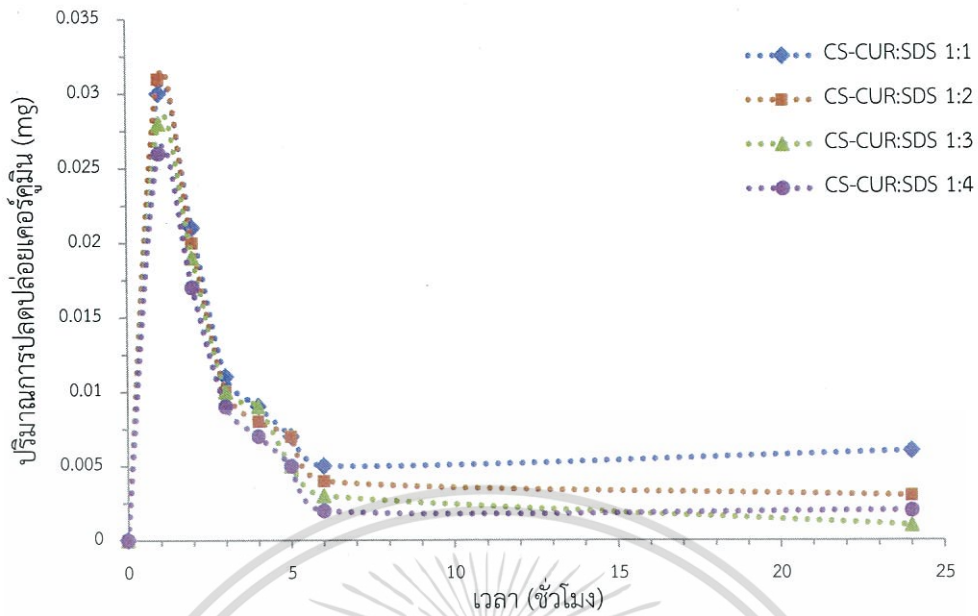
4.2.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้แช่ลงในสารละลาย SGF ที่ pH 1.2 ได้ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมิน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย SGF (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 4.9 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมินจากวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ในสารละลาย SGF โดยกลไกการปลดปล่อยใน 5 ชั่วโมงแรก เกิดเนื่องจากสารละลาย SGF มีความเป็นกรดสูง ทำให้วัสดุประกอบถูกกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว จึงปลดปล่อยเคอร์คูมินออกมาได้มากใน ชั่วโมงแรก และค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องในชั่วโมงต่อมา จากการที่ปริมาณเคอร์คูมินในวัสดุ ประกอบเหลือน้อยลง จากรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน ด้วยวิธีการผสมรูปแบบที่ 1 วัสดุประกอบ CS-CUR:STPP 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นในวัสดุ ประกอบเท่ากับ 0.2125 mg (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อย ออกมาได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.180 mg คิดเป็น 84.5% ในขณะที่การ ปลดปล่อยเคอร์คูมินของวัสดุประกอบ CS-CUR:SDS 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.1715 mg (จากการคำนวณ) และปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้เท่ากับ 0.089 mg คิดเป็น 51.7% และในการเตรียมโดยรูปแบบที่ 2 วัสดุประกอบ STPP-CUR:CS 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมิน เริ่มต้นเท่ากับ 0.215 mg (จากการคำนวณ) และเมื่อคำนวณปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมา ได้ทั้งหมดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.180 mg คิดเป็น 83.7% ในขณะที่การปลดปล่อย เคอร์คูมินของวัสดุประกอบ SDS-CUR:CS 1:1 มีปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเท่ากับ 0.165 mg (จากการ คำนวณ) และปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้เท่ากับ 0.088 mg คิดเป็น 53.3% จากผล ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วย STTP มีอัตราการปลดปล่อยเคอร์คูมินที่มากกว่า วัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วย SDS ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่าภายใน SDS ที่ก่อตัวเป็นไมเซลล์มีสภาพขั้ว โกล์เคียงกับเคอร์คูมิน เป็นผลให้เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมได้น้อยกว่า โดยวัสดุประกอบที่เตรียม ด้วยวิธีการผสมรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ที่ใช้สารเชื่อมโยงชนิดเดียวกันมีปริมาณการปลดปล่อยที่ โกล์เคียงกัน ดังนั้นลำดับการเตรียมวัสดุประกอบจึงไม่มีผลต่อการปลดปล่อยของเคอร์คูมินใน สารละลาย SGF

จากรูปที่ 4.9 (ข) วัสดุประกอบที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลาย โคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 มีปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน มากกว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วน 1:1 1:1.5 และ 1:2 เล็กน้อย สันนิษฐานว่าปริมาณ ของสารเชื่อมโยง STPP ส่งผลต่อโครงสร้าง ยังมีปริมาณสารเชื่อมโยงมากโครงสร้างที่เชื่อมโยงจะมี ความหนาแน่นมาก ทำให้เกิดการบวมตัวในสารละลาย SGF ยาก ในช่วงต้น อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่า เมื่อผ่านชั่วโมงที่ 5 ทุกตัวอย่างจะมีการปลดปล่อยเคอร์คูมินใกล้เคียงกัน ทั้งนี้่าเป็นผลเนื่องมาจาก ทุกตัวอย่างมีปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ใกล้เคียงกัน

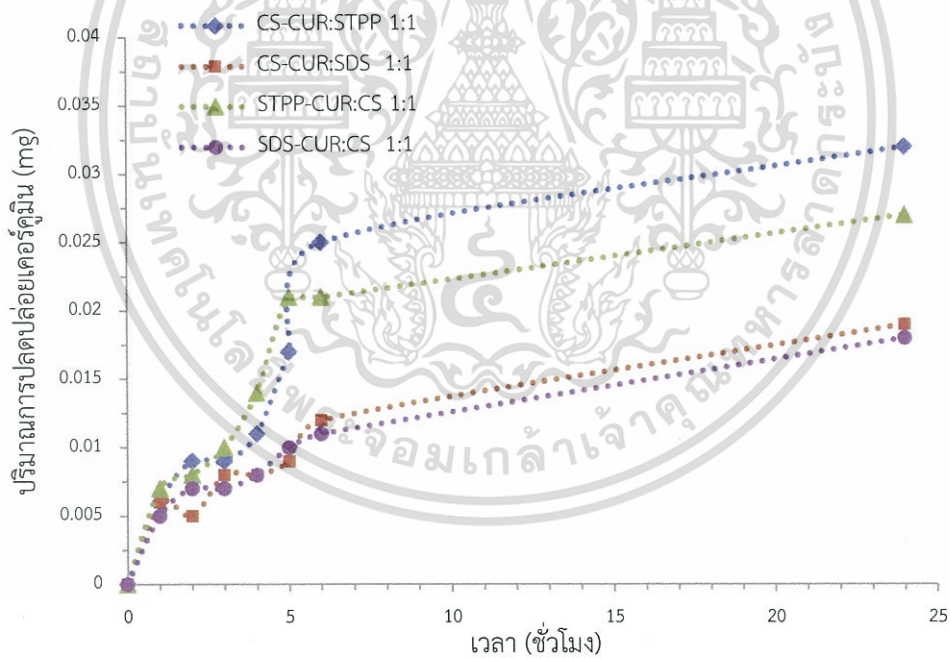
จากรูปที่ 4.9 (ค) วัสดุประกอบที่เตรียมโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลาย โคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดย น้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 มีปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากกว่าวัสดุ ประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:4 สันนิษฐานว่าวัสดุประกอบที่ใช้อัตราส่วนโดย

น้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อ SDS เป็น 1:1 ที่มีลักษณะเป็นไมเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างแบบแซนดวิชเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 1:2 1:3 และ 1:4 ซึ่งบวมตัวในสารละลาย SGF ได้ยากกว่า เป็นผลให้เคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อย

จากรูปที่ 4.9 (ง) พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเป็น 3 เท่า มีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้ดีกว่าเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นเป็น 2 เท่า และ 1 เท่า ตามลำดับ สันนิษฐานว่าเมื่อใช้ปริมาณเคอร์คูมินเพิ่มขึ้น มีปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบมาก เมื่อนำมาทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมิน จึงมีปริมาณเคอร์คูมินออกมาในสารละลาย SGF มาก และจากกราฟกลุ่มที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง มีปริมาณการปลดปล่อยมากกว่าที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง ซึ่งปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้นไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

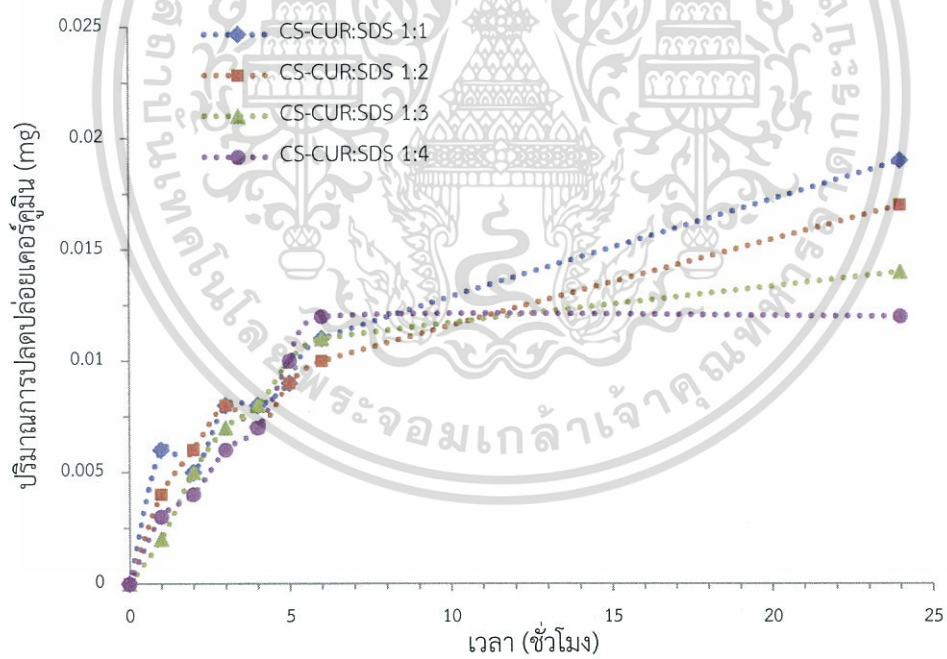
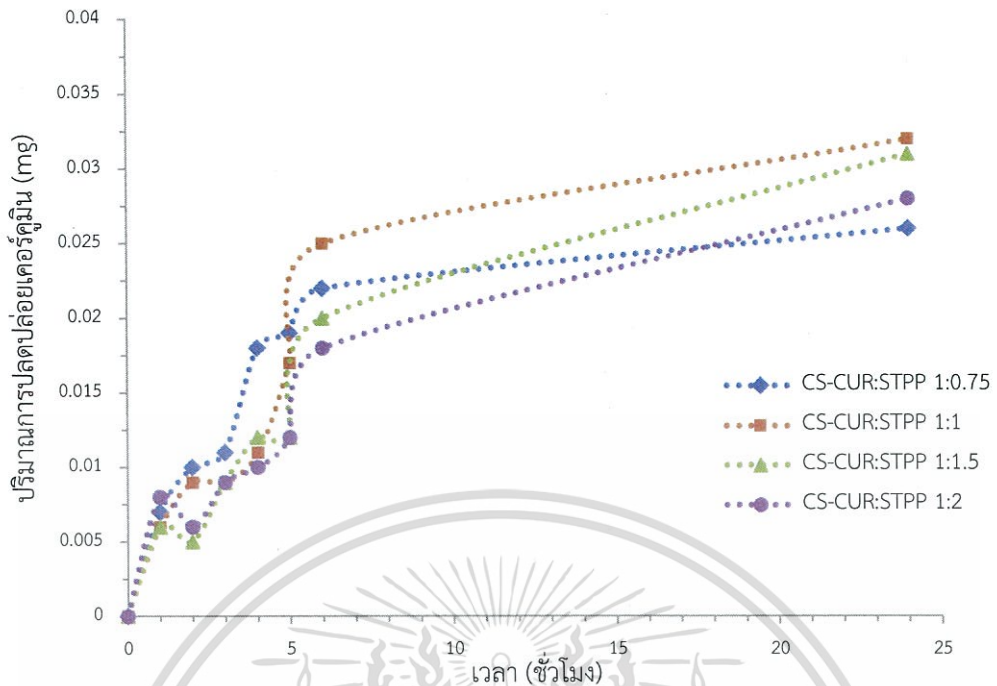
4.2.3 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสถานะในลำไส้

นำวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้แช่ลงในสารละลาย SIF ที่ pH 6.8 ได้ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมิน ดังแสดงในรูปที่ 4.10



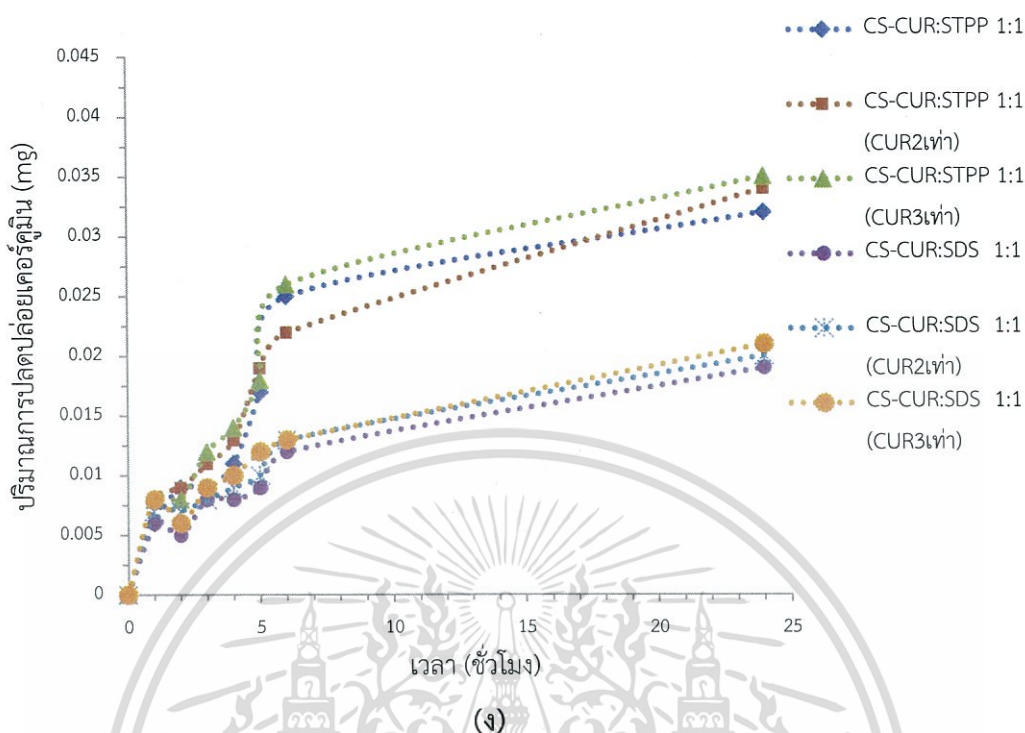
(ก)

รูปที่ 4.10 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสารละลาย SIF (ก) วิธีการผสมเคอร์คูมิน (ข) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อ STPP (ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อ SDS และ (ง) ปริมาณเคอร์คูมิน



รูปที่ 4.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



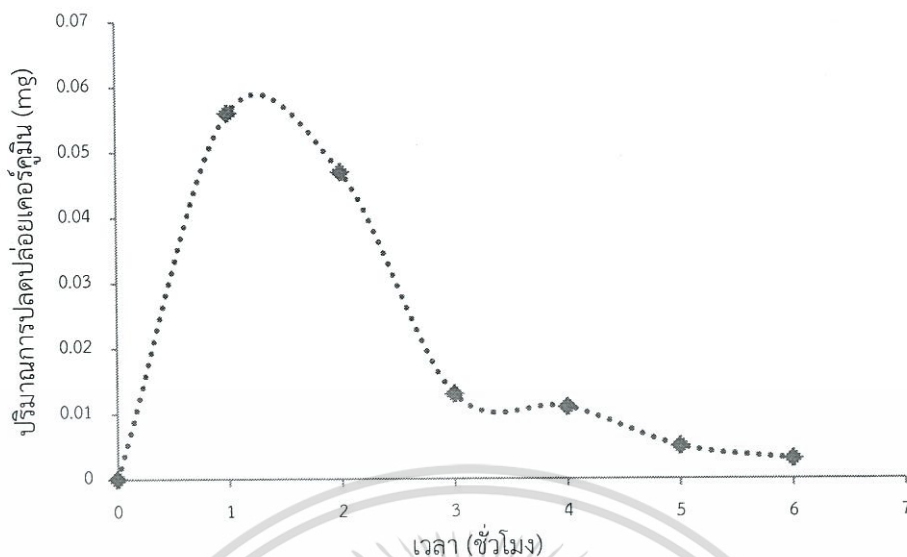
จากรูปที่ 4.10 พบว่าวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ปลดปล่อยในสารละลาย SIF มีกลไกการปลดปล่อยและปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยใกล้เคียงกับการปลดปล่อยในระบบสารละลาย PBS เนื่องจากสารละลาย SIF และสารละลาย PBS มีค่า pH ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 7

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่าเคอร์คูมินถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (SGF) ที่มีความเป็นกรดได้ดีกว่าในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกลางหรือเบส โดยได้เลือกวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินได้ดีที่สุด คือ สารผลิตภัณฑ์ CS-CUR:STPP 1:0.75 มาทำการทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสภาวะจำลองระบบในร่างกายต่อไป

4.2.4 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสภาวะจำลองระบบในร่างกาย

นำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 แชลงในสารละลาย SGF ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1-2 จากนั้นนำไปแช่ต่อในสารละลาย SIF ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3-6 ได้ผลการปลดปล่อยเคอร์คูมินอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

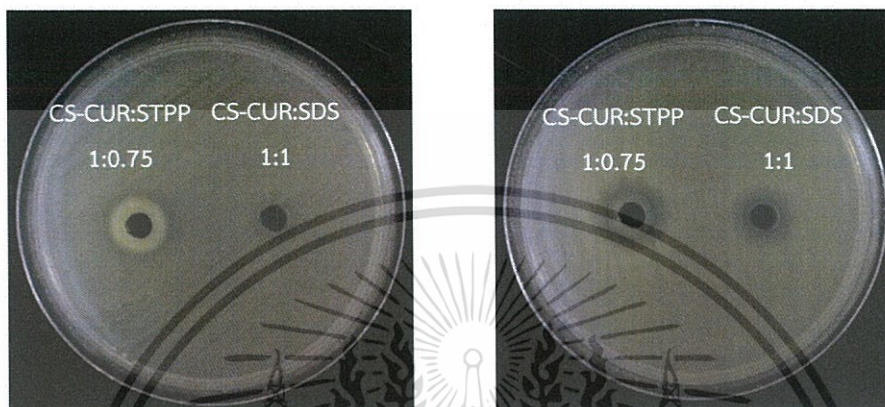


รูปที่ 4.11 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยในสภาวะจำลองระบบในร่างกาย

จากรูปที่ 4.11 พบว่าวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ปลดปล่อยในสภาวะจำลองระบบในร่างกาย เมื่อแช่ในสารละลาย SGF ในชั่วโมงที่ 1-2 จะปลดปล่อยเคอร์คูมินออกมาในปริมาณมาก โดยมีปริมาณที่ปลดปล่อยในสารละลาย SGF 0.103 mg คิดเป็น 54.5% ของปริมาณเคอร์คูมินที่มีในวัสดุประกอบ จากนั้นนำไปแช่ต่อในสารละลาย SIF ในชั่วโมงที่ 3-6 ปริมาณเคอร์คูมินที่ถูกปลดปล่อยออกมาค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณเคอร์คูมินที่ปลดปล่อยในสารละลาย SIF 0.032 mg คิดเป็น 16.9% ของปริมาณเคอร์คูมินที่มีในวัสดุประกอบ

4.3 ผลทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

เมื่อนำวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินมาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ แบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus/S.aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli/E.coli*) โดยวัสดุประกอบที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ จะเกิดเป็นวงใส (Clear zone) ที่แสดงถึงบริเวณที่เชื้อถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.10



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.12 สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (ก) *S.aureus* และ (ข) *E.coli* ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

ตารางที่ 4.10 เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

| สารตัวอย่าง | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (mm) | |
|--------------------|--|---------------|
| | <i>S.aureus</i> | <i>E.coli</i> |
| CS-CUR:STPP 1:0.75 | 13.8 | 12.3 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 0 | 9.5 |

จากผลการทดสอบ พบว่าวัสดุประกอบ CS-CUR:STPP 1:0.75 สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ได้ ในขณะที่วัสดุประกอบ CS-CUR:SDS 1:1 ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้เพียงชนิดเดียว ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อกลไกในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยเคอร์คูมินไปเกาะที่เยื่อหุ้มเซลล์ของ *E.coli* เกิดเป็นช่องว่าง ทำให้เคอร์คูมินสามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างภายในเซลล์ได้ [29] นอกจากนี้วัสดุประกอบ CS-CUR:STPP 1:0.75 มีปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมินในปริมาณที่มากกว่าวัสดุประกอบ CS-CUR:SDS 1:1 (จากรูปที่ 4.9) จึงส่งผลให้ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินโดยการผสม 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ผสมเคอร์คูมินกับไคโตซานแล้วจึงผสมกับสารเชื่อมโยง และรูปแบบที่ 2 ผสมเคอร์คูมินกับสารเชื่อมโยงแล้วจึงผสมไคโตซาน โดยใช้สารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ในการเตรียมวัสดุประกอบโดยใช้สารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของไคโตซานด้วยกลไกที่แตกต่างกัน จึงเกิดโครงสร้างที่ต่างกันไป โดยในกรณีที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยงเกิดโครงสร้างร่างแห ส่วนในกรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยงเกิดโครงสร้างแบบไมเซลล์หรือแบบแซนด์วิช

ผลของลำดับการผสมเคอร์คูมินในการเตรียมวัสดุประกอบ ทั้งสองรูปแบบไม่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงและการบรรจุเคอร์คูมิน โดยในกรณีที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยงสามารถบรรจุเคอร์คูมินได้มากกว่า SDS เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อสารเชื่อมโยงเป็น 1:1

ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง พบว่าเมื่อปริมาณของสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุในวัสดุประกอบเพิ่มมากขึ้น โดยวัสดุประกอบที่บรรจุเคอร์คูมินได้มากที่สุดในกรณีที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง คือวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ STPP เป็น 1:2 และในกรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมโยงจาก 1:1 เป็น 1:2 ส่งผลให้วัสดุประกอบสามารถบรรจุเคอร์คูมินได้มากขึ้น และเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมโยงจาก 1:2 เป็น 1:3 และ 1:4 และในการศึกษาผลของปริมาณเคอร์คูมินเริ่มต้น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน มีปริมาณเคอร์คูมินที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินมีค่าลดลง

วัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมได้ มีความสามารถในการปลดปล่อยเคอร์คูมินออกจากวัสดุประกอบได้ดีในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหาร (SGF) วัสดุประกอบที่ใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยงสามารถปลดปล่อยปริมาณเคอร์คูมินได้มากกว่ากรณีที่ใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง โดยวัสดุประกอบที่ปลดปล่อยเคอร์คูมินได้มากที่สุดเป็นวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ STPP เป็น 1:0.75 นอกจากนี้วัสดุประกอบที่เตรียมได้มีสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ STPP เป็นสารเชื่อมโยง สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* และ *E.coli* ได้ดี ในขณะที่วัสดุประกอบที่เตรียม

โดยใช้ SDS เป็นสารเชื่อมโยง มีสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้เพียงชนิดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรปรับเปลี่ยนปริมาณโคโตซานที่ใช้ในการเตรียม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบรรจุเคอร์คูมินของวัสดุประกอบ

2) ควรมีการทดสอบสมบัติความเป็นพิษต่อเซลล์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MedThai.com. 2559. ขมิ้น สรรพคุณและประโยชน์ของขมิ้นชัน 55 ข้อ. [Online]. Available : <https://medthai.com/ขมิ้นชัน/>.
- [2] ศุกลวัฒน์ เขาวรัตน์. 2558. “การเตรียมวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/ขมิ้นชัน” วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ นาโน ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] Morsengbrand.com. 2557. ขมิ้นชันแคปซูลใช้อย่างไรได้ผลสูงสุด. [Online]. Available : <http://morsengbrand.com/ขมิ้นชัน-แคปซูล/>.
- [4] Thaicrudedrug.com. 2553. ขมิ้นชัน. [Online]. Available : <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?act ion=viewpage&pid=34>.
- [5] Depanicis, D. Curcumin from Turmeric (Curcuma longa). [Online]. Available : <https://pharmacistformulas.wordpress.com/2015/03/24/curcumin-from-turmeric-curcuma-longa/>
- [6] สมุนไพรโสภกา. 2551. ขมิ้น. [Online]. Available : <http://www.sopaherb.com/index.php?lite=article&qid=163420>.
- [7] MorsengRich.com. 2556. ประโยชน์และสรรพคุณของขมิ้นชัน ฉบับชาวบ้าน. [Online]. Available : <http://www.morsengrich.com/turmeric-properties-and-benefits>.
- [8] Tschitosan.com. 2060. ไคโตซาน. [Online]. Available : <http://www.tschitosan.com/>.
- [9] Majekodunmi, S. O. 2016. “Current Development of Extraction, Characterization and Evaluation of Properties of Chitosan and Its Use in Medicine and Pharmaceutical Industry.” *American Journal of Polymer Science*. 6(3) : 86-91.
- [10] ศราวุธ แสงอุไร. 2549. “การสกัดแยกพอลิเมอร์ชีวภาพจากครัสเตเซียน การเตรียมอนุพันธ์และการใช้ดูดซับ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา ภาควิชาเคมีบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [11] พัฒนันท วงศ์วิวัฒน์. 2545. “การสกัดไคติน-ไคโตซานจากเปลือกหอย.” ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] น้อย เนียมสา. 2556. “อนุภาคระดับไมโครของไคโตซานสำหรับใช้เป็นระบบนำส่งยาแบบควบคุมการปลดปล่อย.” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18(2) : 281-287.
- [13] Bonafidesmarketing.com. 2560. ไคติน-ไคโตซาน. [Online]. Available : <http://bonafidesmarketing.com/articledetail.asp?id=4929>.
- [14] Chitosanpro.com. 2553. ประโยชน์ของไคโตซาน. [Online]. Available : <http://www.chitosanpro.com/index.php?lay=show&ac=article&id=455785>.
- [15] Tillet, G., Boutevin, B. and Ameduri, B. 2010. “Chemical reactions of polymer crosslinking and post-crosslinking at room and medium temperature.” *Progress in Polymer Science*. 36 : 191-217.
- [16] Wikipedia. 2016. **Sodium triphosphate**. [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_triphosphate.
- [17] Fisher Scientific. 2014. **Sodium tripolyphosphate**. [Online]. Available : <https://www.fishersci.com/shop/products/sodium-tripolyphosphate-85-pure-tech-acros-organics-3/p-42507>.
- [18] Wikipedia. 2016. **Sodium dodecyl sulfate**. [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate.
- [19] Lookfordiagnosis. 2016. **Sodium dodecyl sulfate**. [Online]. Available : <http://www.lookfordiagnosis.com/>.
- [20] Philosophy. 2010. **General Ontology**. [Online]. Available : http://www.metaphysica.nl/ontology/general_ontology_29m1b.html.
- [21] Tiyaboonchai, W. 2003. “Chitosan Nanoparticles : A Promising System for Drug Delivery.” *Naresuan University Journal*. 11(3) : 51-66.
- [22] Ahmed, K., Li, Y., McClements, D. J. and Xiao, H. 2012. “Nanoemulsion- and emulsion-based delivery systems for curcumin: Encapsulation and release properties.” *Food Chemistry*. 132(2) : 799-807.
- [23] Sari, T. P., Mann, B., Kumar, R., Singh, R. R. B., Sharma, R., Bhardwaj, M. and Athira, S. 2015. “Preparation and characterization of nanoemulsion encapsulating curcumin.” *Food Hydrocolloids*. 43 : 540-546.
- [24] Li, J., Hwang, I., Chen, X. And Park, H. J. 2016. “Effects of chitosan coating on curcumin loaded nano-emulsion: Study on stability and in vitro digestibility.” *Food Hydrocolloids*. 60 : 138-147.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

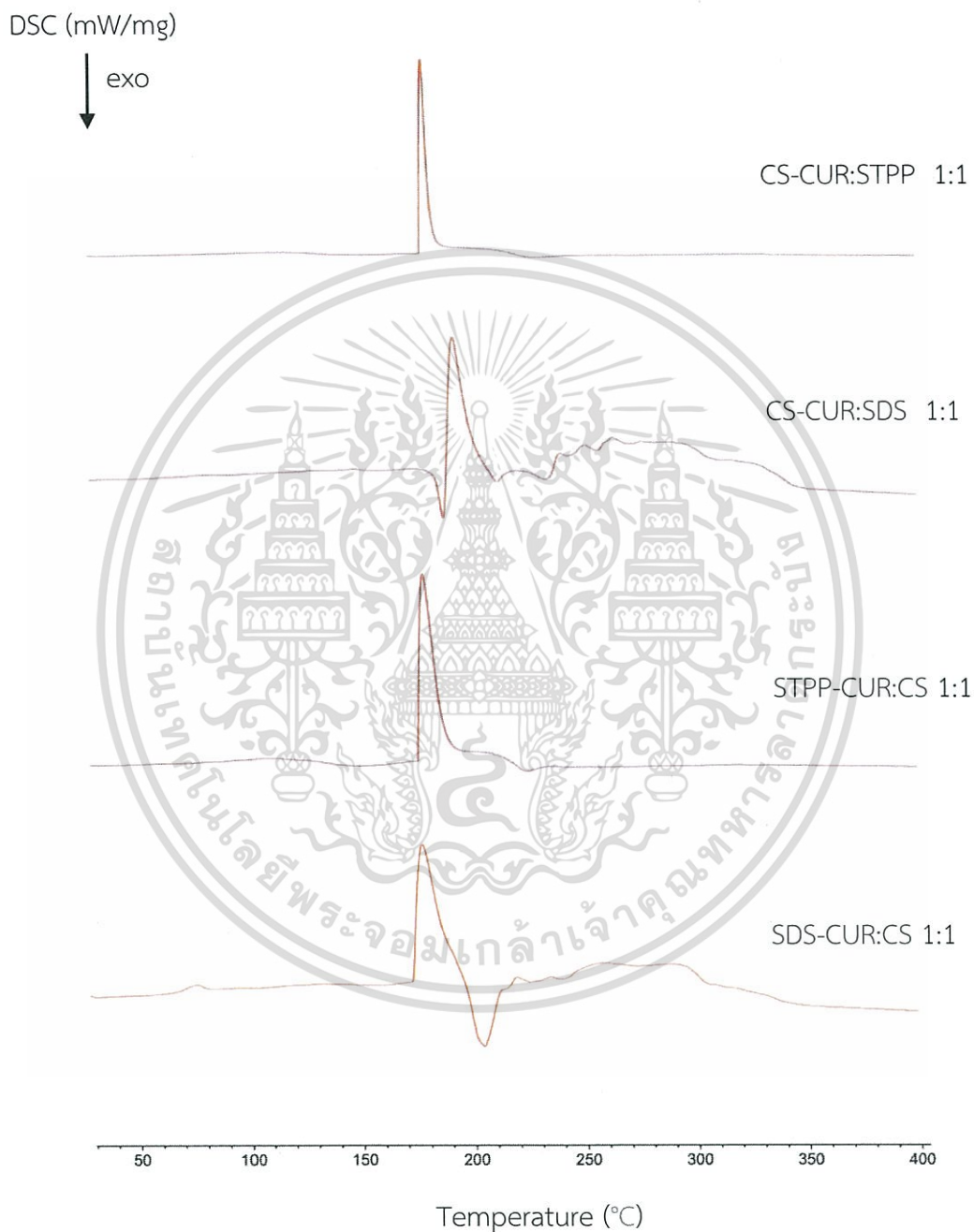
- [25] Zhang, Z., Zhang, R., Zou, L., Chen, L., Ahmed, Y., Bishri, W. A., Balamash, K. and McClements, D. J. 2016. "Encapsulation of curcumin in polysaccharide-based hydrogel beads: Impact of bead type on lipid digestion and curcumin bioaccessibility." *Food Hydrocolloids*. 58 : 160-170.
- [26] Shah, B. R., Li, Y., Jin, W., An, Y., He, L., Li, Z., Xu, W. and Li, B. 2015. "Preparation and optimization of Pickering emulsion stabilized by chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for curcumin encapsulation." *Food Hydrocolloids*. 52 : 369-377.
- [27] Nguyen, M. H., Yu, H., Kiew, T. Y. and 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.
- [28] Yang, D. H., Kim, H. J., Kim, J. K., Chun, H. J. and Park, K. 2017. "Preparation of redox-sensitive β -CD-based nanoparticles with controlled release of curcumin for improved therapeutic effect on liver cancer in vitro." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 45 : 156-163.
- [29] Wang, H., Hao, L., Wang, P., Chen, M., Jiang, S. and Jiang, S. 2017. "Release kinetics and antibacterial activity of curcumin loaded zein fibers." *Food Hydrocolloids*. 63 : 437-446.
- [30] Ariyaratna, I. R., Karunaratne, D. N. 2016. "Microencapsulation stabilizes curcumin for efficient delivery in food applications." *Food Packaging and Shelf Life*. 10 : 79-86.
- [31] The Royal Society of Chemistry. 2008. Microfluidic emulsification and sorting assisted preparation of monodisperse chitosan microparticles. [Online]. Available : <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleHtml/2009/LC/b807454b>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

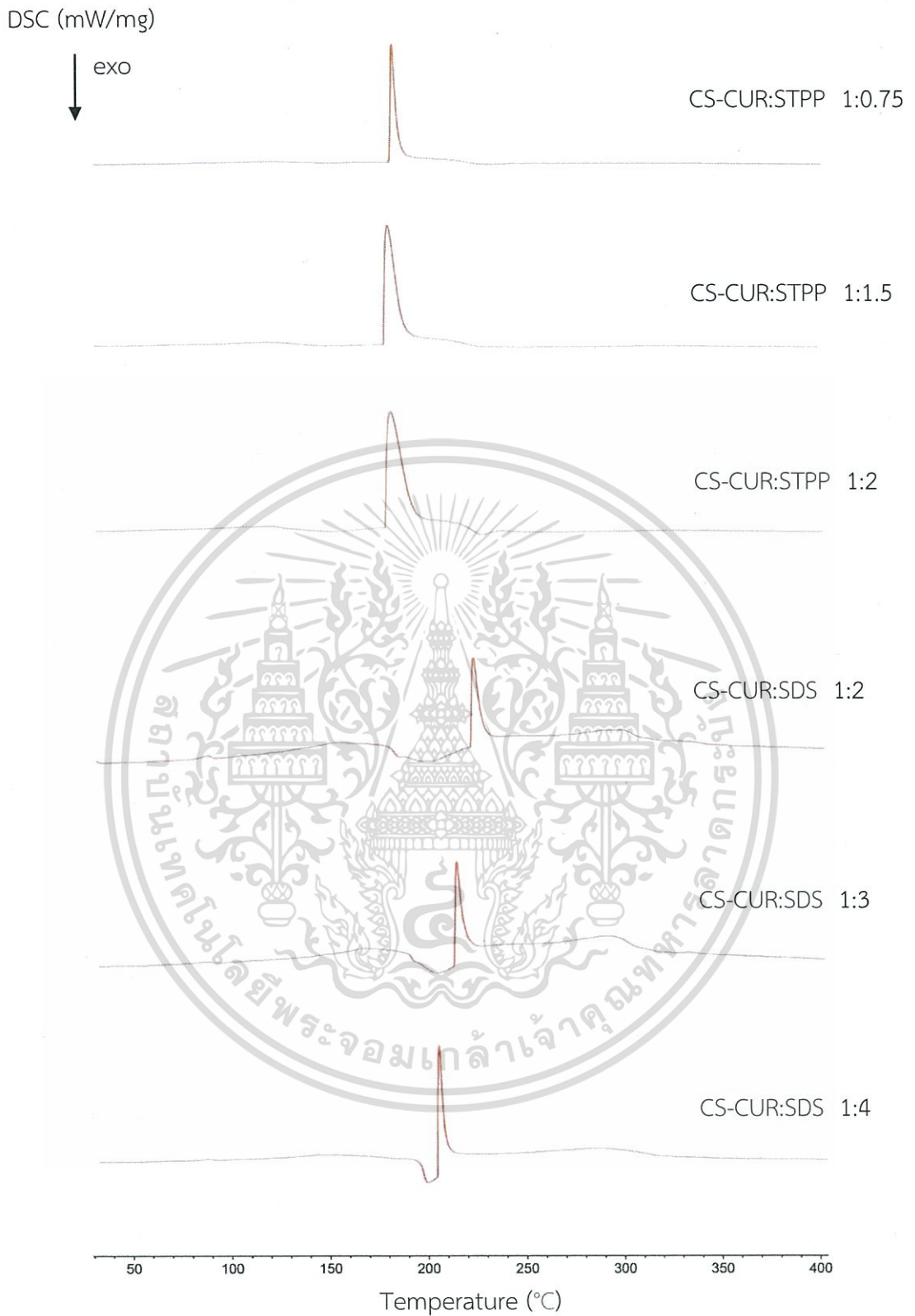
ภาคผนวก ก

เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมิน



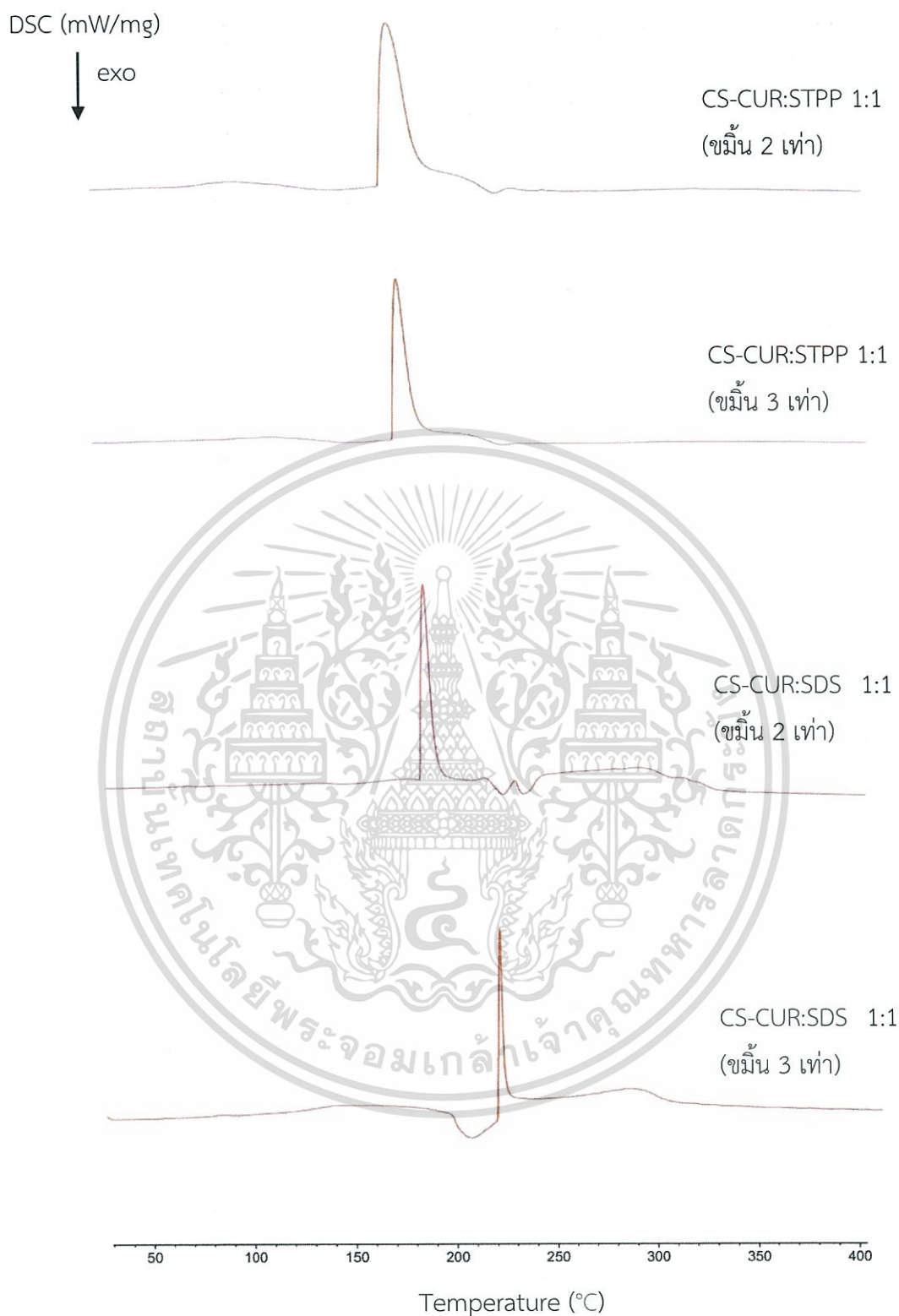
รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานต่อสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

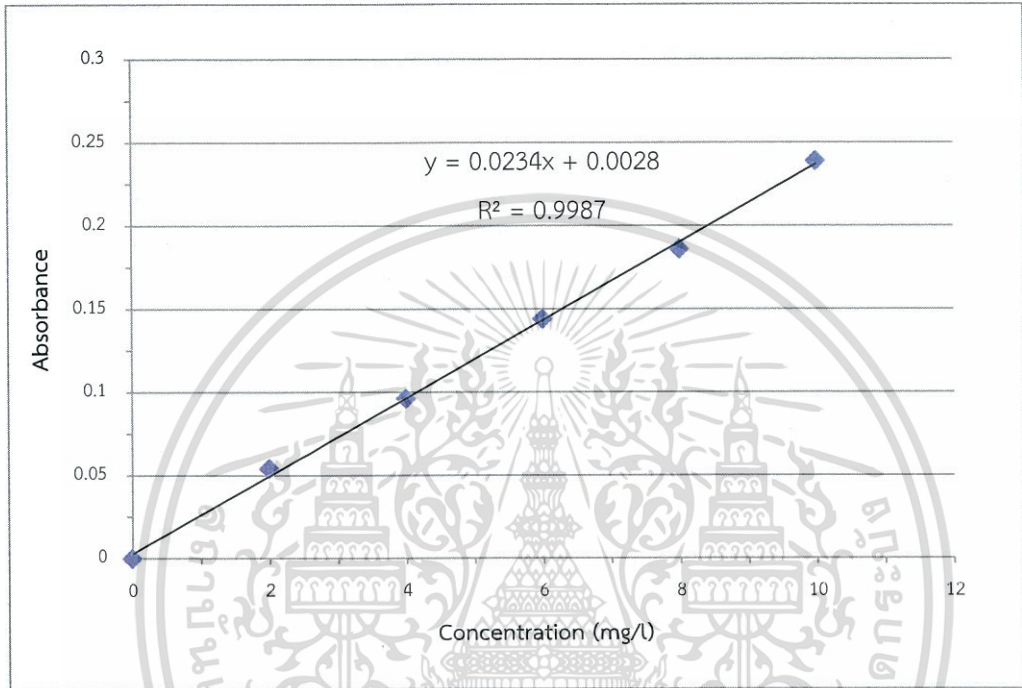


รูปที่ ก.3 เทอร์โมแกรม DSC ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนเคอร์คูมินเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐานของสารละลายเคอร์คูมินในสารละลายผสม



รูปที่ ข กราฟมาตรฐานของสารละลายเคอร์คูมินในสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติก เอทานอล และน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมิน

ตารางที่ ค.1 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน

รูปแบบที่1

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 |
|-------------------|--|---|
| | (mg) | (mg) |
| 1 | 0.006 | 0.004 |
| 2 | 0.007 | 0.006 |
| 3 | 0.009 | 0.008 |
| 4 | 0.011 | 0.007 |
| 5 | 0.016 | 0.011 |
| 6 | 0.024 | 0.013 |
| *24 | 0.031 | 0.019 |

รูปแบบที่2

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน STPP-CUR:CS 1:1 | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน SDS-CUR:CS 1:1 |
|-------------------|--|---|
| | (mg) | (mg) |
| 1 | 0.007 | 0.004 |
| 2 | 0.009 | 0.007 |
| 3 | 0.010 | 0.007 |
| 4 | 0.011 | 0.008 |
| 5 | 0.015 | 0.010 |
| 6 | 0.021 | 0.012 |
| *24 | 0.029 | 0.018 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบนาโน
โคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:0.75 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1.5 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:2 (mg) |
|-------------------|---|--|--|--|
| 1 | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.005 |
| 2 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.006 |
| 3 | 0.010 | 0.009 | 0.008 | 0.009 |
| 4 | 0.013 | 0.011 | 0.011 | 0.010 |
| 5 | 0.018 | 0.016 | 0.015 | 0.011 |
| 6 | 0.023 | 0.024 | 0.020 | 0.018 |
| *24 | 0.030 | 0.031 | 0.027 | 0.028 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:2 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:3 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:4 (mg) |
|-------------------|---|---|---|---|
| 1 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.003 |
| 2 | 0.006 | 0.005 | 0.006 | 0.005 |
| 3 | 0.008 | 0.007 | 0.007 | 0.006 |
| 4 | 0.007 | 0.009 | 0.007 | 0.008 |
| 5 | 0.011 | 0.010 | 0.009 | 0.007 |
| 6 | 0.013 | 0.011 | 0.011 | 0.010 |
| *24 | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.012 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบนาโน
โคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|--|--|
| 1 | 0.007 | 0.008 |
| 2 | 0.010 | 0.009 |
| 3 | 0.010 | 0.011 |
| 4 | 0.013 | 0.015 |
| 5 | 0.015 | 0.016 |
| 6 | 0.026 | 0.025 |
| *24 | 0.031 | 0.033 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|---|---|
| 1 | 0.006 | 0.007 |
| 2 | 0.007 | 0.007 |
| 3 | 0.009 | 0.009 |
| 4 | 0.009 | 0.010 |
| 5 | 0.011 | 0.010 |
| 6 | 0.014 | 0.013 |
| *24 | 0.018 | 0.020 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน

รูปแบบที่1

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (mg) |
|-------------------|--|---|
| 1 | 0.052 | 0.030 |
| 2 | 0.043 | 0.021 |
| 3 | 0.034 | 0.011 |
| 4 | 0.025 | 0.009 |
| 5 | 0.015 | 0.007 |
| 6 | 0.006 | 0.005 |
| *24 | 0.005 | 0.006 |

รูปแบบที่2

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน STPP-CUR:CS 1:1 (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน SDS-CUR:CS 1:1 (mg) |
|-------------------|--|---|
| 1 | 0.050 | 0.031 |
| 2 | 0.042 | 0.020 |
| 3 | 0.035 | 0.012 |
| 4 | 0.025 | 0.008 |
| 5 | 0.016 | 0.007 |
| 6 | 0.007 | 0.005 |
| *24 | 0.005 | 0.005 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

ตารางที่ ค.5 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารของวัสดุ
ประกอบนาโนโคโคซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:0.75 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1.5 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:2 (mg) |
|-------------------|---|--|--|--|
| 1 | 0.054 | 0.052 | 0.051 | 0.048 |
| 2 | 0.042 | 0.043 | 0.040 | 0.043 |
| 3 | 0.035 | 0.034 | 0.030 | 0.023 |
| 4 | 0.024 | 0.025 | 0.026 | 0.021 |
| 5 | 0.017 | 0.015 | 0.012 | 0.018 |
| 6 | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.005 |
| *24 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.004 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:2 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:3 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:4 (mg) |
|-------------------|---|---|---|---|
| 1 | 0.030 | 0.031 | 0.028 | 0.026 |
| 2 | 0.021 | 0.020 | 0.019 | 0.017 |
| 3 | 0.011 | 0.010 | 0.010 | 0.009 |
| 4 | 0.009 | 0.008 | 0.009 | 0.007 |
| 5 | 0.007 | 0.007 | 0.005 | 0.005 |
| 6 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 |
| *24 | 0.006 | 0.003 | 0.001 | 0.002 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|--|--|
| 1 | 0.054 | 0.055 |
| 2 | 0.044 | 0.046 |
| 3 | 0.035 | 0.035 |
| 4 | 0.025 | 0.026 |
| 5 | 0.017 | 0.018 |
| 6 | 0.008 | 0.010 |
| *24 | 0.007 | 0.006 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|---|---|
| 1 | 0.032 | 0.034 |
| 2 | 0.023 | 0.022 |
| 3 | 0.010 | 0.013 |
| 4 | 0.010 | 0.010 |
| 5 | 0.008 | 0.009 |
| 6 | 0.006 | 0.007 |
| *24 | 0.006 | 0.007 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ของวัสดุประกอบนาโน
โคโตซาน/เคอร์คูมินที่มีลำดับการเตรียมที่ต่างกัน

รูปแบบที่1

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (mg) |
|-------------------|--|---|
| 1 | 0.006 | 0.006 |
| 2 | 0.009 | 0.005 |
| 3 | 0.009 | 0.008 |
| 4 | 0.011 | 0.008 |
| 5 | 0.017 | 0.009 |
| 6 | 0.025 | 0.012 |
| *24 | 0.032 | 0.019 |

รูปแบบที่2

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน STPP-CUR:CS 1:1 (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน SDS-CUR:CS 1:1 (mg) |
|-------------------|--|---|
| 1 | 0.007 | 0.005 |
| 2 | 0.008 | 0.007 |
| 3 | 0.010 | 0.007 |
| 4 | 0.014 | 0.008 |
| 5 | 0.021 | 0.010 |
| 6 | 0.021 | 0.011 |
| *24 | 0.027 | 0.018 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

ตารางที่ ค.8 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ของวัสดุประกอบนาโน
โคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:0.75 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1.5 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:2 (mg) |
|-------------------|---|--|--|--|
| 1 | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.008 |
| 2 | 0.010 | 0.009 | 0.005 | 0.006 |
| 3 | 0.011 | 0.009 | 0.009 | 0.009 |
| 4 | 0.018 | 0.011 | 0.012 | 0.010 |
| 5 | 0.019 | 0.017 | 0.012 | 0.012 |
| 6 | 0.022 | 0.025 | 0.020 | 0.018 |
| *24 | 0.026 | 0.032 | 0.031 | 0.028 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:2 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:3 (mg) | ปริมาณเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:4 (mg) |
|-------------------|---|---|---|---|
| 1 | 0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.003 |
| 2 | 0.005 | 0.006 | 0.005 | 0.004 |
| 3 | 0.008 | 0.008 | 0.007 | 0.006 |
| 4 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.007 |
| 5 | 0.009 | 0.009 | 0.010 | 0.010 |
| 6 | 0.011 | 0.010 | 0.011 | 0.012 |
| *24 | 0.019 | 0.017 | 0.014 | 0.012 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

ตารางที่ ค.9 การปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ของวัสดุประกอบนาโน
โคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

STPP

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|--|--|
| 1 | 0.008 | 0.008 |
| 2 | 0.009 | 0.008 |
| 3 | 0.011 | 0.012 |
| 4 | 0.013 | 0.014 |
| 5 | 0.019 | 0.018 |
| 6 | 0.022 | 0.026 |
| *24 | 0.034 | 0.035 |

SDS

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) (mg) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) (mg) |
|-------------------|---|---|
| 1 | 0.007 | 0.008 |
| 2 | 0.007 | 0.006 |
| 3 | 0.008 | 0.009 |
| 4 | 0.009 | 0.010 |
| 5 | 0.010 | 0.012 |
| 6 | 0.013 | 0.013 |
| *24 | 0.020 | 0.021 |

*คือชั่วโมงที่ 7-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/0.05 g) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (mg) | ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (%) |
|------------------------------|--|----------------------------------|--|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 0.213 | 0.104 | 48.8 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.257 | 0.112 | 43.6 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.353 | 0.117 | 33.1 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 0.172 | 0.068 | 39.5 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.252 | 0.074 | 29.4 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.330 | 0.076 | 23.0 |

ตารางที่ ค.11 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/0.05 g) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (mg) | ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (%) |
|------------------------------|--|----------------------------------|--|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 0.213 | 0.180 | 84.5 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.257 | 0.190 | 73.9 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.353 | 0.196 | 55.5 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 0.172 | 0.089 | 51.7 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.252 | 0.095 | 37.7 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.330 | 0.102 | 30.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมินในสารละลายจำลองสภาวะในลำไส้ของวัสดุประกอบนาโนโคโตซาน/เคอร์คูมินที่ใช้ปริมาณเคอร์คูมินที่ต่างกัน

| ชื่อตัวอย่าง | ปริมาณเคอร์คูมินที่อยู่ในวัสดุประกอบ (mg/0.05 g) | ปริมาณการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (mg) | ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยเคอร์คูมิน (%) |
|------------------------------|--|----------------------------------|--|
| CS-CUR:STPP 1:1 | 0.213 | 0.109 | 51.2 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.257 | 0.116 | 45.1 |
| CS-CUR:STPP 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.353 | 0.121 | 34.3 |
| CS-CUR:SDS 1:1 | 0.172 | 0.067 | 39.0 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 2 เท่า) | 0.252 | 0.074 | 29.4 |
| CS-CUR:SDS 1:1 (CUR 3 เท่า) | 0.330 | 0.079 | 23.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้