

การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียม  
ไตรพอลิฟอสเฟตบรรจุไซลิทอลสำหรับการเคลือบบนผิวผ้า

PREPARATION COMPOSITE OF SODIUM  
TRIPOLYPHOSPHATE CROSSLINKED CHITOSAN  
PARTICLES LOADING WITH XYLITOL  
FOR TEXTILE COATING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION COMPOSITE OF SODIUM  
TRIPOLYPHOSPHATE CROSSLINKED CHITOSAN  
PARTICLES LOADING WITH XYLITOL  
FOR TEXTILE COATING



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2018

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียม  
ไตรพอลิฟอสเฟตบรรจุไซลิทอลสำหรับการเคลือบบนผ้า  
Preparation Composite of Sodium Tripolyphosphate  
Crosslinked Chitosan Particles Loading with Xylitol for  
Textile Coating

ชื่อนักศึกษา

นางสาวรณารณ์ อารณ์ รหัสนักศึกษา 58050481

นางสาวปิยพัชร์ จิวพิภพวงศ์ รหัสนักศึกษา 58050504

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ กรรมการ	
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรฟอสเฟตบรรจุโซลิตอลสำหรับการเคลือบบนผิวผ้า
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนาภรณ์ อวารณ์ รหัสนักศึกษา 58050481 นางสาวปิยพัชร์ จิวพิภพพงศ์ รหัสนักศึกษา 58050504
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอล และเคลือบพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอล โดยมีรูปแบบการเตรียม 2 รูปแบบ ได้แก่ วิธีขั้นตอนเดียวและวิธีดูดซับ โดยในวิธีขั้นตอนเดียวทำได้โดยผสมสารละลายไคโตซานกับโซลิตอล แล้วนำไปหยดลงในสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟต (TPP) เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกพร้อมบรรจุโซลิตอลเกิดเป็นวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอล (S-[Chi/Xy]-TPP) ส่วนในวิธีดูดซับทำได้โดยผสมสารละลายไคโตซานกับสารละลาย TPP เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นอนุภาคไคโตซานที่มีโครงสร้างร่างแห จากนั้นนำอนุภาคที่ได้ไปดูดซับสารละลายโซลิตอลเกิดเป็นวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอล (Ad-[Chi-TPP]/Xy) ในการเตรียมทั้งสองวิธีมีการปรับเปลี่ยนปริมาณโซลิตอลเป็น 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 g และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 และ 1:2 เมื่อนำอนุภาควัสดุประกอบและผ้าที่ผ่านการเคลือบวัสดุประกอบไปตรวจวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างที่เตรียมจากวิธีขั้นตอนเดียวจะมีผลึกโซลิตอลที่มีขนาดเล็กแทรกตัวในโครงสร้างร่างแหของไคโตซาน ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมจากวิธีการดูดซับมีการแพร่ของโซลิตอลเข้าไปในโครงสร้างร่างแหของไคโตซานที่ไม่สม่ำเสมอ และมีผลึกโซลิตอลบางส่วนอยู่ภายนอก ปริมาณโซลิตอลในสารตัวอย่างที่เตรียมจากทั้งสองวิธีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโซลิตอลที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง แต่เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเชื่อมโยง TPP จาก 1:1 เป็น 1:2 พบว่าโครงสร้างแหไคโตซานจะมีการเชื่อมโยงมากขึ้น เป็นผลให้ผลึกโซลิตอลที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างแหไคโตซานมีขนาดเล็กลงและ/หรือมีปริมาณโซลิตอลที่ลดลง เมื่อนำผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอลไปศึกษาสมบัติการดูดความร้อนจากการละลายของโซลิตอล ซึ่งจะส่งผลให้ผ้ามีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะแวดล้อม ผลการทดสอบพบว่าผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบที่มีปริมาณโซลิตอลมากกว่าจะดูดความร้อนได้มากกว่า ผ้าจึงคง

อุณหภูมิต่ำได้นานกว่า ผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบจึงสามารถคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำลงได้ยาวนานถึง 120 นาที

คำสำคัญ : การเชื่อมโยงแบบไอออนิก ไคโตซาน โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ไซลิตอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



chitosan:TPP ratio was changed from 1:1 to 1:2, resulting in more crosslinking in the chitosan network. As a result, the smaller xylitol crystals and/or the lower amount of xylitol embedded in the chitosan network were obtained. The heat absorption property of fabric coated with the xylitol loaded chitosan composite was studied. The dissolution of xylitol in the composites resulted in the lowering of fabric temperature from the surrounding temperature. When the amount of xylitol loading increased, the lowering of fabric temperature would be longer.

**Keyword :** Chitosan , Sodium tripolyphosphate , Xylitol , Ionic crosslinking



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจากผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความช่วยเหลือดูแลอย่างใกล้ชิด ตลอดจนให้คำแนะนำอย่างดียิ่งในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำโครงการพิเศษ ตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้ ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี และผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ได้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารตีวิทยุเก่า อาคารจุฬารามณ์ 1 และศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูล ให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ได้รับการศึกษา คอยอบรมสั่งสอนเลี้ยงดูเป็นอย่างดี ตลอดจนให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจ ที่เป็นแรงผลักดันในการจัดทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ได้กล่าวถึง ผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ธนาภรณ์ อวารณ์

ปิยพัชร จิวพิภพพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ไคโตซาน.....	4
2.2 โซเดียมไตรฟอสเฟต.....	9
2.3 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก.....	10
2.4 Sugar alcohols.....	11
2.5 วัสดุเปลี่ยนวฏภาค.....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>19</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.3 การดำเนินการทดลอง.....	20
3.3.1 การเตรียมสารตั้งต้น.....	20
3.3.2 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโดยวิธีชั้นตอนเดียว.....	20
3.3.3 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโดยวิธีดูดซับ.....	22
3.3.4 การเตรียมผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ F/S-[Chi/Xy]-TPP โดยวิธีชั้นตอนเดียว.....	24
3.3.5 การเตรียมผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi/Xy]-TPP	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบโคโตะซานเชื่อมโยง แบบไอออนิกบรรจุซิลิโกล.....	28
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>29</b>
4.1 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกล.....	29
4.1.1 แผนภาพการก่อตัวของอนุภาควัสดุประกอบโคโตะซาน บรรจุซิลิโกล.....	29
4.1.2 โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบ โคโตะซานบรรจุซิลิโกล.....	30
4.1.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกล.....	34
4.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	36
4.2 การเตรียมวัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกลเคลือบลงบนผ้า.....	37
4.2.1 แผนภาพการเตรียมวัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกล เคลือบลงบนผ้า.....	37
4.2.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกล เคลือบลงบนผ้า.....	38
4.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM) โดยแสดงพื้นผิวภายนอกของผ้าที่เคลือบด้วย วัสดุประกอบโคโตะซานบรรจุซิลิโกล.....	40
4.2.4 สมบัติการขบน้ำของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตะซาน บรรจุซิลิโกล.....	42
4.2.5 สมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ โคโตะซานบรรจุซิลิโกล.....	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>54</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของโซเดียมไตรฟอสเฟต.....	9
2.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของผงผลึกโซลิตอล.....	12
3.1 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ.....	22
3.2 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบบรรจุโซลิตอลบนผ้า.....	24
4.1 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของสารตั้งต้นและอนุภาคโคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP.....	31
4.2 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุโซลิตอลที่เตรียมด้วย วิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2.....	33
4.3 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว ( $\Delta H_m$ ) ของอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานบรรจุโซลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2.....	34
4.4 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว ( $\Delta H_m$ ) ของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุโซลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เคลือบลงบนผ้า.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสและไคติน.....	4
2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	5
2.3 โครงสร้างโซเดียมไตรพอสเฟต.....	9
2.4 ลักษณะโครงสร้างการเชื่อมโยงกันแบบไอออนิกของไคโตซานด้วยไตรพอสเฟต.....	10
2.5 การเตรียมอนุภาคไคโตซานด้วยเทคนิคการเกิดเจลแบบไอออนิก.....	11
2.6 โครงสร้างของไฮลิทอล.....	12
2.7 แสดงการละลายของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค.....	14
3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ S-[Chi/Xy]-TPP โดยวิธีขั้นตอนเดียว.....	21
3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ Ad-[Chi-TPP]/Xy โดยวิธีดูดซับ.....	23
3.3 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ F/S-[Chi/Xy]-TPP บนผ้า โดยวิธีขั้นตอนเดียว.....	25
3.4 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/Xy บนผ้า โดยวิธีดูดซับ.....	27
4.1 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลด้วย วิธีการขั้นตอนเดียว เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP.....	29
4.2 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลด้วย วิธีการดูดซับ เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ Ad-[Chi-TPP]/Xy.....	29
4.3 สเปกตรัม FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบ.....	30
4.4 สเปกตรัม FT-IR ของไฮลิทอล อนุภาค [Chi-TPP] วัสดุประกอบไคโตซาน บรรจุไฮลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2.....	32
4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงพื้นผิวภายนอกของอนุภาค [Chi-TPP] เริ่มต้นและวัสดุประกอบ ไคโตซานบรรจุไฮลิทอล (A) [Chi-TPP] (B) [Chi-2TPP] (C) S-[Chi-Xy]-TPP และ (D) Ad-[Chi-TPP]-Xy.....	36
4.6 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลด้วย วิธีขั้นตอนเดียวเคลือบลงบนผ้า.....	37
4.7 โมเดลแสดงการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลด้วยวิธีการ รูปแบบที่ 2 เคลือบลงบนผ้า.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยแสดงพื้นผิวภายนอกของวัสดุประกอบที่เคลือบลงบนผ้าของ (A) ผ้าที่ไม่ได้เคลือบวัสดุประกอบ (B) ผ้าที่เคลือบอนุภาค [Chi-TPP] (C) ผ้าที่เคลือบด้วยวิธีขั้นตอนเดียว และ (D) ผ้าที่เคลือบด้วยวิธีดูดซับ.....	41
4.9 การทดสอบสมบัติความชอบน้ำของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโดย (A) ผ้าที่ไม่ได้เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล (B) ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] (C) ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi/1.5Xy]-TPP และ (D) ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi/3.5Xy]-TPP.....	42
4.10 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล ที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 1 ประกอบด้วย ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/1.5Xy]-TPP และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.5Xy]-TPP เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ.....	43
4.11 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของผ้าเมื่อเริ่มหยดน้ำบนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1.....	43
4.12 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.10 ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	44
4.13 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล ที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 2 ประกอบด้วย ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ.....	46
4.14 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของผ้าเมื่อเริ่มหยดน้ำบนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2.....	46
4.15 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.13 ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	47
4.16 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าก่อนการหยดน้ำ ประกอบด้วย ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบ [Chi-2TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.0Xy]-TPP และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.0Xy]-2TPP ที่เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 1 (วิธีขั้นตอนเดียว).....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.16 ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	50
4.18 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าก่อนการหยดน้ำ ประกอบด้วย ผ้าที่ไม่ผ่านการ เคลือบผิว ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบ [Chi-2TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-2TPP]/3.0Xy ที่ เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 2 (วิธีการดูดซับ).....	51
4.19 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.16 ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/ สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Chi	ไคโตซาน
TPP	โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟส
Xy	ไซลิทอล
PCM	วัสดุเปลี่ยนวัฏภาค
S	วิธีขั้นตอนเดียว
Ad	วิธีดูดซับ
F	ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ
FT-IR	เครื่องฟูเรียร์ทรานسفอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
DSC	เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
g	กรัม
mL	มิลลิลิตร
cm <sup>3</sup>	ลูกบาศก์เซนติเมตร
μl	ไมโครลิตร
°C	องศาเซลเซียส
kJ	กิโลจูล
T <sub>m</sub>	อุณหภูมิการหลอมเหลว
ΔH <sub>m</sub>	ความร้อนแฝงในการหลอมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

วัสดุเปลี่ยนวัฏภาค (Phase change materials ; PCM) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานความร้อนหรือปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนวัฏภาคของสาร PCM เช่น ความร้อนที่ปล่อยออกมาในระหว่างการก่อผลึกของสาร PCM และความร้อนที่ดูดเข้าไปในระหว่างการหลอมเหลวผลึกของสาร PCM เป็นต้น ซึ่งสาร PCM มีหลายประเภท ได้แก่ สารกลุ่มพาราฟิน (Paraffins) และสารกลุ่มที่ไม่ใช่พาราฟิน (Non-parafin) [1] ในปัจจุบันมีการศึกษาพัฒนาการประยุกต์ใช้ PCM ในอุตสาหกรรมและงานด้านต่างๆเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารที่สามารถควบคุมพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนได้ จึงช่วยลดการใช้พลังงาน เช่น การประยุกต์ใช้ในโครงสร้างผนังอาคาร การประยุกต์ใช้ในพวงวัสดุสิ่งทอ เป็นต้น [2,3] วัสดุ PCM ที่นิยมใช้เป็นสารกลุ่มพาราฟิน เนื่องจากสารกลุ่มนี้มีค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ ไม่เกิดพฤติกรรมการเย็นตัวยิ่งยวด (Super cooling) อย่างไรก็ตามมีกลุ่มวัสดุเปลี่ยนสถานะอีกประเภทหนึ่งที่แสดงพฤติกรรมในการเปลี่ยนสถานะในรูปแบบการละลาย ได้แก่ วัสดุเปลี่ยนสถานะจำพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ (Sugar alcohols) ซึ่งสารกลุ่มนี้มีความสามารถในการละลายน้ำสูง เมื่อน้ำตาลแอลกอฮอล์ละลายน้ำจะเกิดการดูดซับพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้ามาใช้ในการละลาย ส่งผลให้บริเวณข้างเคียงมีอุณหภูมิลดต่ำลง [4,5]

ในโครงการพิเศษนี้เลือกใช้ไซลิทอล ซึ่งเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะจำพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ มีความสามารถในการละลายน้ำสูง หากนำไซลิทอลมาประยุกต์ใช้กับเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม สำหรับการสวมใส่ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อน เมื่อร่างกายของผู้สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสารไซลิทอลสัมผัสกับอากาศร้อน ร่างกายจะขับเหงื่อออกมา เหงื่อจะถูกดูดซับด้วยเส้นใยเสื้อผ้าและก่อให้เกิดการละลายของไซลิทอล ส่งผลให้ผู้สวมใส่รู้สึกเย็นสบายขึ้น ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้ จึงสนใจที่จะศึกษาพัฒนากระบวนการเคลือบไซลิทอลลงบนเส้นใยสิ่งทอ โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำเพื่อใช้เป็นสารยึดติดและกักเก็บไซลิทอลบนเส้นใยสิ่งทอ ได้แก่ โคอโตซาน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย โดยโคโตซานจะถูกเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรฟอสเฟตให้เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหกักเก็บไซลิทอลให้มีความคงตัวและสูญหายในระหว่างการละลายได้ยากขึ้น

เสื้อผ้าสิ่งทอที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรฟอสเฟตบรรจุไซลิทอลจะช่วยทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย ไม่ร้อนเกินไป แม้จะอยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและทำกิจกรรมระหว่างวัน เช่น การออกกำลังกาย เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดพลังงานจากเครื่องปรับอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงแบบไอออนิกด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตบรรจุไซลิทอล
2. เพื่อศึกษาผลของสถานะในการเตรียมต่อโครงสร้างและสมบัติของวัสดุประกอบ S-[Chi-TPP]/Xy และ Ad-[Chi/xy]-TPP

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงแบบไอออนิกบรรจุไซลิทอล มีปัจจัยศึกษา ดังนี้

- วิธีการเตรียมโคโตซานที่ห่อหุ้มไซลิทอล ได้แก่

1. วิธีชั้นตอนเดียว โดยการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) พร้อมบรรจุไซลิทอล
2. วิธีดูดซับ โดยการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) แล้วนำมาดูดซับไซลิทอล

- อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ได้แก่ 1 : 1 และ 1 : 2

- ปริมาณไซลิทอล ได้แก่ 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 g (อัตราส่วนโดยน้ำหนักไซลิทอลต่อปริมาตรน้ำ ได้แก่ 1.5 : 5 , 2 : 5 , 2.5 : 5 , 3 : 5 และ 3.5 : 5 g/mL)

2. ศึกษาการเคลือบวัสดุประกอบลงบนเส้นใยหรือผ้าฝ้าย

- วิธีการเตรียมโคโตซานที่ห่อหุ้มไซลิทอล ได้แก่

1. วิธีชั้นตอนเดียว โดยการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) พร้อมบรรจุไซลิทอลลงบนผ้า
2. วิธีดูดซับ โดยการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) ลงบนผ้า แล้วนำมาดูดซับไซลิทอล

- อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ได้แก่ 1 : 1 และ 1 : 2

- ปริมาณไซลิทอล ได้แก่ 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 g (อัตราส่วนโดยน้ำหนักไซลิทอลต่อปริมาตรน้ำ ได้แก่ 1.5 : 5 , 2 : 5 , 2.5 : 5 , 3 : 5 และ 3.5 : 5 g/mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจวิเคราะห์อนุภาคไคโตซานที่เตรียมได้ ด้วยเครื่องมือและวิธีการ ดังนี้
- เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer; FT-IR)
  - เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter; DSC)
  - ตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)
  - เครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle analyzer)
  - ศึกษาพฤติกรรมการดูดความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานที่เชื่อมโยงแบบไอออนิกและบรรจุด้วยไซลิทอลได้ด้วยวิธีการที่เหมาะสม ง่าย มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. วัสดุประกอบไคโตซานที่เชื่อมโยงแบบไอออนิกและบรรจุด้วยไซลิทอลสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเสื้อผ้าที่ให้ความเย็นได้

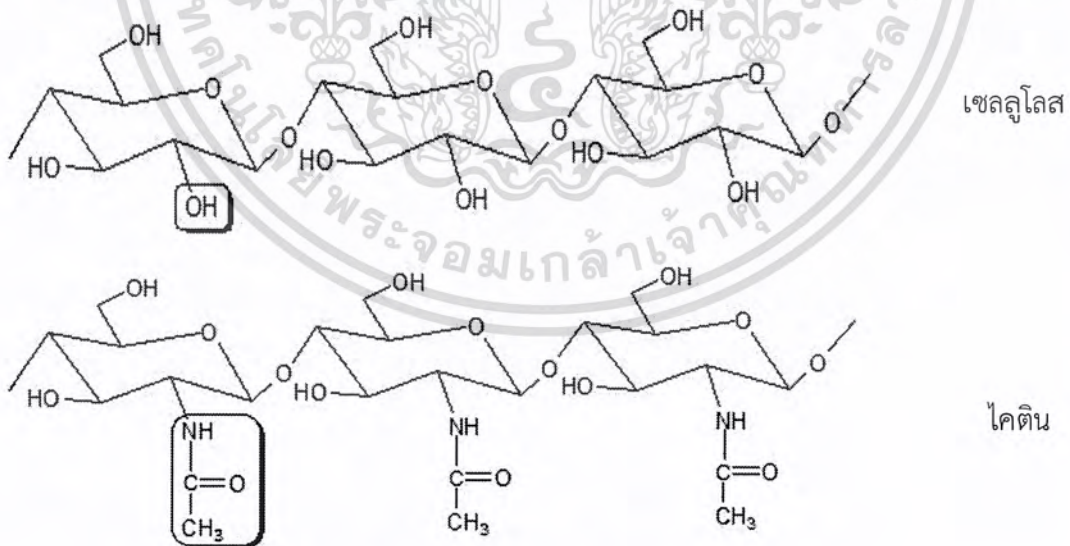
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

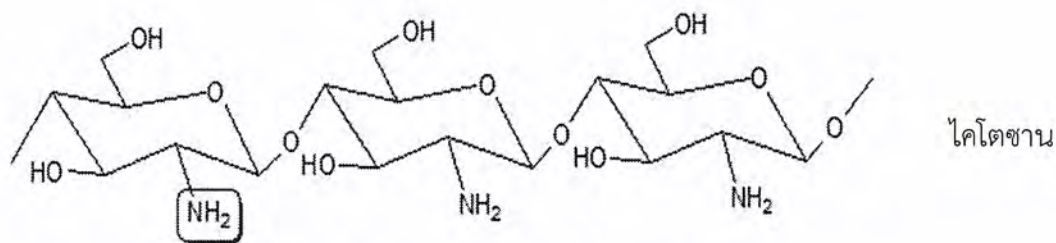
### 2.1 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมักจะมีลักษณะเป็นผงสามารถสกัดได้จากสิ่งมีชีวิตที่มีเปลือกแข็งหรือผนังแข็งห่อหุ้ม เช่น เปลือกกุ้ง กระจงคองปู ปลาหมึก และแมลง รวมทั้งผนังเซลล์ของรา ยีสต์ และสาหร่าย เป็นต้น มีลักษณะเฉพาะที่โดดเด่นเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ทำให้ปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยไคโตซานเกิดจาก N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ที่ประกอบด้วย D-glucosamine มากกว่า 60% จัดเป็นสารอนุพันธ์ของไคติน ที่มีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายเซลลูโลสแต่แตกต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง โดยเปลี่ยนจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่อะเซตามิโน (-NHCOCH<sub>3</sub>) [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อไคตินทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้นจะเกิดการกำจัดหมู่อะซิetyl (Acetyl Group) ออกไป ทำให้โครงสร้างของไคตินเปลี่ยนแปลงไปบางส่วน โดยเปลี่ยนจากโครงสร้างที่เป็น N-Acetylglucosamine ให้อยู่ในรูปของ Glucosamine โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนตำแหน่งที่สองจากหมู่อะเซตามิโนเป็นหมู่เอมีนหรือหมู่เอมีน (-NH<sub>2</sub>) เกิดเป็นไคโตซาน [7] ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Deacetylation ทำให้มีโครงสร้างที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งไคโตซานยังสามารถขึ้นรูปเป็นเจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์ หรือสารเคลือบได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสและไคติน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [8]

### 2.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน

ความสามารถในการละลาย (Solubility) [7,9,10] โดยทั่วไปแล้วไคโตซานไม่สามารถละลายได้ในเบส น้ำ หรือตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติลบนโมเลกุลของไคติน ทำให้มีจำนวนหมู่เอมีโนเพิ่มขึ้น โดยหมู่เอมีโนนี้จะแสดงสมบัติในการละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เนื่องจากหมู่เอมีโนสามารถถูกโปรโตเนตจากสารละลายกรด ทำให้เกิดเป็นพอลิแคทไอออนที่มีประจุบวก ( $\text{RNH}_3^+$ ) และสามารถจับกับสารที่มีประจุลบได้ โดยไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดเบนโซอิก กรดออกซาลิก กรดซิตริก กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น กรดอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน คือ กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ในสารละลายหมู่เอมีโนหรือหมู่เอมีนของไคโตซานสามารถแตกตัวได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pKa) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของ พอลิเมอร์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของไคโตซานจะมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.8

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสามารถบ่งบอกความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยเฉลี่ยไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ประมาณ  $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$  g/mol เมื่อไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวและเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายจะมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลจึงมีผลต่อสมบัติของไคโตซาน การนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ควรพิจารณาทั้งน้ำหนักโมเลกุลและเปอร์เซ็นต์ Deacetylation ของไคโตซานด้วย [9]

ความหนืด (Viscosity) ของไคโตซาน [6,9] จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน อุณหภูมิ และค่าพีเอช โดยค่าพีเอชจะส่งผลต่อความหนืดของสารละลายไคโตซานที่แตกต่างกันที่ขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์จำพวกพอลิออล (Polyol) ที่มีสภาพเป็นกรด เนื่องจากไคโตซานมักจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น เมื่อใช้ กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย จะทำให้มีค่าพีเอชลดลง และค่าความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลาย จะทำให้มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นและค่าความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation) ของไคโตซาน [6,11] เป็นสมบัติที่สำคัญของไคโตซานที่สามารถบ่งชี้ความเป็นไคโตซานหรือไคติน เนื่องจากไคโตซานและไคตินเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดจาก 2 มอนอเมอร์ ได้แก่ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine เมื่ออัตราส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์ D-Glucosamine มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แสดงว่ามีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูง ทำให้โพลีเมอร์นั้นแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน เนื่องจากการกำจัดหมู่อะซิติลเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไคตินเป็นไคโตซาน โดยแตกต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง

ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability) ของไคโตซาน [10,11] โดยไคโตซานเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่เอมีโนจำนวนมากจึงสามารถเป็นได้ทั้งตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอนที่ดี โดยหมู่เอมีโนสามารถแตกตัวเป็นประจุบวก จึงเข้าทำปฏิกิริยากับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และโพลีเมอร์ต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ดี เนื่องจากโลหะที่เป็นประจุบวกจะเข้าไปจับกับอิเล็กตรอนของไนโตรเจนที่อยู่ในหมู่เอมีโนของไคโตซาน นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่เอมีโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะในน้ำได้ดีกว่าหมู่อะซิติลในไคติน ทำให้ไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูง จะสามารถจับกับไอออนของโลหะได้สูง ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

การสลายตัว (Degradation) ของไคโตซาน [10] ไคโตซานมีลักษณะการสลายตัวเหมือนพอลิแซ็กคาไรด์ทั่วไป การตัวสลายจะทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า มอนอเมอร์ ซึ่งในไคโตซาน คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ สามารถแบ่งแยกการสลายตัวของไคโตซาน ได้แก่

- การสลายตัวโดยกรด (Acid-hydrolysis) และด่าง (Alkaline degradation) เป็นการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดของกรด และเวลา เป็นต้น ส่วนการสลายตัวโดยด่าง จะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล เรียกว่า Peeling reaction

- การสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal degradation) เนื่องจากความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่สภาวะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature ; Tg) ลดลง ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 °C ความสามารถในการละลายจะลดลง ไคโตซานจะเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลา อีกทั้งไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 การประยุกต์ใช้งานของไคโตซาน

ด้านอุตสาหกรรมอาหาร [7,8] ไคโตซานมีสมบัติในการต้านทานจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือ ไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นๆ ออกมานอกเซลล์จนจุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตได้ จึงช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้ จากสมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร เช่น ใช้ในการเก็บรักษาเนื้อปลา ใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้นหนืด รวมถึงใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสด หรือผลิตในรูปแบบแผ่นฟิล์มสำหรับบรรจุอาหารจะช่วยให้สามารถยืดอายุอาหารได้

ด้านอุตสาหกรรมกำจัดของเสีย [7,8] โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมีสารแขวนลอยสูง ซึ่งไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี โดยสามารถช่วยตรึงเอนไซม์ในการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ รวมทั้งสามารถจับของแข็งแขวนลอยได้ดี และสามารถจับกับอะตอมของโลหะหนักได้ เช่น พรอท ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม ซึ่งโปรตีนที่ได้สามารถนำมาแยกไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักและจับกับสารจำพวกสีย้อม (Dye) เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ [9] ไคโตซานจัดเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์เป็นพิกซ์ จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เนื่องจากประจุบวกของหมู่-แอมโมเนียม ( $\text{NH}_3^+$ ) ที่อยู่บนโครงสร้างของไคโตซาน จะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผม ที่ประกอบด้วยสาร Mucopolysaccharides โปรตีน และไขมัน ที่มีประจุลบได้ดี โดย ไคโตซานที่เคลือบอยู่นี้จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆพร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้ จึงสามารถช่วยรักษาความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม นอกเหนือจากสมบัติในการช่วยยับยั้งแบคทีเรียและลดอาการระคายเคืองแล้ว อัตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพอลิแซคคาไรด์ และโปรตีนของเส้นผม ยังมีส่วนในการเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผม ทำให้ในปัจจุบันนี้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์มักมีส่วนผสมของไคโตซาน เช่น โลชั่น-บำรุงผิว แชมพู ครีมนวดผม แป้งแต่งหน้า และมอยส์เจอร์ไรเซอร์ เป็นต้น

ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ [12] การนำไคโตซานมาใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มักจะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ด้านเส้นใย กระดาษ เช่น ใช้ทำภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ทำฟิล์มถนอมอาหารที่สามารถรับประทานได้ ใช้ในการผลิตผ้าที่ย้อมสีติดทนนาน ผ้าปิดแผลไหมละลาย และสามารถใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษที่มีสมบัติทางกายภาพสูง ทนทานต่อการฉีกขาด หรือผลิตกระดาษที่ซับหมึกได้ดีเพื่อการพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูง

ด้านอุตสาหกรรมการเกษตร [7,10] ไคโตซานมีสมบัติเป็นสารก่อฟิล์มและเจล ใสไม่มีสี ไม่มีเอกลิ่น สามารถนำมาฉีดพ่นเคลือบผิวเพื่อรักษาอายุของผลผลิตทางการเกษตร และไคโตซานยังมีสมบัติไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

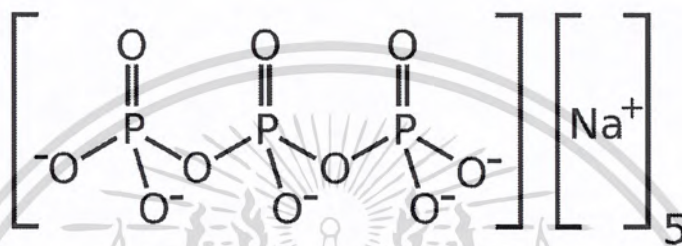
ยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดที่ก่อโรคแก่พืชได้ดี จึงได้มีการพัฒนาการนำไปใช้ทางเกษตรกรรม อย่างมากมาย เช่น เคลือบเมล็ดพันธุ์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหรือยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย เป็นต้น โดยไคโตซานเป็นสารปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟ และ Non-phytotoxic ต่อพืช นอกจากนี้ยังพบว่า เป็นสารเคลือบป้องกันการชูดขีด หลุดร่อนจากสารเคมีที่ดีเทียบเท่ากับสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบัน โดยไคโตซานได้ถูกทดลองใช้เป็นสารเคลือบเพื่อป้องกันการชูดขีดของเมล็ดพันธุ์หัวหอม พบว่าการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบป้องกันการชูดขีด สามารถช่วยแก้ไขปัญหาคาการสูญเสียสารเคมีเคลือบเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการป้องกันโรคและแมลง ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์สูงขึ้น ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยแผ่นฟิล์มที่เคลือบบนเมล็ดพันธุ์จะช่วยป้องกันความเสียหายของเมล็ดจากสารเคมีภายนอกและช่วยลดการเกิดฝุ่นในระยะเวลาการเก็บ การหว่าน

ด้านการแพทย์และสุขภาพ [8,9,12] ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเซลล์และเนื้อเยื่อของร่างกาย สามารถรับประทานได้ และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงไม่เป็นพิษต่อร่างกาย สามารถนำมาใช้ในทางการแพทย์ได้หลายรูปแบบเช่น เม็ดเจล แผ่นฟิล์มพองน้ำ เพลเลต แคปซูล และยาเม็ด เป็นต้น โดยมีรายงานวิจัยพบว่าไคโตซานมีสมบัติสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity) เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant activity) มีสมบัติเป็นสารก่อฟิล์ม (Film forming agent) เมื่อเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะบางใส สามารถนำมาใช้ปิดรักษาบาดแผลผ่าตัด แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก รวมทั้งยังช่วยป้องกันการติดเชื้อของแผล มีการกระตุ้นให้แผลเกิดการสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งมีสมบัติที่พิเศษกว่าพลาสติกปิดแผลทั่วไป สามารถลดอาการเจ็บปวดของผู้ป่วยลงได้และช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์เทียมจะช่วยบรรเทาความทุกข์ทรมานให้กับผู้ถูกไฟไหม้ น้ำร้อนลวก หรือพวกประสบอุบัติเหตุที่มีแผลลึกๆได้ สามารถใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เคลือบยาเม็ดแคปซูลโดยใช้เป็นสารตัวกลางที่จะปลดปล่อยยาออกมาอย่างช้าๆ นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถช่วยยับยั้งการแข็งตัวของเลือดและปลดปล่อย Lipoprotein-lipase โดยนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการฟอกเลือดเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium Tripolyphosphate : TPP)

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตหรือเพนตะโซเดียมไตรฟอสเฟต (Penta sodiumtriphosphate) และโซเดียมไตรฟอสเฟต (Sodium triphosphate) เป็นเกลือโซเดียมของกรดไตรฟอสฟอริก โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดฟอสฟอริกที่มีโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะมีลักษณะเป็นผงหรือเม็ดสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่เป็นพิษ และสามารถก่อตัวเป็นเจลได้อย่างรวดเร็วด้วยอันตรกิริยาไอออนิกกับกลุ่มอะมิโนที่มีประจุบวก สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [13]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [13,14]

สมบัติ	โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต
สูตรโมเลกุล	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
น้ำหนักโมเลกุล	367.864 g/mol
ความหนาแน่น	2.52 g/cm <sup>3</sup>
ลักษณะ	ผงสีขาว
จุดหลอมเหลว	622 °C
ความสามารถในการละลายน้ำ	14.5 g/100 ml ที่ 25°C

### 2.2.1 การประยุกต์ใช้งานของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [15]

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตส่วนใหญ่มักใช้กับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั้งในอุตสาหกรรมและบ้านเรือน เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารสัตว์ โลหะ สี เยื่อกระดาษ และเซรามิกส์ เป็นต้น

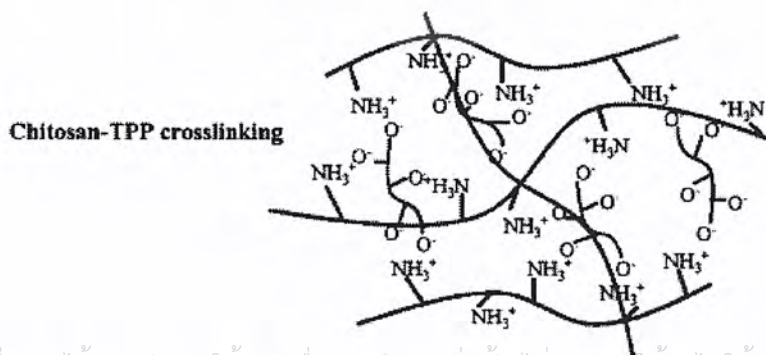
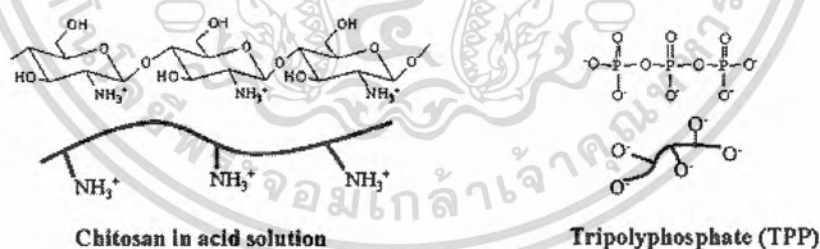
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด พบว่าโซเดียมไตรฟอสเฟตที่มีคุณสมบัติเป็นสารบัพเฟอร์ สามารถใช้ลดความกระด้างของน้ำทำให้การซักล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถจับคราบสกปรกและกันไม่ให้สิ่งสกปรกย้อนกลับมาติดพื้นผิวอีก

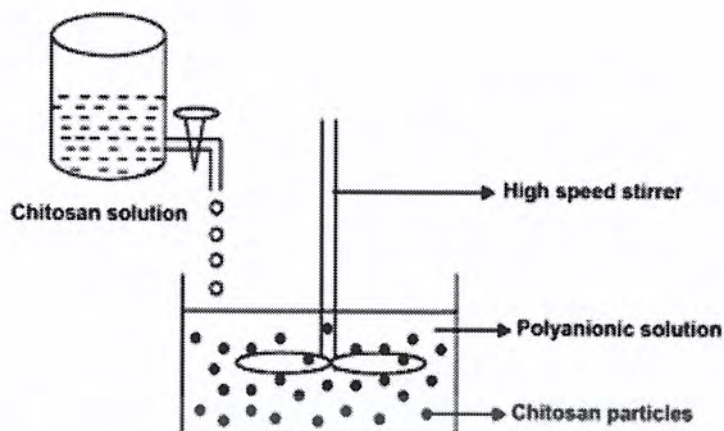
- ด้านอุตสาหกรรมอาหาร เป็นการนำมาช่วยในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์และอาหารทะเล ช่วยป้องกันโปรตีนเสื่อมคุณภาพ รักษาสีส้มของผลิตภัณฑ์ ลดการเกิดเจลในน้ำผลไม้หรือเนื้อแฮมกระป๋อง และลดการเหี่ยวยุบในอาหารจำพวกไส้กรอก

## 2.3 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink) [16,17]

การเชื่อมโยงแบบไอออนิก เป็นเทคนิคที่อาศัยการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไอออนิก ที่เกิดจากไอออนบวก (Cation) และไอออนลบ (Anion) เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ใกล้กันด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่แข็งแรง จึงมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากประจุบวกไปประจุลบ ทำให้ไอออนทั้งสองสามารถยึดเหนี่ยวกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ เช่น ไคโตซานมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ มีหมู่อะมิโนที่แตกตัวเป็นประจุบวก และเมื่อใช้ไตรฟอสเฟตที่แตกตัวเป็นประจุลบ ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) จึงทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไอออนิกที่หมู่อะมิโนของไคโตซาน เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเจล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และสามารถเตรียมได้ด้วยการหยดสารละลายไคโตซานลงในสารละลายไตรฟอสเฟต ที่มีการปั่นกวนสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่อเวลาผ่านไปหยดของสารละลายไคโตซานจะแข็งตัวขึ้นเนื่องจากมีระดับการเชื่อมโยงที่มากขึ้น อนุภาคที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็ก เนื่องจากเกิดจากการเชื่อมโยงกันของโมเลกุลไคโตซาน อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้องและใช้เครื่องมือที่ไม่ได้ยุ่งยาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างการเชื่อมโยงกันแบบไอออนิกของไคโตซานด้วยไตรฟอสเฟต. [18]



รูปที่ 2.5 การเตรียมอนุภาคไคโตซานด้วยเทคนิคการเกิดเจลแบบไอออนิก [16]

## 2.4 Sugar alcohols

น้ำตาลแอลกอฮอล์เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่แสดงสมบัติเป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) ที่ผลิตได้จากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดย Carbonyl oxygen ถูกรีดิวซ์ได้เป็น Polyhydroxy alcohol จึงทำให้การเรียกชื่อน้ำตาลแอลกอฮอล์จะแทนที่ "ose" ด้วย "-itol" เช่น เปลี่ยนโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส (Glucose) เป็นซอร์บิทอล (Sorbitol) เป็นต้น [19,20]

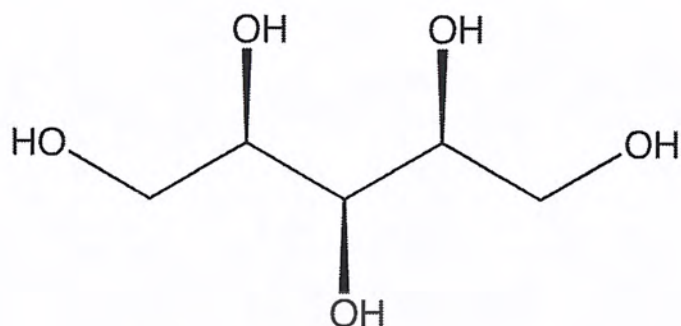
### 2.4.1 ไซลิตอล (Xylitol)

ไซลิตอลจัดเป็นสารให้ความหวานชนิดหนึ่ง เป็นสารจำพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ ที่มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_5H_{12}O_5$  มีน้ำหนักโมเลกุล 152.146 g/mol ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นสารที่มีความหนาแน่น 1.52 g/cm<sup>3</sup> มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวใส ที่สามารถละลายน้ำได้ดี [21] โดยในธรรมชาติพบได้ในพืช ผัก ผลไม้หลากหลายชนิด เช่น สตอเบอร์รี่ แครอท ข้าวโพด ฟาง รำข้าว และผลไม้เปลือกแข็งจำพวกถั่วต่างๆ เป็นต้น ซึ่งไซลิตอลสามารถให้ความหวานทดแทนน้ำตาลได้และยังให้พลังงานต่อร่างกายน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสถึง 40% กล่าวคือ ไซลิตอล 1 กรัม จะให้พลังงาน 2.43 กิโลแคลอรี ในขณะที่น้ำตาล 1 กรัมจะให้พลังงาน 3.87 กิโลแคลอรี ดังนั้นไซลิตอลจึงไม่เหมือนน้ำตาลตัวอื่นๆ สามารถดูดซึมผ่านลำไส้เล็กได้น้อย มีคุณสมบัติให้ความรู้สึกเย็นขณะรับประทาน เป็นสารที่แบคทีเรีย ไม่สามารถย่อยสลายให้เกิดสภาวะกรดในช่องปากได้ จึงไม่เป็นเหตุให้เกิดฟันผุ ใ้รับการอนุมัติจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (FDA) ตั้งแต่ปี 1960 ว่ามีความปลอดภัยสำหรับเด็ก สามารถบริโภคได้ 30 กรัม โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่ถ้าบริโภคมกกว่า 30 กรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง จะทำให้ทองเสียได้ซึ่งอาจเพราะแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถเผาผลาญไซลิทอลในปริมาณมากได้ [22]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไซลิทอล [21]

ไซลิทอลสามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวในช่วงอุณหภูมิจาก 87-102 °C โดยมีพีคความจุความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 96 °C เมื่อไซลิทอลมีการตกผลึกและการละลายเกิดขึ้นทำให้เกิดผลึกที่ไม่เสถียร โดยผลึกไซลิทอลที่อยู่ในรูป Metastable hygroscopic และ Monoclinic จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 61-61.5 °C อีกทั้งหากมีการตกผลึกด้วยเมทานอลและเอทานอล ทำให้ผลึกไซลิทอลอยู่ในรูป Orthorhombic จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 93-94.5 °C ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของผลึกไซลิทอล [23]

$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (kJ/mol <sup>-1</sup> )
61.0 - 61.5 (metastable)	ND
93.0 - 94.5 (stable)	ND
92-94	ND
93-94	38.00
93.70	36.10
94.84	37.70
96.07	33.26 ± 0.17
93.60	39.49
91.6 - 92.3 (different additives)	37.42 - 38.18 ± 0.76

\*  $T_m$  = อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature)

$\Delta H_m$  = ความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (Enthalpy of melting)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ND (Not determined) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 การประยุกต์ใช้งานของโซลิตอล

โซลิตอลมักจะใช้เป็นสารให้ความหวานและมีสรรพคุณที่หลากหลาย ส่วนใหญ่มักจะนำมาประยุกต์ใช้งานทั้งในด้านอาหาร เครื่องดื่ม เกษีขกรรม และด้านสุขภาพ เนื่องจากโซลิตอลสามารถช่วยลดอัตราการเกิดฟันผุได้ อีกทั้งยังใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลในตัวยาสำหรับผู้ป่วยเป็นเบาหวานด้วย

- ด้านอุตสาหกรรมอาหาร [24] จะใช้เป็นส่วนประกอบจำพวกมากฝรั่งหรือลูกอม ซึ่งเมื่อนำมาผลิตเป็นหมากฝรั่งและใช้กับผู้ป่วยที่มีภาวะหูชั้นกลางอักเสบ จะสามารถกระตุ้นกลไกธรรมชาติของมนุษย์ให้เกิดการไหลเวียนและการชะล้างโพรงจมูก-คอ ทำให้ลดปริมาณของแบคทีเรียในบริเวณอวัยวะดังกล่าวและส่งผลกระทบต่ออาการแพ้จากตัวกระตุ้นในบริเวณหู อีกทั้งสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียได้ของโซลิตอล สามารถช่วยให้เนื้อติดสตรเป็นเวลา 2 สัปดาห์ได้

- ด้านอุตสาหกรรมอาหารและยา [25] โซลิตอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายให้เกิดสภาวะกรดในช่องปากได้ จึงไม่เป็นเหตุให้เกิดฟันผุ ช่วยลดปริมาณการเกิดคราบฟัน และช่วยลดเชื้อแบคทีเรียสเตร็ปโตค็อกคัส มิวแทนส์ ที่อาศัยอยู่ในคราบฟันลงได้

- ในทางการแพทย์ [26] โซลิตอลจะไม่เกิดอันตรายต่อการใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานและสามารถรักษาสสมดุลของภาวะน้ำตาลในเลือดสูงได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากโซลิตอลถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ช้ากว่าน้ำตาลและจะค่อยๆปลดปล่อยพลังงานให้กับร่างกาย จึงเป็นเหตุผลที่ใช้โซลิตอลแทนน้ำตาลกับผู้ป่วยโรคเบาหวานแล้วสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดไม่ให้สูงเกินปกติ

#### 2.5 วัสดุเปลี่ยนวัฏภาค (Phase change materials)

วัสดุเปลี่ยนวัฏภาค เป็นวัสดุที่สามารถดูดซับหรือปล่อยพลังงานความร้อน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานในรูปของความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนวัฏภาคของวัสดุ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง เช่น เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือจากของเหลวไปเป็นแก๊ส เป็นต้น [2,3]

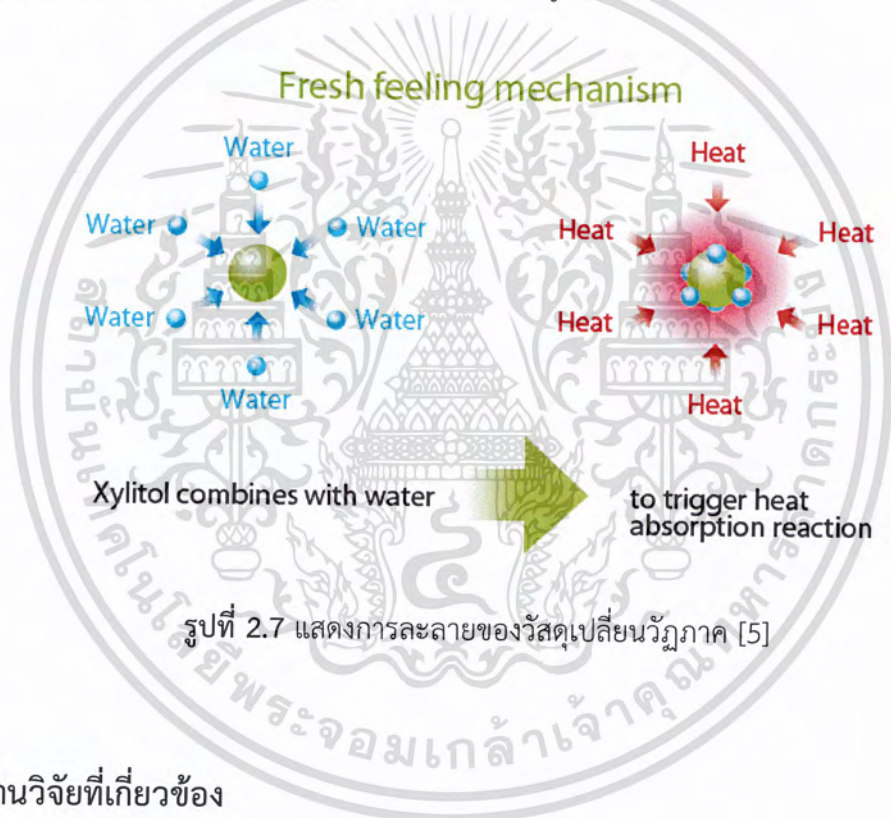
ลักษณะการเปลี่ยนวัฏภาคอีกรูปแบบหนึ่งคือ การเปลี่ยนวัฏภาคด้วยการละลาย [4] โดยการละลายเป็นการทำให้อนุภาคสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ถ่ายเทพลังงานระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมแล้วรวมตัวเกิดเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นเมื่อระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใดลักษณะหนึ่งจะทำให้ระบบอาจมีพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อให้ระบบมีพลังงานสมดุลกับสิ่งแวดล้อม โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การละลายประเภทดูดความร้อน เป็นการละลายที่ใช้พลังงานในการแยกอนุภาคของตัวถูกละลาย (ของแข็ง) มากกว่าพลังงานที่ใช้ยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลาย (ของเหลว)

- การละลายประเภทคายความร้อน เป็นการละลายที่ใช้พลังงานในการแยกอนุภาคของตัวถูกละลาย (ของแข็ง) น้อยกว่าพลังงานที่ใช้ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคตัวถูกละลาย (ของแข็ง) กับตัวทำละลาย (ของเหลว)

ตัวอย่างการละลายของวัสดุเปลี่ยนวิญภาค โดยไซลิทอลเมื่อถูกละลายด้วยน้ำ จึงเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไซลิทอลและน้ำโดยการดูดซับความร้อนจากบริเวณรอบๆ ทำให้เมื่อสัมผัสจะรู้สึกเย็น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการละลายของวัสดุเปลี่ยนวิญภาค [5]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ ยิวพร สอนศิริ และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาอนุภาคโคโตซาน/ไตรพอลิฟอสเฟตที่กักเก็บกลูโคส และประสิทธิภาพการกักเก็บและปลดปล่อยของสารกลูโคสและแอลฟาโทโคฟีรอลโดยการเตรียมด้วยวิธี ไอออนิกเจลเลชัน เริ่มจากการนำโคโตซานเข้มข้น 0.05 0.1 0.5 1 และ 2% w/v มาปั่นกวนในน้ำกลั่นสองครั้ง (ddH<sub>2</sub>O) ด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็กจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเติมกรดอะซิติกทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 L ด้วย ddH<sub>2</sub>O เก็บสารละลายที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 4°C แล้วนำมาผสมกับกลูโคสหรือแอลฟาโทโคฟีรอลที่ความเข้มข้น 0.25 0.5 0.75 และ 1% w/v จากนั้นหยดไตรพอลิฟอสเฟตลงในสารละลายข้างต้นเกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ นำสารที่ได้ไปทำผ่านคลื่นความถี่สูง (Sonication) เป็นเวลา 5 นาที แล้วเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมมา

ใช้ในการกักเก็บกลูโคสและแอลฟาโทโคฟีรอลพร้อมกัน จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี พบว่าสารผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากโคโคซานเข้มข้น 0.05% w/v กลูโคส 1% w/v และแอลฟาโทโคฟีรอล 0.5% w/v มีประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดีที่สุด คือ กลูโคสอยู่ที่ 76.32% และแอลฟาโทโคฟีรอลที่ถูกกักเก็บอยู่ที่ 84.11% แต่เมื่อนำกลูโคส 1% w/v และแอลฟาโทโคฟีรอล 0.5% w/v มากักเก็บพร้อมกันพบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บลดลง คือ ปริมาณกลูโคสที่ถูกกักเก็บอยู่ที่ 51.78% และแอลฟาโทโคฟีรอลที่ถูกกักเก็บอยู่ที่ 44.55% จากนั้นนำไปทดสอบอัตราการปลดปล่อยกลูโคส แอลฟาโทโคฟีรอล และสารทั้งสองชนิดร่วมกัน แบบสะสม และไม่สะสมเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 25 45 60 และ 80 °C โดยใช้ pH 3 5 7 9 พบว่าการปลดปล่อยแบบสะสมมีการปลดปล่อยของสารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง ส่วนการปลดปล่อยแบบไม่สะสมพบว่าการปลดปล่อยของสารมีแนวโน้มลดลง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการปลดปล่อยมีค่ามากขึ้นโดยปริมาณการปลดปล่อยมากที่สุดที่อุณหภูมิ 80°C ส่วนค่า pH เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการปลดปล่อยของสารลดลง โดยค่า pH 3 จะมีผลต่อการปลดปล่อยมากที่สุด

งานวิจัยของ Jie Wu และคณะ [27] ได้ศึกษาการเตรียมของอนุภาคนาโนโคโคซาน/โซเดียมไฮดรอกไซด์-ฟอสเฟส ที่บรรจุเรสเวราทรอล (Resveratrol) ไว้ภายในด้วยวิธีการเชื่อมโยงแบบไอออนิก โดยเริ่มเตรียมจากนำโคโคซาน 100 mg Poloxamer188 3 mg ละลายในกรดแอสติก 1% v/v ปริมาตร 100 mL แล้วนำไปกรองผ่านเยื่อเลือกผ่านขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  หลังจากนั้นนำสารละลายโคโคซานผสมปริมาตร 5 mL มาปรับให้มีค่า pH 4 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วผสมเรสเวราทรอลเข้มข้น 1 และ 5 mg/mL ในเอทานอลปริมาตร 1 mL จากนั้นนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-ฟอสเฟสเข้มข้น 1 mg/mL ปริมาตร 2 mL หยดลงสารละลายโคโคซานด้วยความเร็ว 10 mL/h แล้วปั่นกวนที่ 30°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อมากรองแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออก จากนั้นนำสารที่ได้มา ล้างในน้ำ DI โดยใช้ถุงไตอะไลซิสเป็นระยะเวลา 3-5 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง 24 ชั่วโมง จากผลการวิเคราะห์พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะทรงกลม กระจายตัวดี มีขนาดอยู่ในช่วง 172-217 nm ซึ่งขนาดดังกล่าวเหมาะสมนี้จะทำให้สามารถกระจายเข้าไปสะสมในเนื้ออกได้ โดยขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเรสเวราทรอลเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการกักเก็บมีค่าลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของเรสเวราทรอลเพิ่มขึ้นจาก 15.59% เป็น 11.71% เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ไปทำการฉายรังสี UV จากนั้นเก็บไว้เป็นเวลา 8 เดือน แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสง UV-Vis เมื่อเทียบกับสารผลิตภัณฑ์เริ่มต้นแสดงว่าอนุภาคที่ได้มีความเสถียรต่อการเก็บเป็นระยะยาวและมีความเสถียรต่อแสง

งานวิจัยของ Alper Bicer และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติการกักเก็บพลังงานความร้อนของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคชนิดไฮลิทอลเพนเตปาล์มิเตตและไฮลิทอลเพนเต-

สเตียเรท โดยใช้ปฏิกิริยาเอ-สเทอริฟิเคชัน โดยเริ่มจากการนำกรดปาล์มิติกคลอไรด์และกรดสเตียริก-คลอไรด์จำนวน 5.5 mol และไฮลิทอลจำนวน 1 mol มาละลายในโทลูอีนที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารตั้งต้นที่เหลือ และทำการกวนต่อไปที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำสารที่ได้มาไปกรองด้วยกระดาษกรอง 10 ไมครอน และล้างด้วยโทลูอีน 3 ครั้ง แล้วนำสารที่ได้มาไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5 ชั่วโมง ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะมีก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์เกิดขึ้น เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ไปตรวจวิเคราะห์ด้วย DSC พบว่าไซลิทอลจะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่  $93.20^{\circ}\text{C}$  และค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนวิญภาคเท่ากับ  $301.12 \text{ J.g}^{-1}$  แต่เมื่อเป็นไซลิทอลเพนตะปาล์-มิเทตและไซลิทอลเพนตะสเตียเรทจะมีจุดหลอมเหลวที่  $32.35^{\circ}\text{C}$  และ  $18.75^{\circ}\text{C}$  ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนวิญภาคเท่ากับ  $205.65 \text{ J.g}^{-1}$  และ  $170.05 \text{ J.g}^{-1}$  ตามลำดับ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนวิญภาคสูงขึ้นและมีจุดหลอมเหลวที่เหมาะสมแก่การเป็นวัสดุเปลี่ยนวิญภาค รวมถึงสามารถกำจัดข้อเสีย เช่น กลิ่นเหม็น ความทนการกัดกร่อนต่ำ ระเบิดระหว่างการให้ความร้อนได้ และเมื่อนำสารผลิตภัณฑ์มาตรวจวิเคราะห์ด้วย FT-IR และ TG พบว่าสารผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพทางเคมีและความร้อนที่ดี

งานวิจัยของ Jonas J.Perez และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการเตรียมเม็ดโคโคโตซานและแป้งมันฝรั่ง ที่เชื่อมโยงกันด้วยไซโตเดียมไตรพอลิฟอสเฟต โดยใช้เทคนิคการเกิดเจลแบบไอออนิกในการควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ย โดยการเตรียมสารละลายโคโคโตซานเข้มข้น 3% w/w ที่ละลายด้วยกรดแลคติกเข้มข้น 1% v/v ผสมกับแป้งมันฝรั่งที่ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนและปั่นรวมพร้อมกับการให้ความร้อนที่  $76^{\circ}\text{C}$  เพื่อทำให้เกิดเป็นเจล ในอัตราส่วนโคโคโตซานต่อแป้งมันฝรั่ง คือ 100/0 30/70 และ 20/80 จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำส่วนผสมดังกล่าวไปหยดลงในสารละลายไซโตเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 1% w/v โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.6 ปั่นรวมเป็นเวลา 2 หรือ 4 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำแล้วทำ rehydrate เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมปั่นรวม แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อมานำเม็ดที่ได้ไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรท พบว่าพฤติกรรมการบวมของเม็ดโคโคโตซานมีผลต่อการปลดปล่อยของปุ๋ย โดยเม็ดโคโคโตซาน 100% ที่ใช้เวลาในการเชื่อมโยง 2 ชั่วโมง มีการปลดปล่อยปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท 95% ซึ่งมีการปลดปล่อยในปริมาณมาก ดังนั้นยังใช้เวลาในการเชื่อมโยงมากก็จะมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยช้าลง

งานวิจัยของ Paresb Deshpande [30] และคณะได้ทำการศึกษาอนุภาคนาโนโคโคโตซาน/ไซโตเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ประกอบด้วยสังกะสี เพื่อใช้งานเป็นปุ๋ยทางใบ โดยใช้เทคนิคเชื่อมโยงแบบไอโอโนโทรปิค เตรียมโดยนำสารละลายโคโคโตซานที่ละลายด้วยกรดอะซิติกผสมกับ  $\text{ZnSO}_4$  แล้วนำสารละลายไซโตเดียมไตรพอลิฟอสเฟตหยดลงในสารละลายข้างต้น โดยปั่นรวมด้วยแม่เหล็กต่อเป็นเวลา 20 นาที เมื่อนำโคโคโตซาน สารที่มีสังกะสี และสารที่ไม่มีสังกะสีไปตรวจด้วย FTIR พบว่าพีคของ  $-\text{CONH}_2$  ของโคโคโตซานอยู่ที่  $1594 \text{ cm}^{-1}$  แต่ของสารที่มีสังกะสีและสารที่ไม่มีสังกะสี พีคจะเลื่อนเป็น  $1554 \text{ cm}^{-1}$  และ  $1560 \text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโน กับไอออนของสังกะสีและไซโตเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เมื่อนำสารที่มีสังกะสีและสารที่ไม่มีสังกะสีไปตรวจด้วย SEM พบว่าลักษณะสารที่ได้เป็นทรงกลม สารที่มีสังกะสีจะมีขนาด  $325 \pm 40 \text{ nm}$  และสารที่ไม่มีสังกะสีจะมี

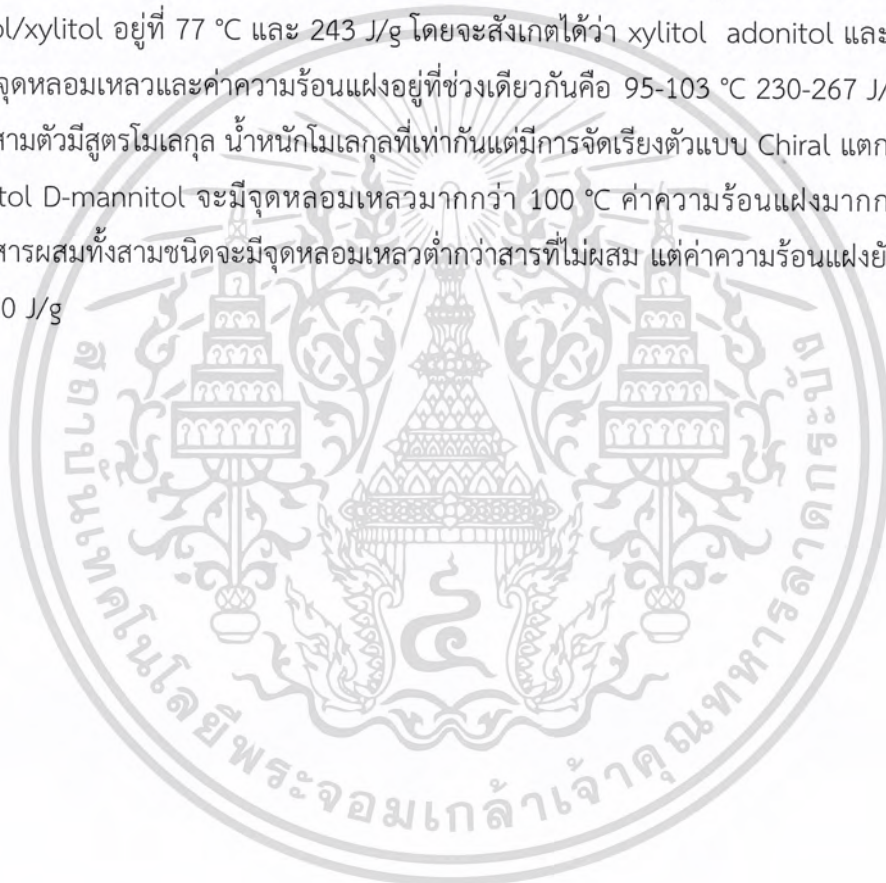
ขนาด  $290 \pm 35 \text{ nm}$  เมื่อนำไปตรวจวัดค่าศักย์ซีต้า พบว่าตัวที่มีสังกะสีจะมีค่า  $+42 \text{ mV}$  และตัวที่ไม่มีสังกะสีจะมีค่า  $+32.2 \text{ mV}$  แสดงว่าสังกะสีถูกห่อหุ้มเข้าไปในอนุภาคนาโน และมีความเสถียรเพิ่มขึ้น

งานวิจัยของ Yuwanda lamphaojeen และคณะ [31] ได้ศึกษาการนำพอลิอิเล็กโทรไลต์มาช่วยในการตรึงนาโนแคปซูลที่เก็บน้ำมันบนผ้าฝ้าย โดยการเตรียมผ้าจะเริ่มจากการนำผ้าฝ้ายมา desized ด้วยน้ำ DI ร้อน แล้วนำผ้าที่ได้ประมาณ 5 g มาแช่ลง CHTAC 50 g ที่ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 g ในน้ำ 1000 mL แล้วปั่นกวนซัๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเจือด้วยกรดอะซิติกเพื่อให้เป็นกลาง ตามด้วยล้างน้ำ DI แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ส่วนในการเตรียมแคปซูลโดยการนำ N-octadecane ผสมกับสารละลาย SDS 10 mM 20 mL และทำอัลตราโซนิกความเข้มข้นสูงที่ความถี่ 20 kHz กำลัง 5000 W 10 นาที จะได้เป็นอิมัลชัน แล้วนำไปผสมกับสารละลาย PDPA 4 mM พร้อมปั่นกวน ก็จะได้เป็นตัวแคปซูล ส่วนในการตรึงลงบนผ้าจะนำผ้าแช่ใน PSS 20 mL 30 นาที ตามด้วยชะน้ำ DI 5 นาที แล้วแช่ในตัวแคปซูลที่เป็นอิมัลชันอยู่ 30 นาที และชะน้ำ DI 5 นาที จะได้ตัวนาโนแคปซูลที่ตรึงอยู่บนผ้าที่มีลักษณะเป็นแผ่น และได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PSS เป็นความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยเมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ด้วย FE-SEM และค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า พบว่ามีรูปร่างกลมขนาด 100 nm ตัวของนาโนแคปซูลและผ้ามีประจุเป็นบวกเมื่อใส่ PSS ลงไป จะช่วยให้ตัวของนาโนแคปซูลและผ้ายึดตรึงไว้ด้วยกันได้ โดยความเข้มข้น PSS มาก จะทำให้มีบริเวณประจุลบมากขึ้น ทำให้สามารถตรึงนาโนแคปซูลได้เพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปแช่ในสีย้อมเมทิลีนบลูและอีโอซิน-บี เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผ้าที่ตรึงเสร็จแล้วจะไม่ดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูซึ่งมีประจุเป็นบวก แต่จะดูดซับสีย้อมอีโอซิน-บี ซึ่งมีประจุเป็นลบแทน

งานวิจัยของ Yuwanda lamphaojeen และคณะ [32] ได้ศึกษาการปรับกันอุณหภูมิบนผ้าฝ้ายด้วยการตรึงหลายชั้นของนาโนแคปซูลวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค โดยใช้เทคนิค LbL เริ่มจากการทำผ้าฝ้ายให้เป็นประจุบวก โดยแช่สารละลาย CHTAC 50 g ผสมกับ NaOH 18 g ในน้ำ DI 1 L ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติกเจือจางตามด้วยล้างน้ำ DI แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำผ้าที่ได้มาแช่สารละลาย PSS 10 mM ปริมาตร 20 mL เป็นเวลา 10 นาที ล้างด้วยน้ำ DI 5 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในตัวแคปซูลที่มีอิมัลชัน เป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยล้างน้ำ DI แล้วทำซ้ำอีก 1 - 5 รอบ เพื่อเพิ่มตัวนาโนแคปซูลในการตรึงผ้า แล้วจึงนำไปตรวจวิเคราะห์ซึ่งตัวนาโนแคปซูลจะเตรียมได้จากการนำ n-octadecane 0.5% (v/v) กระจายในสารละลาย SDS 10 mM โดยใช้อัลตราโซนิกความเข้มข้นสูงที่ความถี่ 20 kHz กำลัง 500 W 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วใส่ลงใน PDPA 10 mM ภายใต้การปั่นกวน โดยใช้อัตราส่วนของ n-octadecane : SDS : PDPA เป็น 0.01 : 1 : 1 จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FE-SEM และกล้องถ่ายภาพความร้อน พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบจะทำให้ปริมาณตัวนาโนแคปซูลเพิ่มขึ้น ตัวนาโนแคปซูลที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มระยะเวลาการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งการเพิ่มจำนวนรอบเป็นการเพิ่มแรงทางไฟฟ้าสถิตของ PSS และตัวแคปซูลโดยที่จำนวน 5 รอบ จะลดอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุด 2.5 °C นานกว่า 10 นาที ที่อุณหภูมิ 50 °C และเมื่อนำสีใส่ลงในตัวอย่างแล้วซัก 15 รอบ แล้วนำไปตรวจสีที่เหลือ พบว่าสามารถ

เอกสารนี้เก็บสื่อดีที่ตรงไว้ได้ 77% สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ E. Palomo del Barrio และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาการวัดจุดหลอมเหลว ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ และสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคน้ำตาลแอลกอฮอล์ห้าชนิด และสารผสมสามชนิดที่ใช้สำหรับการกักเก็บความร้อน โดยน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ศึกษาได้แก่ xylitol adonitol L-arabitol erythritol D-mannitol และสารผสมอีกสามชนิด ได้แก่ erythritol/xylitol L-arabitol/erythritol L-arabitol/xylitol พบว่าค่าจุดหลอมเหลวและความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะที่ตรวจด้วยเทคนิค DSC ของ Xylitol จะอยู่ที่ 95 °C และ 267 J/g adonitol อยู่ที่ 100 °C และ 250 J/g L-arabitol อยู่ที่ 103 °C และ 280 J/g erythritol อยู่ที่ 118 °C และ 340 J/g D-mannitol อยู่ที่ 167 °C และ 316 J/g ส่วนของสารผสม erythritol/xylitol อยู่ที่ 82 °C และ 270 J/g L-arabitol/erythritol อยู่ที่ 86 °C และ 225 J/g L-arabitol/xylitol อยู่ที่ 77 °C และ 243 J/g โดยจะสังเกตได้ว่า xylitol adonitol และ L-arabitol จะมีค่าจุดหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงอยู่ที่ช่วงเดียวกันคือ 95-103 °C 230-267 J/g เนื่องจากสารทั้งสามตัวมีสูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลที่เท่ากันแต่มีการจัดเรียงตัวแบบ Chiral แตกต่างกัน ส่วน erythritol D-mannitol จะมีจุดหลอมเหลวมากกว่า 100 °C ค่าความร้อนแฝงมากกว่า 310 J/g และในสารผสมทั้งสามชนิดจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารที่ไม่ผสม แต่ค่าความร้อนแฝงยังมีค่ามากถึง 225-270 J/g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซาน (Chitosan) บริษัท ไบโอ21 จำกัด เกรดการค้า
2. โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate ; TPP) บริษัท รวมเคมี จำกัด เกรดการค้า
3. ไซลิตอล (Xylitol) บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด เกรดการค้า
4. กรดอะซิติก (Acetic acid ;  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) บริษัท J.T.Baker,CO.Ltd เกรดวิเคราะห์
5. ผ้าฝ้าย 100% ทอลายขัด (Plain weave) น้ำหนัก  $75 \text{ g/m}^2$  ห้างหุ้นส่วนจำกัด ช่วนฮั่ว
6. น้ำกลั่น (Distilled water)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter ; DSC) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris Diamond DSC
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer ; FT-IR) บริษัท K.somphop morada Bara scientific Co.,LTD รุ่น IRTTracer-100
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) รุ่น Quanta 250 ยี่ห้อ FEI
4. เครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle analyzer) รุ่น OCA 20 ยี่ห้อ Data physics
5. กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera) บริษัท Thermoscan Co.,Ltd. รุ่น FLIR C2
6. ตู้อบ บริษัท Fisher Science,co.,Ltd รุ่น ISOTEMP
7. เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dryer) บริษัท LaboGene ApS รุ่น Coolsafe 110-4
8. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) บริษัท IKA รุ่น RO 5
9. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง บริษัท Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co.,Ltd. รุ่น TB-2002
10. ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมสารตั้งต้น

1. เตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v โดยปิเปตกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 2 mL เติมลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตร

2. เตรียมสารละลายไคโตซาน (Chi) เข้มข้น 3% w/v โดยละลายไคโตซาน 0.15 g ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ปริมาตร 5 mL แล้วคนให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

3. เตรียมสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟต (TPP) เข้มข้น 3 และ 6% w/v โดยละลาย TPP 0.15 และ 0.3 g ตามลำดับ ในน้ำกลั่นปริมาตร 5 mL แล้วคนให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

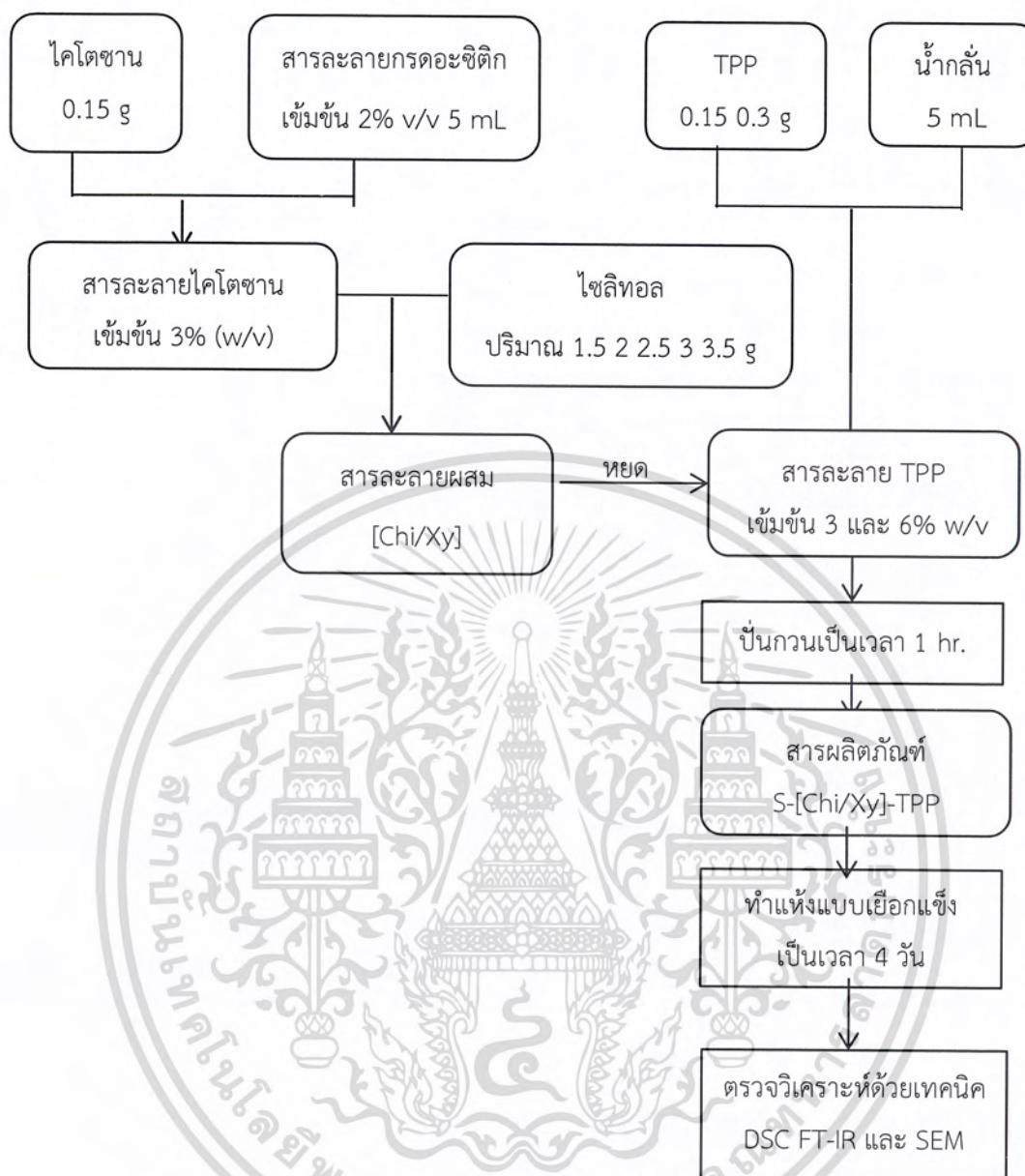
4. เตรียมสารละลายไซลิทอล (Xy) โดยชั่งน้ำหนัก Xy ปริมาณ 1.5 2 2.5 3 และ 3.5 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 5 mL แล้วคนให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

#### 3.3.2 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโดยวิธีชั้นตอนเดียว (S-[Chi/Xy]-TPP)

1. นำสารละลายไคโตซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ผสมกับไซลิทอลโดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ปั่นกวนสารละลายผสม Chi/Xy ด้วยแท่งแม่เหล็ก

2. นำสารละลายผสม Chi/Xy ที่เตรียมได้ในข้อ 1 หยดลงในสารละลาย TPP ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 แล้วปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP

3. นำสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP ที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dryer) เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR และ SEM



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ S-[Chi/Xy]-TPP โดยวิธีขึ้นตอนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ

สารตัวอย่าง	วิธีการเตรียมวัสดุประกอบ	โคโคซาน (g)	โซเดียมไตรพอลิ-ฟอสเฟต (g)		โซลิตอล (g)
			TPP	2TPP	
S-[Chi/1.5Xy]-TPP	รูปแบบที่ 1 (ชั้นตอนเดียว)	0.15	0.15	0.30	1.5
S-[Chi/2.0Xy]-TPP					2.0
S-[Chi/2.5Xy]-TPP					2.5
S-[Chi/3.0Xy]-TPP					3.0
S-[Chi/3.5Xy]-TPP					3.5
Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy	รูปแบบที่ 2 (ดูดซับ)	0.15	0.15	0.30	1.5
Ad-[Chi-TPP]/2.0Xy					2.0
Ad-[Chi-TPP]/2.5Xy					2.5
Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy					3.0
Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy					3.5

หมายเหตุ : S หมายถึง วิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว

Ad หมายถึง วิธีการเตรียมแบบดูดซับ

Chi หมายถึง สารละลายโคโคซาน

Xy หมายถึง สารละลายโซลิตอล

TPP หมายถึง สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

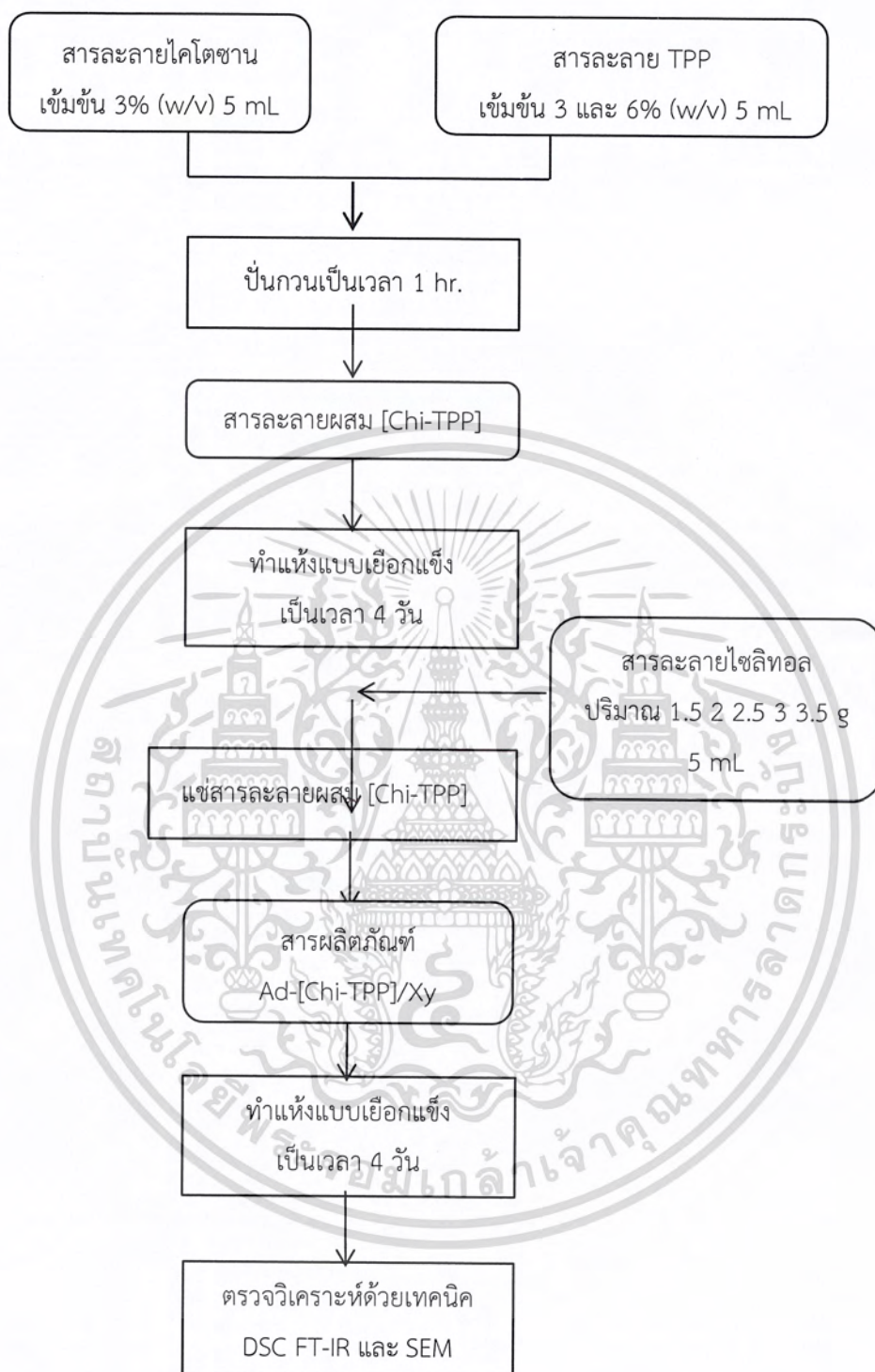
### 3.3.3 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโดยวิธีดูดซับ (Ad-[Chi-TPP]/Xy)

1. นำสารละลายโคโคซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 หยดลงในสารละลายโซเดียมไตรพอลิ-ฟอสเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 แล้วปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์อนุภาค [Chi-TPP]

2. นำสารผลิตภัณฑ์อนุภาค [Chi-TPP] ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dryer) เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโซลิตอลโดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3. นำสารผลิตภัณฑ์ Ad-[Chi-TPP]/Xy ที่ได้ ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Dryer) อีกครั้ง เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR และ SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ Ad-[Chi-TPP]/Xy โดยวิธีดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การเตรียมผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ F/S-[Chi/Xy]-TPP โดยวิธีขั้นตอนเดียว

1. นำสารละลายโคโตซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ผสมกับโซลิตอลโดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ปั่นกวนสารละลายผสม Chi/Xy ด้วยแท่งแม่เหล็ก

2. นำสารละลายผสม Chi/Xy ที่เตรียมได้ในข้อ 1 หยดลงในสารละลาย TPP ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 แล้วปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP

3. นำผ้าฝ้ายขนาด 3 x 3 ซุบลงในวัสดุประกอบ S-[Chi/Xy]-TPP จากนั้นแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 25 นาที ได้สารผลิตภัณฑ์ F/S-[Chi/Xy]-TPP จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR SEM Contact angle และ Thermal imaging camera

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบบรรจุโซลิตอลบนผ้า

สารตัวอย่าง	วิธีการเตรียมวัสดุประกอบ	โคโตซาน (g)	โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (g)		โซลิตอล (g)
			TPP	2TPP	
F/S-[Chi/1.5Xy]-TPP	รูปแบบที่ 1 (ขั้นตอนเดียว)	0.15	0.15	0.30	1.5
F/S-[Chi/2.0Xy]-TPP					2.0
F/S-[Chi/2.5Xy]-TPP					2.5
F/S-[Chi/3.0Xy]-TPP					3.0
F/S-[Chi/3.5Xy]-TPP					3.5
F/Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy	รูปแบบที่ 2 (ดูดซับ)	0.15	0.15	0.30	1.5
F/Ad-[Chi-TPP]/2.0Xy					2.0
F/Ad-[Chi-TPP]/2.5Xy					2.5
F/Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy					3.0
F/Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy					3.5

หมายเหตุ : F หมายถึง ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ

S หมายถึง วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว

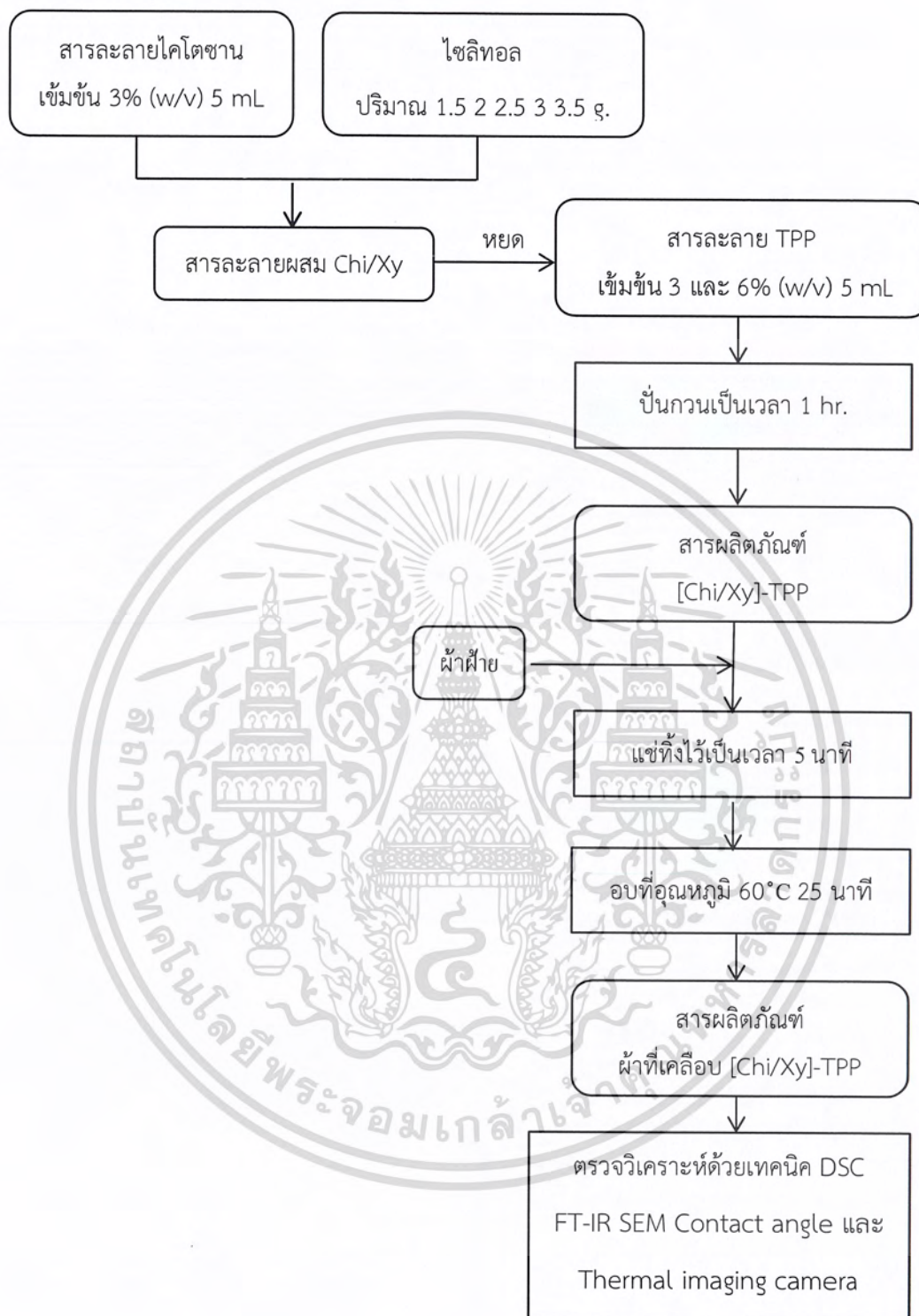
Ad หมายถึง วิธีการเตรียมแบบดูดซับ

Chi หมายถึง สารละลายโคโตซาน

Xy หมายถึง สารละลายโซลิตอล

TPP หมายถึง สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ F/S-[Chi/Xy]-TPP บนผ้า โดยวิธีขึ้นตอนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การเตรียมผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi/Xy]-TPP โดยวิธีดูดซับ

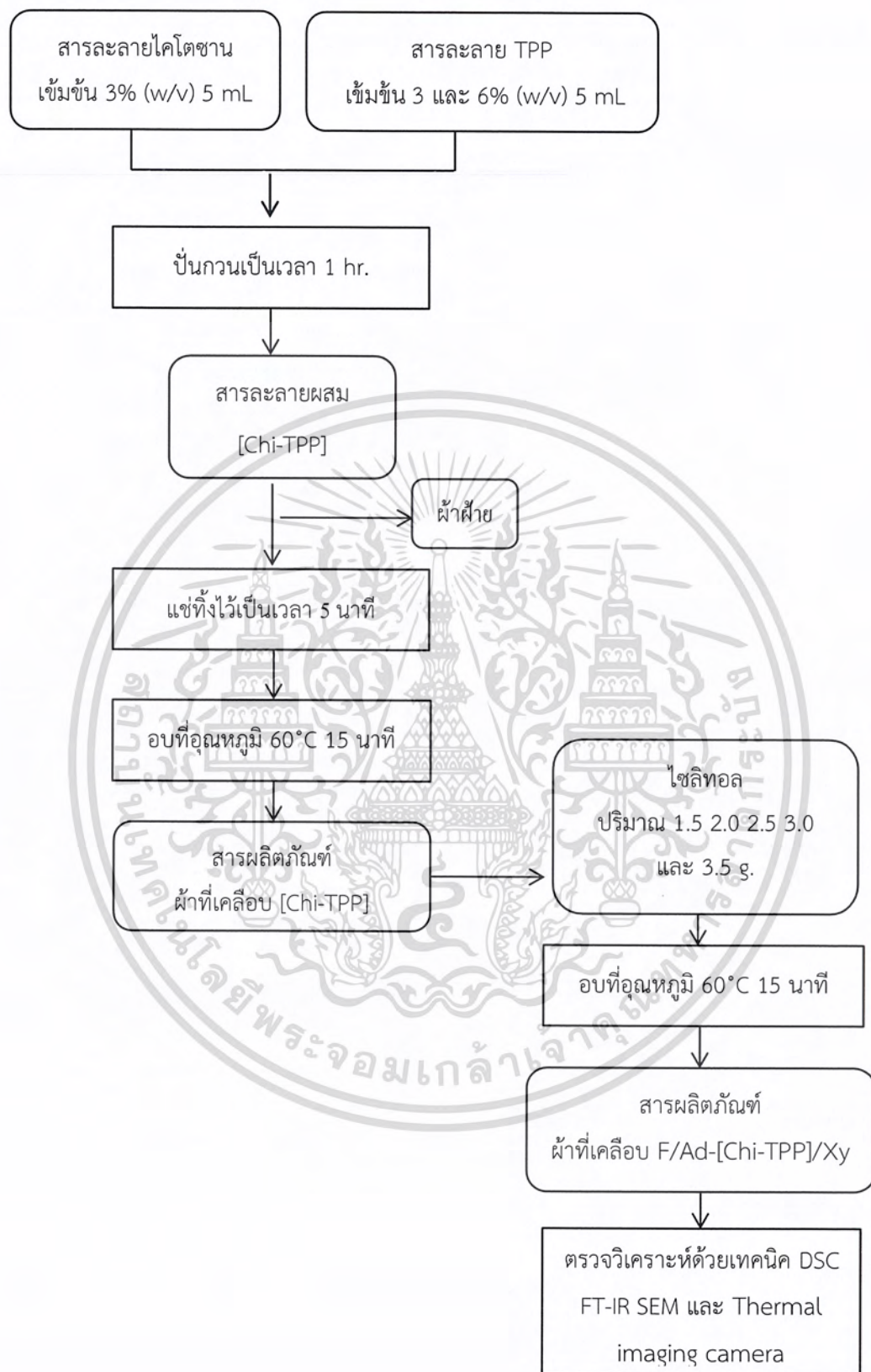
1. นำสารละลายโคโตซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 หยดลงในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 แล้วปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ [Chi-TPP]

2. นำผ้าฝ้ายขนาด  $3 \times 3$  แ่งลงในวัสดุประกอบ [Chi-TPP] จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที

3. นำผ้าฝ้ายขนาด  $3 \times 3$  ที่มีวัสดุประกอบ [Chi-TPP] เคลือบอยู่ มาแช่ในสารละลายโซลิตอลที่เตรียมได้ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที เกิดเป็นผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/Xy จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR SEM และ Thermal imaging camera



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.4 การเตรียมอนุภาควัดประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/Xy บนผ้า โดยวิธีดูดซับ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบโคโตนานเชื่อมโยงแบบไออนิกบรรจุซิลิโกล

- การทดสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำวัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกลมาตรวจวิเคราะห์ โดยมีสภาวะดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์ คือ 50 ถึง 150°C อัตราการให้ความร้อนและอัตราการเย็นตัว 10°C/min และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 mL/min

- การทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

นำสารตั้งต้นที่ใช้ อนุภาค [Chi-TPP] และวัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกลมาตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมี ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดโหมด Attenuated total reflection (ATR) ในช่วงคลื่น 700-4000  $\text{cm}^{-1}$

- การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำอนุภาค [Chi-TPP] วัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกล และผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกลมาตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยนำมาเคลือบทองก่อนนำไปตรวจวัด ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

- การทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle analyzer)

นำผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ ผ้าที่เคลือบอนุภาค [Chi-TPP] และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกล มาตรวจวิเคราะห์มุมสัมผัส โดยการหยดน้ำปริมาณ 5  $\mu\text{L}$  เพื่อทดสอบความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของผ้า

- การทดสอบด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera)

นำผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ ผ้าที่เคลือบอนุภาค [Chi-TPP] และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตนานบรรจุซิลิโกล มาทดสอบการดูดความร้อน โดยการหยดน้ำปริมาณ 60  $\mu\text{L}$  จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผ้าทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 30 นาที และหลังจากนี้สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนทุกๆ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

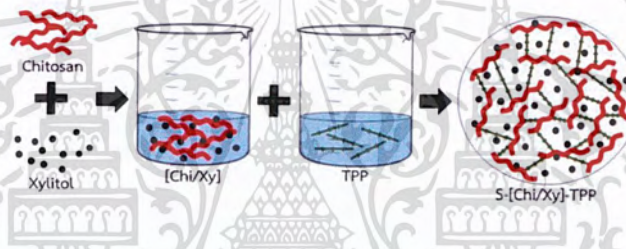
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล

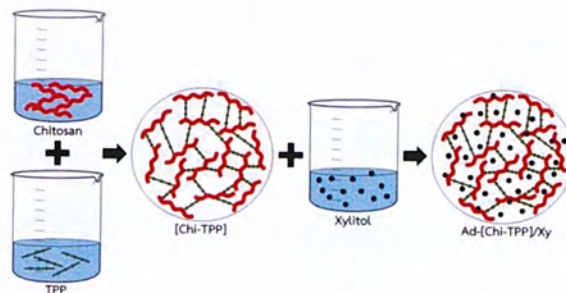
##### 4.1.1 แผนภาพการก่อตัวของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล

ในการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโดยวิธีขั้นตอนเดียว โดยการนำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายไซลิทอล จากนั้นหยดสารละลายผสมลงในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างร่างแหของไคโตซานกับ TPP ด้วยพันธะไอออนิก พร้อมทั้งห่อหุ้มไซลิทอลไว้ในโครงสร้างร่างแห เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลด้วยวิธีการขั้นตอนเดียว เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ S-[Chi/Xy]-TPP

ในการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 โดยวิธีดูดซับ โดยการนำสารละลายไคโตซานหยดลงไปในการละลาย TPP เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิก เกิดเป็นอนุภาคไคโตซานที่มีโครงสร้างร่างแห [Chi-TPP] จากนั้นนำอนุภาคที่ได้ไปแช่ในสารละลายไซลิทอล เพื่อให้เกิดการดูดซับไซลิทอลเข้าไปในโครงสร้างร่างแห เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ Ad-[Chi-TPP]/Xy ดังแสดงในรูปที่ 4.2

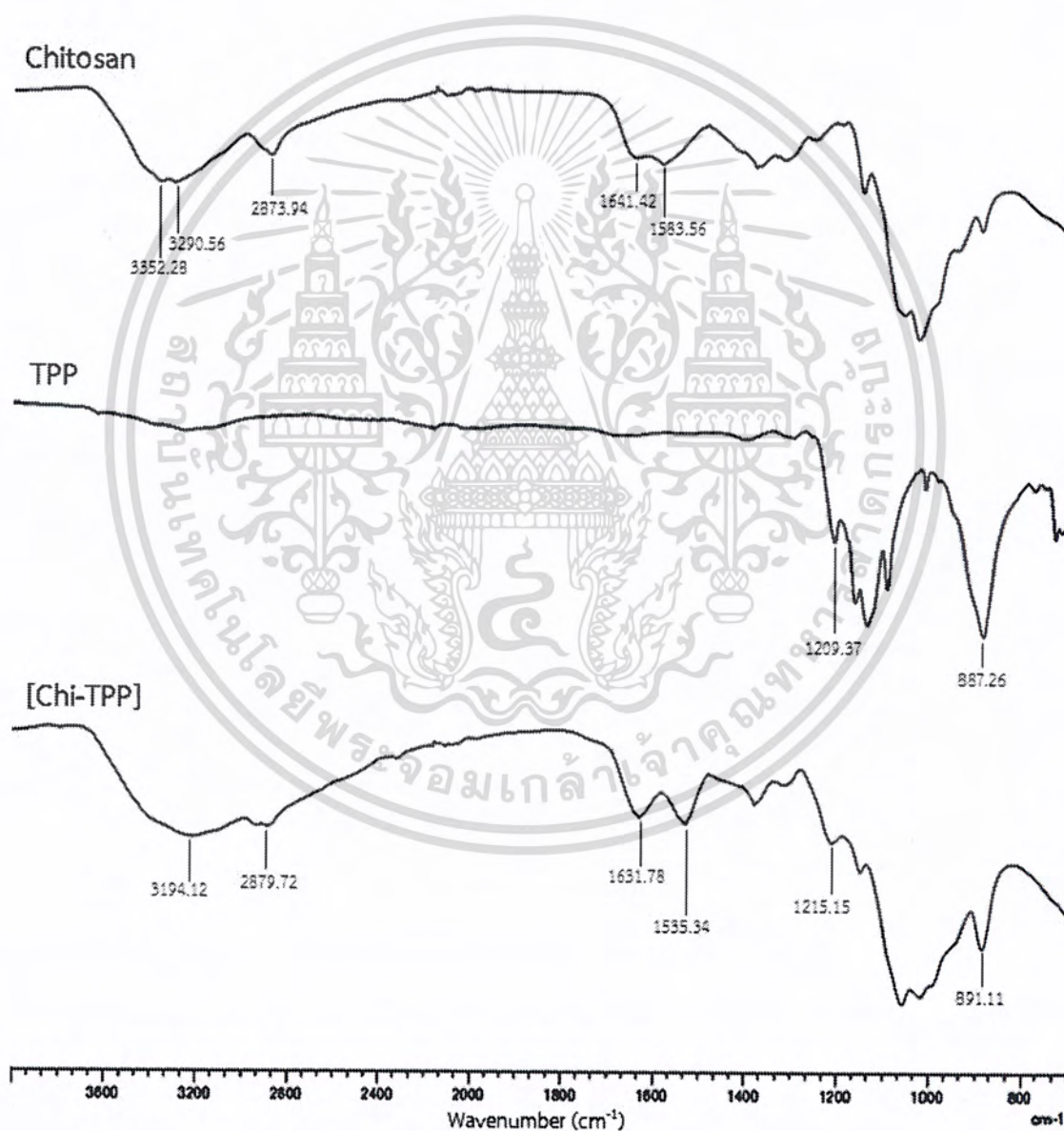


เอกสารรูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลด้วยวิธีการดูดซับ  
ไม่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ Ad-[Chi-TPP]/Xy

#### 4.1.2 โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิตอล

- โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นและอนุภาคไคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP

การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นและอนุภาคไคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP ที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 พบว่าสารตั้งต้นไคโตซานมีโครงสร้างสำคัญที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันเอมีน (-NH<sub>2</sub>) และไฮดรอกซิล (-OH) โดยที่สัญญาณของหมู่ -OH อยู่ในช่วง 3200-3400 cm<sup>-1</sup> สัญญาณของหมู่ -NH stretching มีพีคขึ้นที่ 3290.56 และ 3352.28 cm<sup>-1</sup> ส่วนสัญญาณของหมู่ -NH bending มีพีคขึ้นที่ 1641.42 และ 1583.56 cm<sup>-1</sup> ในส่วนของสารตั้งต้น TPP มีหมู่ฟอสเฟต (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) เป็นโครงสร้างที่สำคัญ ซึ่งพบพีค P=O อยู่ที่ 1209.37 cm<sup>-1</sup> และพีคของ P-O-P อยู่ที่ 887.26 cm<sup>-1</sup> เมื่อนำไคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP [Chi-TPP] ไปตรวจวิเคราะห์พบว่าพีคของหมู่ฟังก์ชัน -NH<sub>2</sub> ของ [Chi-TPP] มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าไคโตซานเริ่มต้นไปที่ตำแหน่ง 1631.78 และ 1535.34 cm<sup>-1</sup> ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากหมู่ฟังก์ชัน -NH<sub>2</sub> ถูกโปรตอนตเป็น -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> ทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันของหมู่ -PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ในสารเชื่อมโยง TPP นอกจากนี้สเปกตรัมของอนุภาค [Chi-TPP] ยังปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชัน P=O และ P-O-P ของ TPP ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จึงแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงกันระหว่างหมู่เอมีนของไคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของ TPP

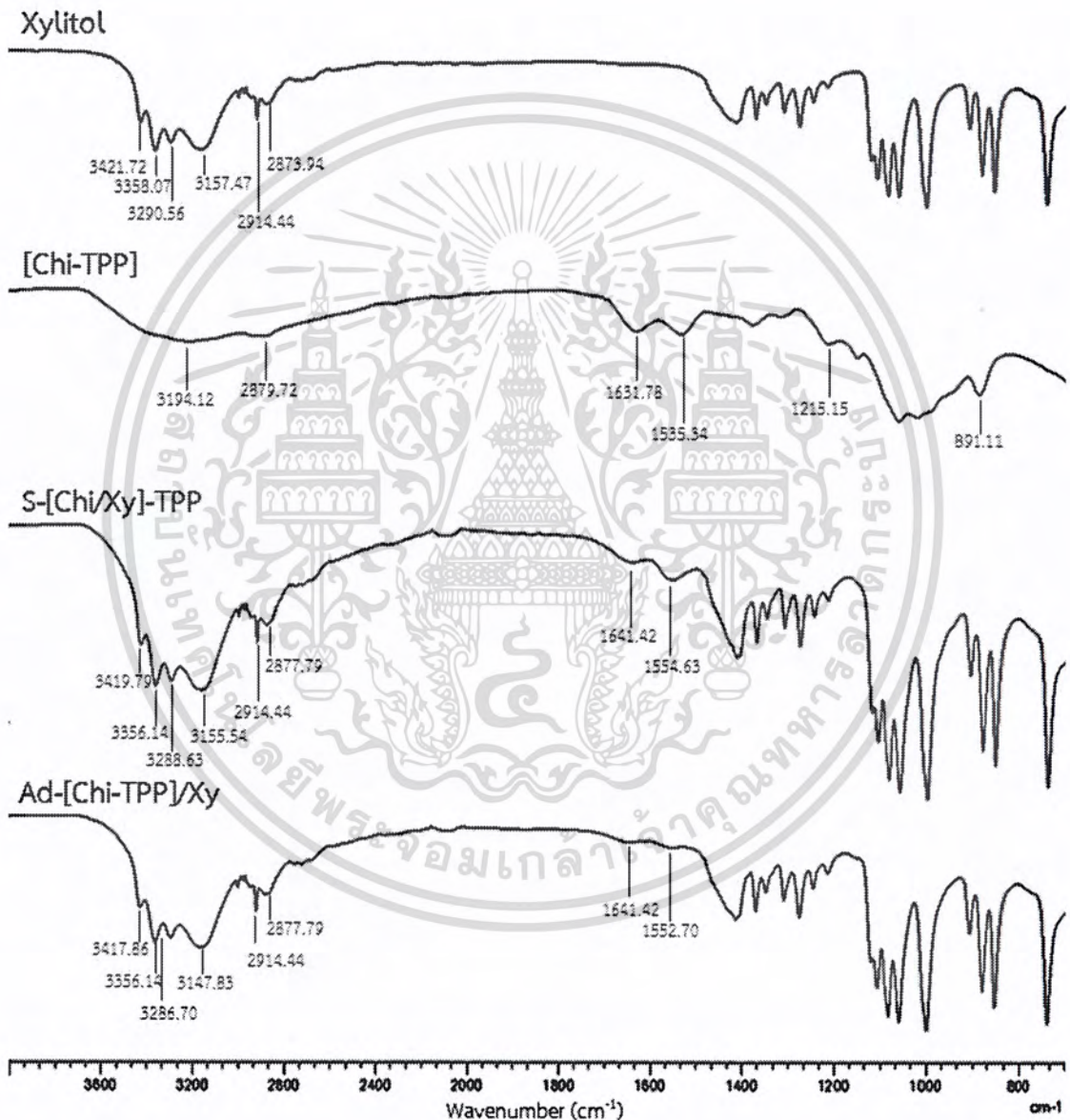
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของสารตั้งต้นและอนุภาคไคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )		
	Chitosan	TPP	[Chi-TPP]
OH	3200-3400	-	3200-3400
-NH stretch	3290.56	-	3194.12
	3352.28	-	-
-CH stretch	2873.94	-	2879.72
-NH bending	1641.42	-	1631.78
	1583.56	-	1535.34
P=O	-	1209.37	1215.15
P-O-P	-	887.26	891.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

การศึกษาโครงสร้างเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 สเปกตรัม FT-IR ของไซลิทอล อนุภาค [Chi-TPP] วัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าไซลิทอลมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) โดยมีพีคอยู่ในช่วง  $3200-3400\text{ cm}^{-1}$  และพบพีคของ -CH stretching ที่ตำแหน่ง  $2873.94$  และ  $2914.44\text{ cm}^{-1}$  เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอนุภาค [Chi-TPP] โดยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 (S-[Chi/Xy]-TPP) พบว่ามีพีคในช่วง  $3200-3400\text{ cm}^{-1}$  ของไซลิทอล และพบพีคของ -NH bending อยู่ที่  $1641.42$  และ  $1554.63\text{ cm}^{-1}$  โดยเป็นพีคที่มีความใกล้เคียงกับอนุภาค [Chi-TPP] ในส่วนของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 (Ad-[Chi-TPP]/Xy) พบว่ามีสัญญาณช่วง  $3200-3400\text{ cm}^{-1}$  และพบพีคของ -NH bending อยู่ที่  $1641.42$  และ  $1552.70\text{ cm}^{-1}$  เช่นเดียวกับวัสดุประกอบ S-[Chi/Xy]-TPP จึงแสดงให้เห็นว่าวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 มีไซลิทอลบรรจุอยู่ในอนุภาค [Chi-TPP]

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )			
	Xylitol	[Chi-TPP]	S-[Chi/Xy] - TPP	Ad-[Chi-TPP] / Xy
OH	3200-3400	3200-3400	3200-3400	3200-3400
-CH stretch	2873.94 2914.44	2879.72	2877.79 2914.44	2877.79 2914.44
-NH bending	-	1631.78 1583.56	1641.42 1554.63	1641.42 1552.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล

เมื่อนำวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยมีปริมาณสารเชื่อมโยง TPP ที่แตกต่างกัน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP ที่ 1:1 และ 1:2 รวมถึงเปลี่ยนแปลงปริมาณไซลิทอลที่บรรจุในวัสดุประกอบเป็น 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 g มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ได้ผลดังสรุปในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว ( $\Delta H_m$ ) ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

สารตัวอย่าง	วิธีการเตรียมวัสดุประกอบ	ปริมาณไซลิทอล (g)	$T_m$ (°C)		$\Delta H_m$ (J/g)	
			TPP	2TPP	TPP	2TPP
S-[Chi/1.5Xy]-TPP	รูปแบบที่ 1 (ขั้นตอนเดียว)	1.5	89.22	65.25	14.58	19.86
S-[Chi/2.0Xy]-TPP		2.0	84.71	71.30	54.82	24.09
S-[Chi/2.5Xy]-TPP		2.5	88.10	70.68	74.06	33.42
S-[Chi/3.0Xy]-TPP		3.0	88.79	70.48	74.69	38.57
S-[Chi/3.5Xy]-TPP		3.5	89.34	85.34	89.02	74.43
Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy	รูปแบบที่ 2 (ดูดซับ)	1.5	74.76	71.71	24.81	13.68
Ad-[Chi-TPP]/2.0Xy		2.0	74.52	77.04	50.49	42.22
Ad-[Chi-TPP]/2.5Xy		3.0	81.73	79.86	64.49	51.27
Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy		3.0	88.59	79.20	103.17	81.68
Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy		3.5	87.69	83.78	110.44	82.72

หมายเหตุ :

\* สารตั้งต้นไซลิทอล  $T_m = 96.26$  °C และ  $\Delta H_m = 223.86$  J/g

\*\* ในการคำนวณ ค่า  $\Delta H$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบจึงมีค่าต่ำกว่าค่าจริงเนื่องจากค่าน้ำหนักตัวอย่างประกอบด้วยไซลิทอลและโครงสร้างร่างแห [Chi-TPP]

จากตารางที่ 4.3 พบว่าพิก  $T_m$  ที่เกิดขึ้นในการตรวจวิเคราะห์วัสดุประกอบเป็นพิกของการหลอมเหลวของไซลิทอล ( $T_m$ ) โดยจะเห็นว่า ค่า  $T_m$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบ มีค่าต่ำกว่าค่า  $T_m$

ของไซลิทอลบริสุทธิ์ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากไซลิทอลตั้งต้นเป็นเกร็ดการค้ำที่มีลักษณะเป็นผลึกในขณะที่ยังไซลิทอลที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบเป็นไซลิทอลที่ผ่านการละลายและการตกผลึกใหม่ใน

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบ ทำให้รูปผลึกของไซลิทอลในขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบ มีลักษณะผลึกที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากเกิดการละลายและก่อผลึกใหม่ในระหว่างการเตรียมวัสดุประกอบ ดังนั้นค่า  $T_m$  จึงลดลง สำหรับค่า  $\Delta H_m$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบพบว่ามีค่าต่ำกว่าไซลิทอลบริสุทธิ์ เนื่องจากผลึกไซลิทอลที่อยู่ในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP ที่เป็นเมทริกซ์ วัสดุประกอบมีขนาดผลึกเล็ก จึงใช้พลังงานในการหลอมเหลวที่น้อยกว่าผลึกไซลิทอลบริสุทธิ์

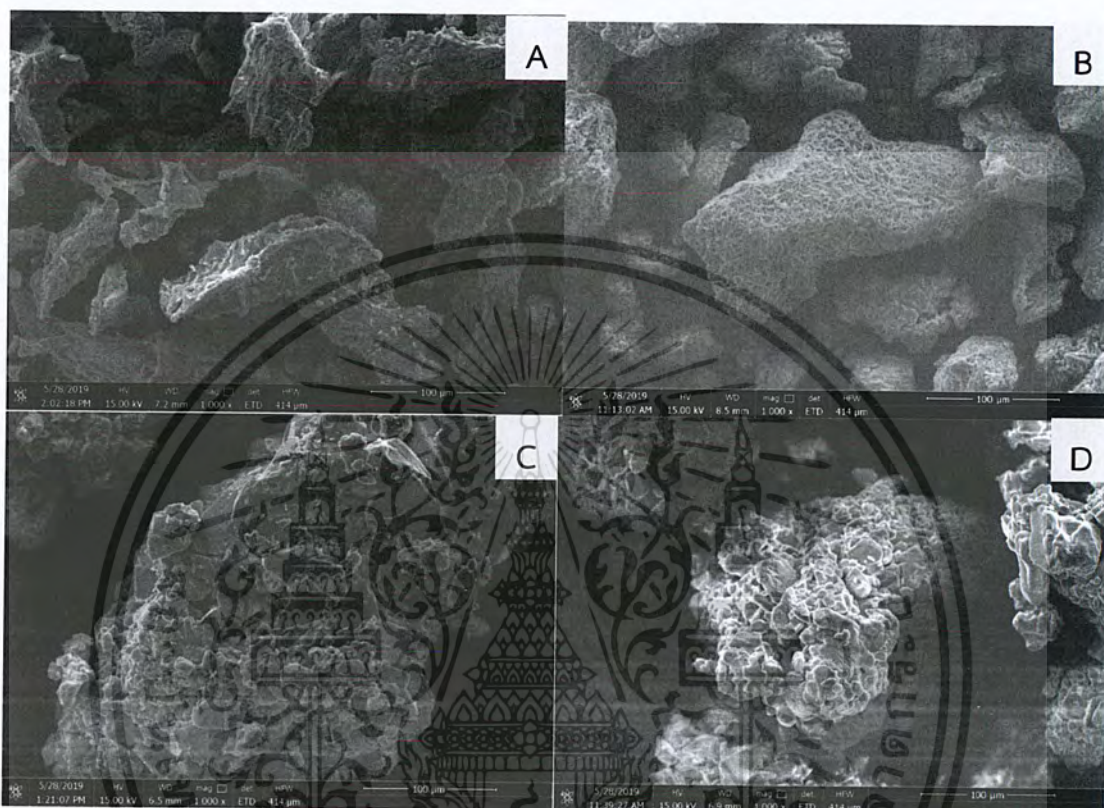
เมื่อพิจารณาการปรับเปลี่ยนปริมาณไซลิทอลในช่วง 1.5 – 3.5 g. พบว่าในการเตรียม วัสดุประกอบด้วยวิธีขั้นตอนเดียว มีค่า  $T_m$  ของไซลิทอลอยู่ในช่วง 85 – 89 °C ซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่พบว่ามีค่า  $\Delta H_m$  เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไซลิทอลที่เพิ่มขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่า วัสดุประกอบมีการแทรกตัวของผลึกไซลิทอลในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานมีลักษณะไม่แตกต่างกัน แต่มีการบรรจุไซลิทอลในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงมีค่า  $\Delta H_m$  แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการ เตรียมวัสดุประกอบด้วยวิธีขั้นตอนเดียว เป็นวิธีที่มีการกักเก็บไซลิทอลเกิดขึ้นพร้อมๆกับการสร้าง โครงสร้างร่างแห ทำให้ไซลิทอลสามารถแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างร่างแหที่มีลักษณะสม่ำเสมอเป็นรูปแบบ เดียวกัน และเมื่อพิจารณาการเตรียมวัสดุประกอบด้วยวิธีดูดซับ พบว่ามีค่า  $T_m$  อยู่ในช่วง 75 – 89 °C ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง และมีค่า  $T_m$  ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณไซลิทอลเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าวิธีการดูดซับมีการแพร่ของไซลิทอลเข้าไปอยู่ในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานที่ไม่ สม่ำเสมอ เนื่องจากในการเตรียมวัสดุประกอบด้วยวิธีดูดซับ เป็นวิธีที่มีการสร้างโครงสร้างร่างแหของ โคโตซานก่อน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายไซลิทอล เพื่อให้ไซลิทอลสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้าง ร่างแหของโคโตซาน ซึ่งไซลิทอลจะแพร่เข้าไปในโครงสร้างร่างแหได้ เนื่องจากการบวมตัวของ โครงสร้างร่างแห ส่งผลให้มีขนาดผลึกและ/หรือปริมาณของไซลิทอลในแต่ละตำแหน่งในโครงสร้าง ร่างแหแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเตรียมวัสดุประกอบด้วยการใช้ความเข้มข้นของไซลิทอล สูง จะส่งผลให้อาจมีไซลิทอลอยู่บริเวณที่ผิวมากกว่าการแพร่เข้าไปในโครงสร้างร่างแห

ในการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเชื่อมโยง TPP ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ TPP จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยรวมจะเห็นได้ว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ โคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2 (2TPP) จะมีค่า  $T_m$  และค่า  $\Delta H_m$  ต่ำกว่าวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ TPP 1:1 (TPP) ผลดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นผลจากการ เชื่อมโยงภายในโครงสร้างร่างแหที่ต่างกัน โดยสารตัวอย่าง 2TPP ที่มีการเชื่อมโยงที่สูงกว่า สารตัวอย่าง TPP จะมีผลทำให้ผลึกไซลิทอลที่แทรกตัวอยู่มีขนาดเล็กกว่าและ/หรือปริมาณไซลิทอลที่ ต่ำกว่าในสารตัวอย่าง TPP จึงมีการเชื่อมโยงในโครงสร้างร่างแหน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาค [Chi-TPP] เริ่มต้นและวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP แตกต่างกันคือ 1:1 และ 1:2 และวิธีการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่แตกต่างกัน



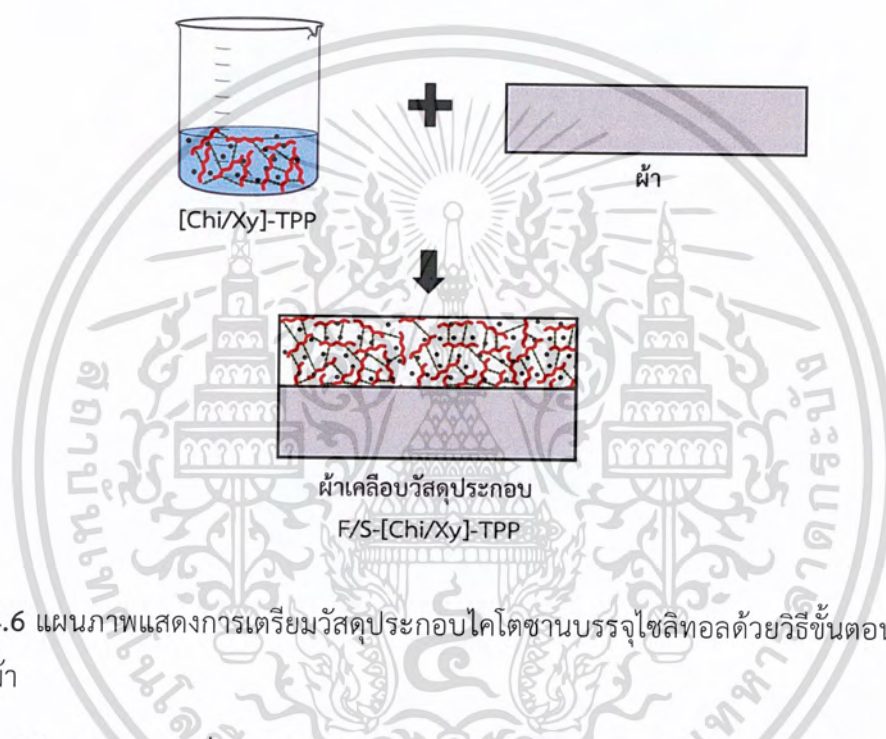
รูปที่ 4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงพื้นผิวภายนอกของอนุภาค [Chi-TPP] เริ่มต้นและวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล (A) [Chi-TPP] (B) [Chi-2TPP] (C) S-[Chi-Xy]-TPP และ (D) Ad-[Chi-TPP]-Xy

ในรูปที่ 4.5 (A) ลักษณะพื้นผิวของอนุภาค [Chi-TPP] ที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 และรูปที่ 4.5 (B) ลักษณะพื้นผิวของอนุภาค [Chi-2TPP] ที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2 พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่มีผลึกเป็นแท่ง โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2 จะมีผลึกลักษณะดังกล่าวปกคลุมบนพื้นผิวอนุภาคมากกว่าการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 โดยผลึกดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นผลึก TPP แต่เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล จะเห็นได้ว่ามีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างจากอนุภาคไคโตซานที่ปราศจากไซลิทอล โดยจากรูปที่ 4.5 (C) และ (D) มีวิธีการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่แตกต่างกัน พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ไม่แตกต่างกัน โดยลักษณะพื้นผิวที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเกล็ด เนื่องจากมีผลึกของไซลิทอลบรรจุอยู่บนพื้นผิวภายนอก

## 4.2 การเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลเคลือบลงบนผ้า

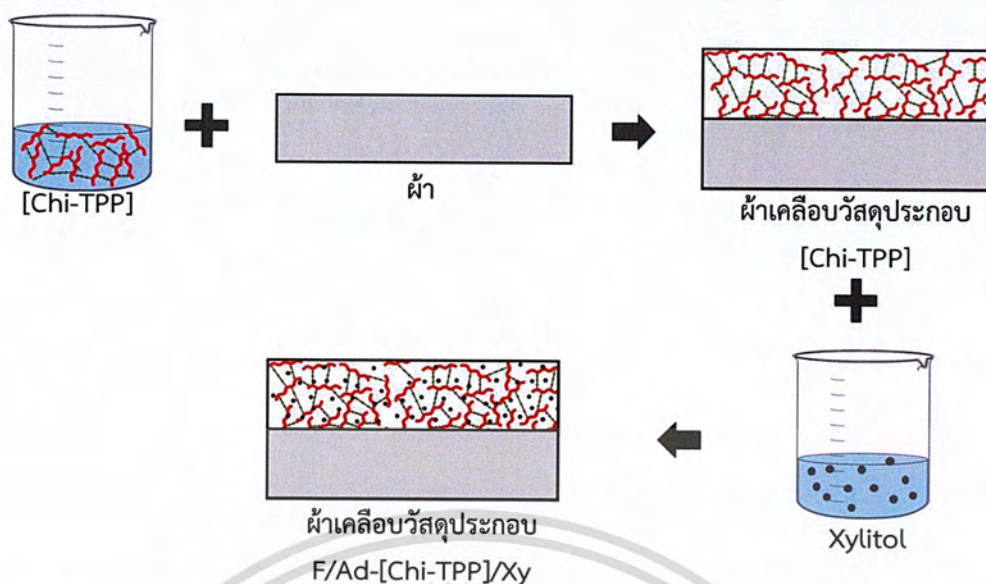
### 4.2.1 แผนภาพการเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลเคลือบลงบนผ้า

ในการเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลเคลือบลงบนผ้าแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลโดยวิธีขั้นตอนเดียว โดยการเตรียมสารละลาย S-[Chi/Xy]-TPP จากนั้นนำผ้าลงไปแช่ในสารละลายที่มีวัสดุประกอบที่เตรียมได้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi/Xy]-TPP ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 25 นาที เกิดเป็นผ้าที่เคลือบด้วยสารผลิตภัณฑ์ F/S-[Chi/Xy]-TPP ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลด้วยวิธีขั้นตอนเดียวเคลือบลงบนผ้า

วิธีการรูปแบบที่ 2 การเตรียมวัสดุประกอบโดยวิธีดูดซับ โดยการเตรียมสารละลาย [Chi-TPP] ก่อน จากนั้นนำผ้าลงไปแช่เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำผ้าที่อบให้แห้งเสร็จแล้วมาแช่ไฮลิตอลเป็นเวลา 5 นาที เพื่อสามารถดูดซับไฮลิตอลเข้าไปบรรจุในวัสดุประกอบที่เตรียมไว้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 15 นาที เกิดเป็นผ้าที่เคลือบด้วยสารผลิตภัณฑ์ F/Ad-[Chi-TPP]/Xy ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โมเดลแสดงการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 เคลือบลงบนผ้า

#### 4.2.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลเคลือบลงบนผ้า

เมื่อนำวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมลงบนผ้าเตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยมีปริมาณสารเชื่อมโยง TPP ที่แตกต่างกัน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซาน ต่อ TPP ที่มีอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 รวมถึงเปลี่ยนแปลงปริมาณไซลิทอลที่บรรจุในอนุภาค [Chi-TPP] ที่มีปริมาณ 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 g. มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และความร้อนแฝงในการหลอมเหลว ( $\Delta H_m$ ) ของวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เคลือบลงบนผ้า

สารตัวอย่าง	วิธีการเตรียมวัสดุประกอบ	ปริมาณไซลิทอล (g)	$T_m$ (°C)		$\Delta H_m$ (J/g)	
			TPP	2TPP	TPP	2TPP
F/S-[Chi/1.5Xy]-TPP	รูปแบบที่ 1 (ชั้นตอนเดียว)	1.5	80.38	N/A	6.79	N/A
F/S-[Chi/2.0Xy]-TPP		2.0	81.83	N/A	13.03	N/A
F/S-[Chi/2.5Xy]-TPP		2.5	88.54	70.8	19.87	9.69
F/S-[Chi/3.0Xy]-TPP		3.0	82.88	73.98	31.77	13.46
F/S-[Chi/3.5Xy]-TPP		3.5	90.63	74.78	64.92	14.19
F/Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy	รูปแบบที่ 2 (ดัดซับ)	1.5	93.23	89.32	50.91	14.14
F/Ad-[Chi-TPP]/2.0Xy		2.0	92.73	91.53	81.89	66.12
F/Ad-[Chi-TPP]/2.5Xy		3.0	93.16	92.54	96.58	65.03
F/Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy		3.0	93.42	92.39	98.61	78.76
F/Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy		3.5	93.00	92.68	96.86	81.41

หมายเหตุ : ในการคำนวณ ค่า  $\Delta H$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบจึงมีค่าต่ำกว่าค่าจริงเนื่องจากน้ำหนักตัวอย่างประกอบด้วยไซลิทอลและโครงสร้างร่างแห [Chi-TPP]

จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีชั้นตอนเดียว พบว่าในกรณีที่เตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล โดยมีอัตราส่วนของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 และปรับเปลี่ยนปริมาณไซลิทอลที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่า  $T_m$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบมีค่าใกล้เคียงกัน

โดยเมื่อเพิ่มปริมาณไซลิทอลในช่วง 1.5 – 3.0 g พบว่าค่า  $T_m$  และ  $\Delta H_m$  ของไซลิทอลในวัสดุประกอบมีค่าต่ำกว่าไซลิทอลบริสุทธิ์ ผลดังกล่าวสันนิษฐานว่าเนื่องมาจากผลึกไซลิทอลที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างร่างแหของไคโตซานบนผ้ามีขนาดเล็กจึงสามารถหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าไซลิทอลบริสุทธิ์และใช้ปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวที่ต่ำกว่าด้วย แต่เมื่อใช้ปริมาณไซลิทอลมากถึง 3.5 g พบว่าค่า  $T_m$  มีค่าสูงใกล้เคียงกับไซลิทอลบริสุทธิ์ จึงเป็นไปได้ว่า ไซลิทอลมีปริมาณมากเกินไป ทำให้ไซลิทอลบางส่วนอยู่ภายนอกโครงสร้างร่างแหของไคโตซาน

ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีดัดซับ พบว่าไซลิทอลมีค่า  $T_m$  และค่า  $\Delta H_m$  ใกล้เคียงกับไซลิทอลบริสุทธิ์ เนื่องจากการเตรียมวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุ

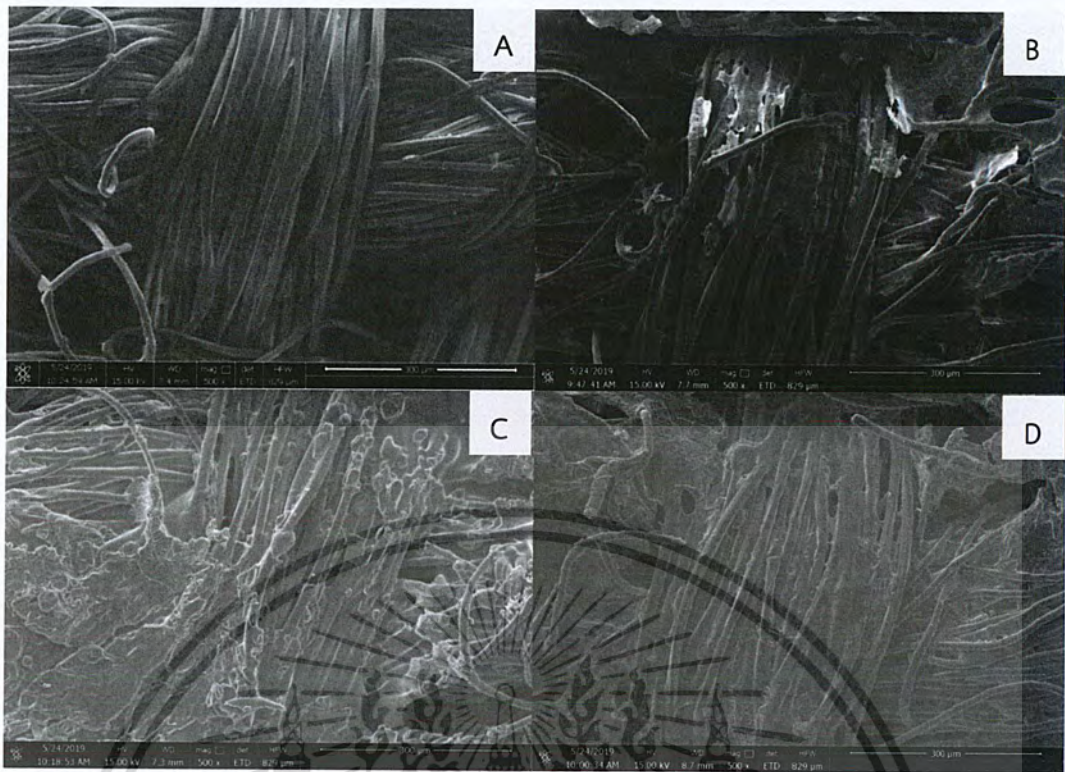
ไซลิทอลด้วยวิธีดัดซับ เป็นวิธีที่เคลือบผ้าไคโตซานที่เชื่อมโยงแล้วนำไปอบแห้ง ทำให้โครงสร้างไม่ว้ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างแหโคโตซานบนผ้ามีความแน่นตัวมากขึ้น เมื่อนำไปดูดซับไซลิทอลเข้าไปในโครงสร้างร่างแห ทำให้ไซลิทอลสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างร่างแหได้ยาก ไซลิทอลส่วนหนึ่งจึงเกาะอยู่บนผิวภายนอก จึงพบว่าไซลิทอลในวัสดุประกอบที่เตรียมด้วยวิธีนี้มีค่า  $T_m$  และค่า  $\Delta H_m$  สูง สันนิษฐานว่ามีไซลิทอลส่วนใหญ่อาศัยอยู่ภายนอกโครงสร้างร่างแห

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของโคโตซานต่อ TPP จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยเคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลบนผ้าด้วยวิธีขั้นตอนเดียว พบว่าเมื่อใช้ปริมาณไซลิทอลน้อย ทำให้มีสัดส่วนโดยปริมาณของไซลิทอลต่อผ้าเคลือบโคโตซานน้อยมาก จึงไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ไซลิทอลได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไซลิทอลให้มากขึ้น ทำให้สัดส่วนโดยปริมาณของไซลิทอลต่อผ้าเคลือบโคโตซานมีสัดส่วนมากขึ้น จึงสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ โดยพบว่าผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลมีค่า  $T_m$  ของไซลิทอลต่ำกว่าไซลิทอลบริสุทธิ์ สันนิษฐานได้ว่า มีไซลิทอลที่มีผลึกขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างร่างแห ในขณะที่ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีดูดซับ พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของโคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 และ 1:2 มี  $T_m$  ของไซลิทอลมีค่าไม่แตกต่างกันมากและมีค่าสูงใกล้เคียงไซลิทอลบริสุทธิ์ ผลดังกล่าวแสดงว่ามีไซลิทอลส่วนใหญ่อยู่ภายนอกโครงสร้างร่างแหของโคโตซานที่เคลือบบนผ้า และปริมาณ TPP ที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างร่างแหอย่างหนาแน่น ส่งผลให้ไซลิทอลถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างร่างแหได้ยาก ปริมาณไซลิทอลบนผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบจึงมีปริมาณไซลิทอลล้นลง จึงมีค่า  $\Delta H_m$  ลดลง

#### 4.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงพื้นผิวภายนอกของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอล

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลและผ้าที่ไม่ได้เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอล



รูปที่ 4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงพื้นผิวภายนอกของวัสดุประกอบที่เคลือบลงบนผ้าของ (A) ผ้าที่ไม่ได้เคลือบวัสดุประกอบ (B) ผ้าที่เคลือบอนุภาค [Chi-TPP] (C) ผ้าที่เคลือบด้วยวิธีขั้นตอนเดียว และ (D) ผ้าที่เคลือบด้วยวิธีดูดซับ

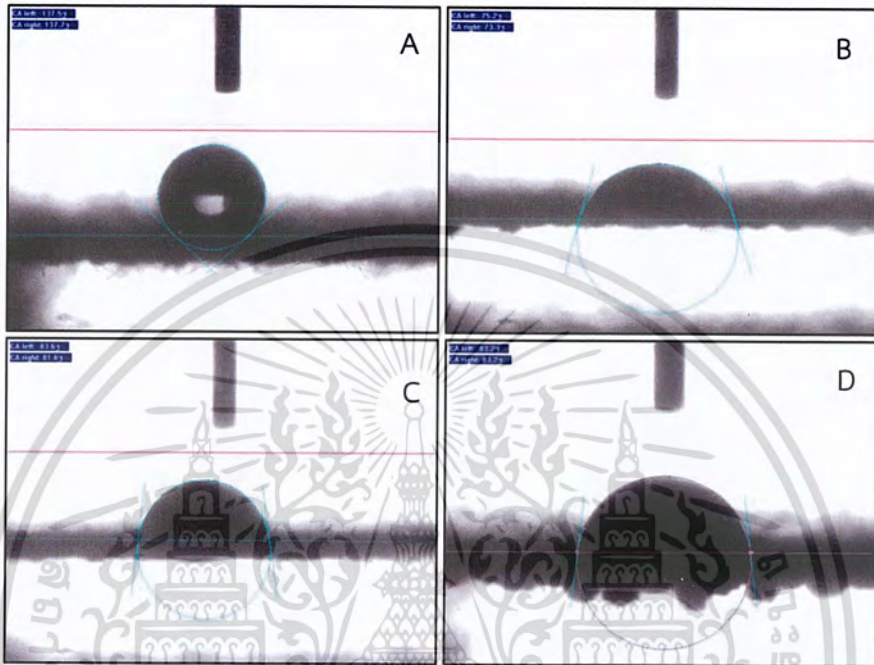
ในรูปที่ 4.8 (A) เป็นลักษณะพื้นผิวของเส้นด้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรจุไฮลิตอล มีผิวเรียบ ในขณะที่ผ้าที่มีการเคลือบ [Chi-TPP] โดยปราศจากไฮลิตอล ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (B) มีลักษณะพื้นผิวของเส้นด้ายเปลี่ยนแปลงไป เห็นได้ชัดเจนว่าเส้นด้ายมีบางบริเวณที่มีสารเคลือบ [Chi-TPP] ปกคลุมระหว่างเส้นด้ายซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 4.8 (A)

ในรูปที่ 4.8 (C) เป็นผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi-Xy]-TPP และรูปที่ 4.8 (D) เป็นผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ Ad-[Chi-TPP]-Xy พบว่าวัสดุประกอบโคโตซานบรจุไฮลิตอล เมื่อเคลือบลงบนผ้า ผลึกของไฮลิตอลจะเข้าไปปิดช่องว่างระหว่างเส้นด้ายจากรูปที่ 4.8 (B) ที่ปราศจากไฮลิตอล ทำให้มีลักษณะพื้นผิวที่แน่นตัวกว่าเดิม ดังนั้นเมื่อมีปริมาณไฮลิตอลเพิ่มขึ้น ก็จะพบลักษณะพื้นผิวที่เป็นผลึกของไฮลิตอลแน่นตัวขึ้นตามไปด้วย จึงสันนิษฐานว่าการเคลือบวัสดุประกอบลงบนผ้า อาจจะมีปริมาณของไฮลิตอลที่บรรจุอยู่ทั้งภายในและภายนอกวัสดุประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 สมบัติการชอบน้ำของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล

การทดสอบสมบัติความชอบน้ำของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่ เมื่อย่น้ำลงบนผ้าที่มีการเคลือบด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแพร่กระจายของหยดน้ำที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การทดสอบสมบัติความชอบน้ำของผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโดย (A) ผ้าที่ไม่ได้เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล (B) ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] (C) ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi/1.5Xy]-TPP และ (D) ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ S-[Chi/3.5Xy]-TPP

จากรูปที่ 4.9 (A) พบว่าผ้าที่ไม่มีการเคลือบผิว มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามากเท่ากับ  $137.7^\circ$  ทำให้หยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม ไม่เกิดการแพร่กระจายบนผิวผ้า จึงแสดงถึงความไม่ชอบน้ำของผ้า ผลดังกล่าวสันนิษฐานได้ว่าผ้าที่นำมาใช้มีการปรับปรุงพื้นผิวมาก่อน ทำให้น้ำสามารถแพร่ได้ช้า ในขณะที่รูปที่ 4.9 (B) พบว่าผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาค [Chi-TPP] เมื่อย่น้ำลงบนผิวผ้า มีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวน้อย โดยมีมุมสัมผัสเท่ากับ  $73.3^\circ$  น้ำจึงเกิดการแพร่กระจายบนพื้นผิวสัมผัสอย่างรวดเร็ว จึงแสดงให้เห็นว่าผ้าที่ถูกเคลือบด้วย [Chi-TPP] มีความชอบน้ำสูงกว่าผ้าที่ปราศจากการเคลือบ เนื่องจากในการเตรียมสารเคลือบ [Chi-TPP] มีการใช้กรดแอสติคเป็นตัวทำละลาย จึงเกิดการกำจัดสารเคลือบบนพื้นผิวของผ้า อีกทั้งยังมีชั้น [Chi-TPP] บนผิวผ้า ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำ จึงทำให้น้ำสามารถแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็ว

จากรูปที่ 4.9 (C) และรูปที่ 4.9 (D) พบว่าผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ S-[Chi/1.5Xy]-TPP และ S-[Chi/3.5Xy]-TPP เมื่อย่น้ำลงบนผิวผ้า เกิดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวเท่ากับ  $81.6^\circ$  และ  $83.2^\circ$  ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบที่มีไฮลิตอลผสมอยู่ ยังมี

ปริมาณไซลิทอลเพิ่มสูงขึ้นก็ยิ่งทำให้น้ำที่หยดลงบนผิวผ้ามีมุมสัมผัสที่สูงขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่าผ้าที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลมีความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น น้ำที่หยดลงไปจึงเกิดการแพร่กระจายได้ช้าลง

#### 4.2.5 สมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอล

- สมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลจากวิธีการรูปแบบที่ 1

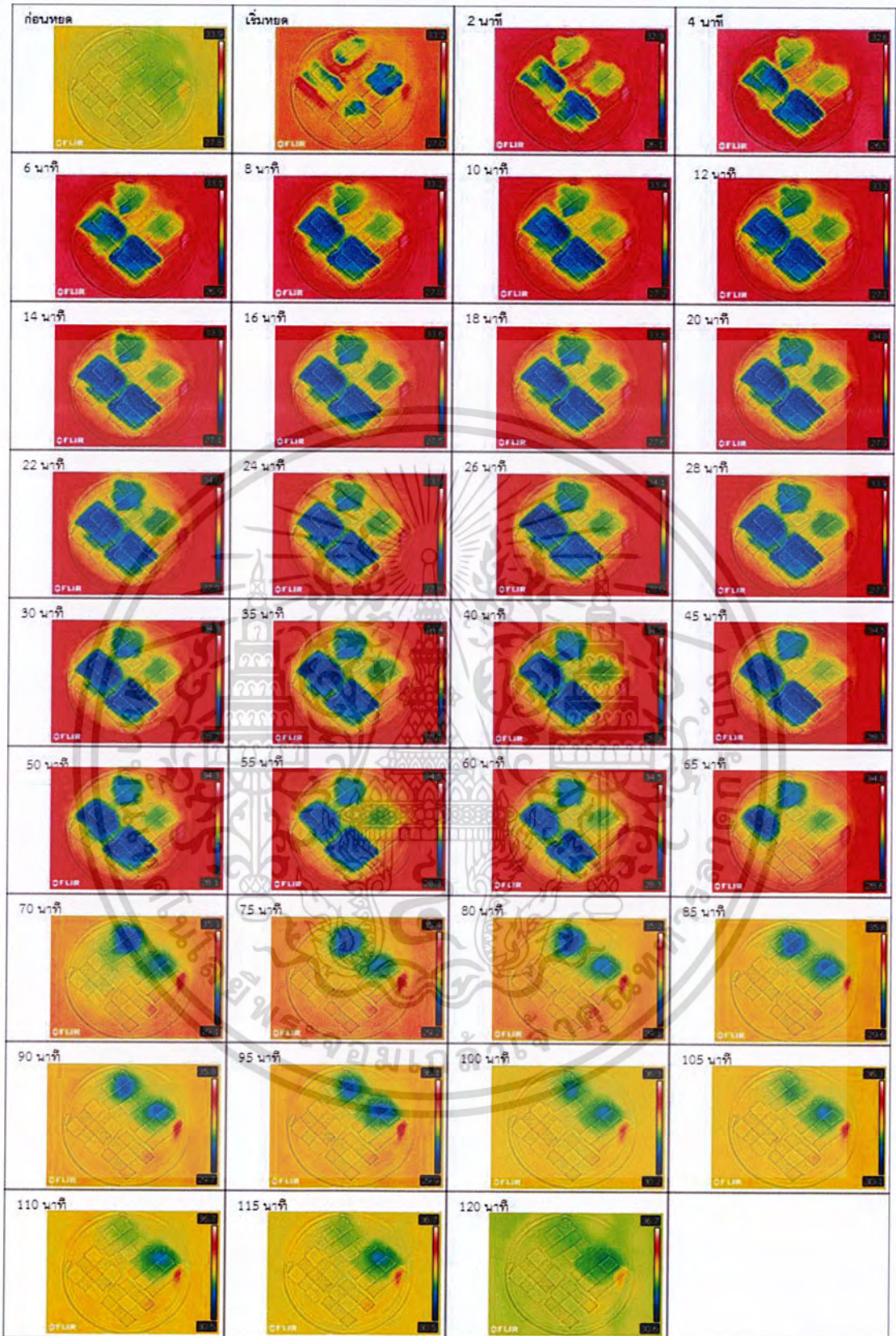
เมื่อนำผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 และมีปริมาณไซลิทอลที่แตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมดูดความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยการหยดน้ำลงบนผ้าในปริมาณ 60  $\mu\text{l}$  จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผ้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 1 ประกอบด้วย ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/1.5Xy]-TPP และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.5Xy]-TPP เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของผ้าเมื่อเริ่มหยดน้ำบนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไซลิทอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.10 ที่ระยะเวลา

ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 เมื่อนำผ้าก่อนการเคลือบผิวและผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ S-[Chi/1.5Xy]-TPP และผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบ S-[Chi/3.5Xy]-TPP มาหยดน้ำลงไปบนผ้าเพื่อสังเกตสมบัติการดูดความร้อนของผ้าทั้ง 4 ผืน ด้วยกล้องถ่ายภาพทางความร้อน

ในรูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อนพบว่าเมื่อเริ่มหยดน้ำบริเวณผ้าจะมีสีฟ้า เขียว และเหลือง ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่ลดต่ำลงของผ้า ในขณะที่บริเวณรอบนอกซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีสีแดง เมื่อเริ่มหยดน้ำการลดลงของอุณหภูมิของผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบจะมีค่าน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบ ทั้งนี้สอดคล้องกับผลของการทดสอบมุมสัมผัสที่แสดงว่า ผ้าก่อนการเคลือบมีสมบัติความชอบน้ำต่ำกว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบ ทำให้เมื่อหยดน้ำลงไปในช่วงแรกน้ำไม่เกิดการแพร่เข้าไปยังผิวผ้า ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการเคลือบ สารเคลือบสามารถดูดซับน้ำได้ดี จึงมีสมบัติความชอบน้ำมากกว่าและเมื่อหยดน้ำลงไปจะเกิดการแพร่เข้าไปในเส้นด้ายอย่างรวดเร็ว ทำให้แสดงสมบัติการดูดความร้อนได้ดีกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เมื่อเวลาผ่านไปในช่วง 2 – 60 นาที พบว่าผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าที่เคลือบด้วย [Chi-TPP] น้ำจะค่อยๆ แพร่บนผิวผ้า เมื่อสังเกตจากกล้องถ่ายภาพความร้อนทำให้เกิดสีฟ้ามากขึ้น แสดงถึงอุณหภูมิที่ลดต่ำลงเนื่องจากการแพร่ของน้ำ จึงแสดงความเย็นมากกว่า แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 65 นาที ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าที่เคลือบด้วย [Chi-TPP] จะมีสีฟ้าลดลงและหายไป ในเวลาต่อมา ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำจะค่อยๆ ระเหยออกไป ทำให้ผ้ามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง

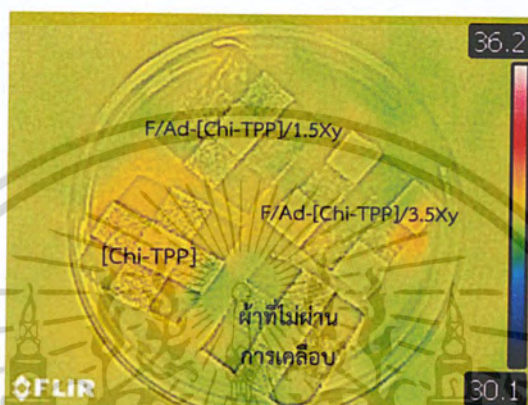
ในทางตรงกันข้ามผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล เมื่อเริ่มหยดน้ำ น้ำจะเริ่มแพร่เข้าไปละลายไฮลิตอล สังเกตภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมีสีฟ้าเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าไฮลิตอลเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนขึ้น ทำให้บริเวณผ้ามีอุณหภูมิลดต่ำลงแต่ในการลดลงของอุณหภูมิจะค่อยๆ เกิดอย่างช้าๆ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป ผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอล จะยังสามารถคงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะรอบข้างได้ยาวนานกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าที่เคลือบด้วย [Chi-TPP]

จากการพิจารณาผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 พบว่าผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.5Xy]-TPP ที่มีปริมาณไฮลิตอลมาก จะรักษาความเย็นได้นานกว่าผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/1.5Xy]-TPP

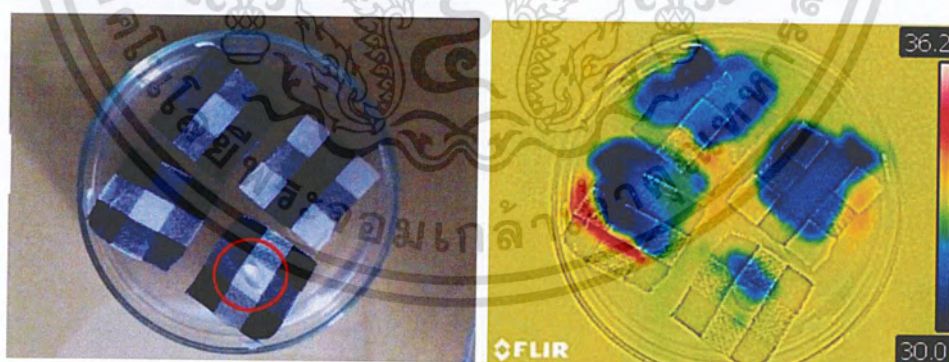
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2

เมื่อนำผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 และมีปริมาณไฮลิทอลที่แตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมการดูดความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยการหยดน้ำลงบนผ้าในปริมาณ 60  $\mu\text{l}$  จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผ้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.15

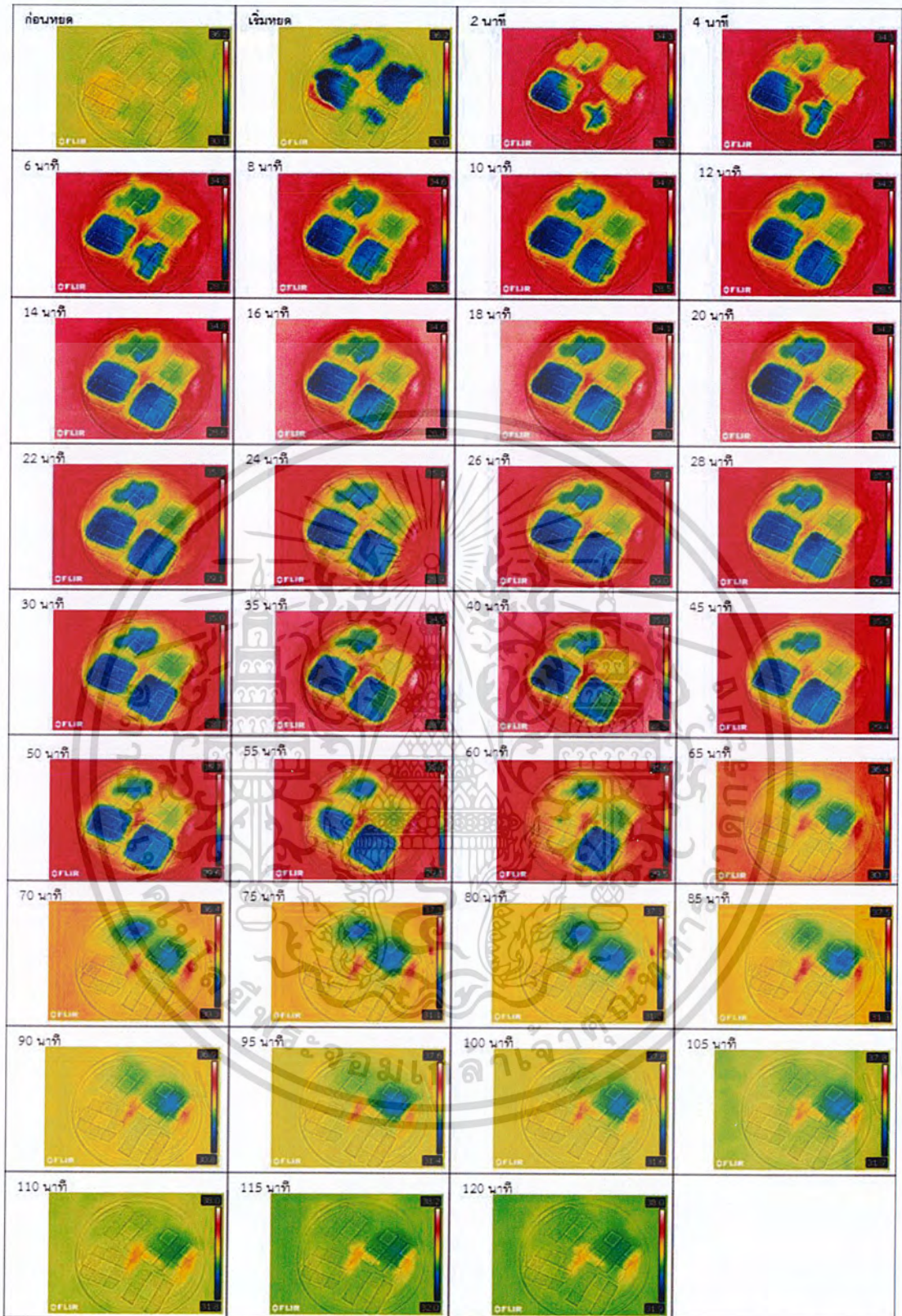


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 2 ประกอบด้วย ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของผ้าเมื่อเริ่มหยดน้ำบนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.13 ที่ระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 เมื่อนำผ้าก่อนการเคลือบผิวและผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ Ad-[Chi-TPP]/1.5Xy และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ Ad-[Chi-TPP]/3.5Xy มาหยดน้ำลงไปบนผ้าเพื่อสังเกตสมบัติการดูดความร้อนของผ้าทั้ง 4 ผืน ด้วยกล้องถ่ายภาพทางความร้อน

ในรูปที่ 4.14 พบว่าผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ เป็นผ้าที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเนื่องจากเมื่อเริ่มหยดน้ำลงไป ไม่เกิดการแพร่ของน้ำจึงแสดงความเย็นได้น้อยกว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบ แต่เมื่อเวลาผ่านไป น้ำจะค่อยๆ แพร่ลงไปบนผิวผ้า ทำให้มีความเย็นมากขึ้น ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการเคลือบ [Chi-TPP] และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิตอล จะมีความชอบน้ำมากกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ เนื่องจากการแพร่ของน้ำอย่างรวดเร็วจึงทำให้ภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนมีสีฟ้าตั้งแต่เริ่มหยดน้ำ โดยในรูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของผ้าที่มีการเคลือบต่างกันทั้ง 4 ผืน ที่เวลาใดๆ พบว่าในช่วงแรกผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ จะค่อยๆ แสดงความเย็นเพิ่มขึ้น (สีเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีฟ้า) เนื่องจากน้ำที่แพร่เข้าไปในผ้าอย่างช้าๆ และผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิตอล น้ำที่หยดลงไปจะเข้าไปทำการละลายไฮลิตอล ส่งผลให้ไฮลิตอลแสดงอุณหภูมิที่ต่ำลงบนผิวผ้าอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งเวลา 65 นาที เป็นต้นไป ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] น้ำจะค่อยๆ ระเหยออกไปจนทำให้บนผิวผ้ามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการเคลือบวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิตอลด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 สามารถแสดงสมบัติการดูดความร้อนจากสภาวะแวดล้อมเพื่อละลายไฮลิตอลในโครงสร้างร่างแหได้ดี ทำให้ภาพถ่ายความร้อนเห็นบริเวณผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบที่มีไฮลิตอลเป็นสีฟ้าตั้งแต่เริ่มหยดน้ำ และเมื่อมีระยะเวลาเพิ่มขึ้น ก็ยังสามารถคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะแวดล้อมได้ยาวนานกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] โดยวัสดุประกอบที่มีปริมาณไฮลิตอลมาก ก็ยังสามารถคงระดับอุณหภูมิต่ำได้นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

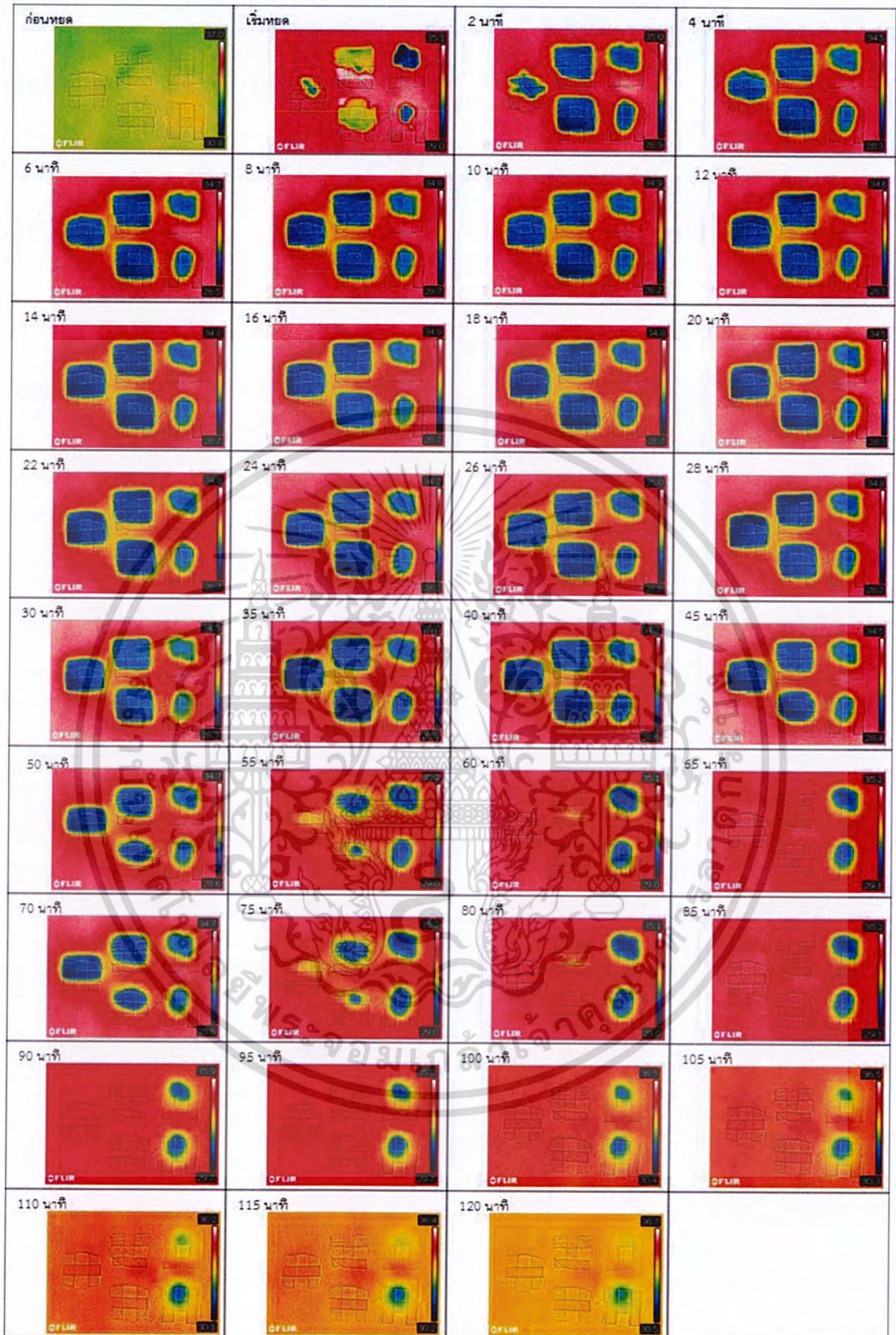
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบสมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับปริมาณสารเชื่อมโยง

เมื่อนำผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยปรับปริมาณสารเชื่อมโยงที่ต่างกันไปมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยการวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยการหยดน้ำลงบนผ้าในปริมาณ 60  $\mu\text{l}$  จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผ้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าก่อนการหยดน้ำ ประกอบด้วย ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ผ้าที่เคลือบ [Chi-TTPP] ผ้าที่เคลือบ [Chi-2TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.0Xy]-TPP และผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/S-[Chi/3.0Xy]-2TPP ที่เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 1 (วิธีขั้นตอนเดียว)



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.16 ที่ระยะเวลา

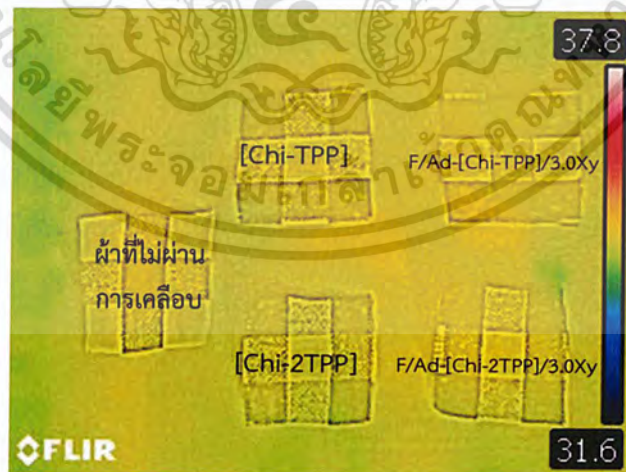
ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 โดยมีปริมาณไฮลิตอลเท่ากัน แต่มีปริมาณสารเชื่อมโยง TPP แตกต่างกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1 และ 1:2 พบว่าในช่วงแรกผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบที่มีปริมาณ TPP น้อย น้ำสามารถแพร่ได้เร็วกว่าผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบที่มีปริมาณ TPP มาก จึงทำให้น้ำสามารถเข้าไปละลายไฮลิตอลได้เร็ว (ภาพถ่ายที่เริ่มหยด) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปตั้งแต่ 2 นาทีขึ้นไป จะเห็นว่าตัวอย่างที่มีไฮลิตอลจะทำให้ผ้าสามารถคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำลงได้ทั้งคู่ แต่ผ้าที่เตรียมโดยใช้ปริมาณ TPP มากกว่า จะคงอุณหภูมิที่ต่ำได้นานกว่า ทั้งนี้สันนิษฐานว่าตัวอย่างที่ใช้ 2TPP จะมีการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างร่างแหของโคโตซานที่แน่นกว่า ส่งผลให้น้ำสามารถแพร่เข้าไปละลายไฮลิตอลได้อย่างช้าๆ จึงสามารถคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำลงได้ยาวนานกว่า ถึงแม้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าหากมีปริมาณ TPP ที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีค่า  $\Delta H_m$  ที่แสดงถึงปริมาณไฮลิตอลลดลงก็ตาม

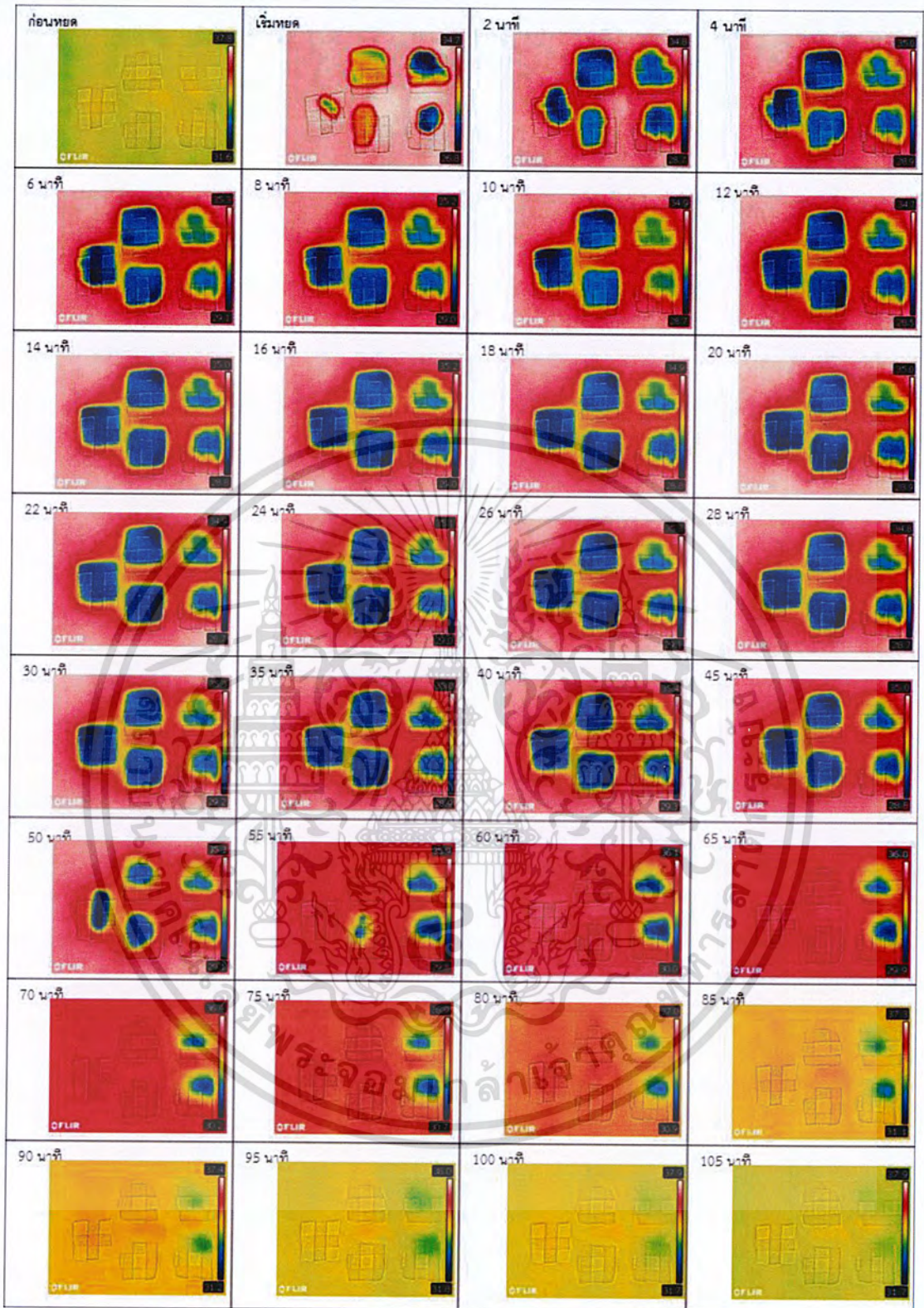
- การเปรียบเทียบสมบัติการดูดความร้อนของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 โดยปรับปริมาณสารเชื่อมโยง

เมื่อนำผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่เตรียมจากวิธีการรูปแบบที่ 2 โดยปรับปริมาณสารเชื่อมโยงที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยการวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยการหยดน้ำลงบนผ้าในปริมาณ 60  $\mu\text{l}$  จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผ้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายความร้อนของผ้าก่อนการหยดน้ำ ประกอบด้วย ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ผ้าที่เคลือบ [Chi-2TPP] ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-TPP]/3.0Xy และ ผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบ F/Ad-[Chi-2TPP]/3.0Xy ที่เตรียมด้วยวิธีรูปแบบที่ 2 (วิธีการดูดซับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของ Fraunhofer IPA และ Fraunhofer IPA ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อการค้าและการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายความร้อนแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผ้าในรูปที่ 4.16 ที่ระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตนานบรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 โดยมีปริมาณไซลิทอลเท่ากัน แต่มีปริมาณสารเชื่อมโยง TPP แตกต่างกัน ซึ่งในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตนานต่อ TPP ที่ 1:1 และ 1:2 เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตนานบรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 แม้จะมีปริมาณสารเชื่อมโยง TPP แตกต่างกัน แต่ระยะเวลาที่สามารถคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สันนิษฐานว่าผ้าที่เคลือบด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 อาจมีไซลิทอลเคลือบอยู่บริเวณภายนอกและภายใน [Chi-TPP] จึงไม่เกิดการกักเก็บไซลิทอลไว้ ทำให้ความสามารถในการคงระดับของอุณหภูมิที่ต่ำมีระยะเวลาที่เร็วกว่าผ้าที่เคลือบด้วยวิธีการรูปแบบที่ 1 เนื่องจากว่าผ้าที่เคลือบด้วยวิธีการรูปแบบที่ 2 มีการนำผ้าที่เคลือบ [Chi-TPP] ไปอบให้แห้ง ทำให้ [Chi-TPP] มีความแน่นตัวจนไม่สามารถดูดซับไซลิทอลเข้าไปได้ แม้ว่าจะมีปริมาณอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโคโตนานต่อ TPP ที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

#### 5.1.1 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิกา

โครงการพิเศษนี้สามารถเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตร-พอลิฟอสเฟส (TPP) ที่บรรจุซิลิกาได้ด้วยวิธีการ 2 รูปแบบ คือ วิธีการขั้นตอนเดียว ซึ่งการบรรจุซิลิกาจะเกิดพร้อมกับการเชื่อมโยงของโคโตซานด้วย TPP และวิธีที่สองวิธีการดูดซับ เป็นการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานที่เชื่อมโยง TPP แล้วนำไปดูดซับซิลิกา ซึ่งในวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียวสามารถบรรจุซิลิกาในอนุภาควัสดุประกอบได้ดีกว่าแบบขั้นตอนดูดซับ โดยในวิธีแบบขั้นตอนเดียวผลึกของซิลิกาที่บรรจุอยู่ในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานจะมีขนาดเล็ก ในขณะที่วิธีแบบดูดซับมีการแพร่ของซิลิกาเข้าไปในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานไม่สม่ำเสมอจึงมีซิลิกาส่วนหนึ่งที่อยู่ที่ผิวด้านนอก

เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณซิลิกาที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณซิลิกาที่บรรจุอยู่ในวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของซิลิกาที่มากเกินไปจะส่งผลให้มีผลึกซิลิกาบางส่วนอยู่ภายนอกโครงสร้างร่างแหของโคโตซาน

เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิกาสูงขึ้น จะทำให้โครงสร้างร่างแหเกิดการเชื่อมโยงที่หนาแน่นขึ้น ดังนั้นจึงมีปริมาณซิลิกาที่ถูกบรรจุในวัสดุประกอบลดลง

#### 5.1.2 การเตรียมผ้าเคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิกา

โครงการพิเศษนี้สามารถเตรียมผ้าที่เคลือบวัสดุประกอบโคโตซานเชื่อมโยงด้วย TPP ที่บรรจุซิลิกาได้ด้วยวิธีการ 2 รูปแบบ เช่นเดียวกับการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิกา คือ วิธีการขั้นตอนเดียวและวิธีการดูดซับ

โดยในวิธีขั้นตอนเดียว พบว่าซิลิกาสามารถแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานที่เคลือบอยู่บนผิวผ้าได้ ในขณะที่วิธีการดูดซับพบว่าซิลิกาส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผิวด้านนอกของโครงสร้างร่างแห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผ้าเคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิโกลไปศึกษาสมบัติการดูดความร้อน เนื่องจากการละลายของซิลิโกล พบว่าในสูตรที่มีปริมาณซิลิโกลมากจะสามารถคงระดับอุณหภูมิที่ต่ำได้นานกว่าสูตรที่มีปริมาณซิลิโกลน้อย โดยในผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบที่เตรียมโดยใช้ปริมาณซิลิโกลเริ่มต้นเป็น 3.5 g และโซเดียมไตรฟอสเฟต 0.15 g สามารถรักษาระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะแวดล้อมได้เป็นระยะเวลา 120 นาที

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสมบัติความทนทานต่อการซักล้างของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิโกล
2. ควรปรับปรุงวิธีการเคลือบวัสดุประกอบโคโตซานบรรจุซิลิโกลลงบนผ้า เพื่อเพิ่มปริมาณวัสดุประกอบที่เคลือบลงบนผ้าให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาระดับอุณหภูมิให้ยาวนานขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สายรุ้ง นพทฤธี. 2556. “การเตรียมพอลิเมทิลครีเลตไมโครแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบไมโครซัสเพนชัน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล และอมตะ ทศนภักดี. 2554. “อุณหภูมิลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารเปลี่ยนสถานะในโครงสร้างผนังเพื่อการเพิ่มมวลความร้อน.” ในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [3] ดร.จวีรัตน์ ประสาร. 2546. “สิ่งทอปรับอุณหภูมิ.” *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ*. 31 : 16-19.
- [4] กขพร ชูชาติพงษ์, ชัญญูชิตา รัตนธน, พัชรมน ชัยเวชสกุล, สโรสินี ศิริวรเดชกุล, อธิชา กองแก้ว. 2562. **บทที่4 การเปลี่ยนแปลงของสาร.** [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/wwwchemnopee.com/home/neuxha/bth-thi-kar-peliynpaelng-khxng-sar>.
- [5] Tah Tong Textile Co., Ltd. 2019. **Cooling.** [Online]. Available : [https://en.tahtong.com.tw/index\\_down.php?openCatIDfor3=&openCatID=&CAhs=&firestpageset=1&SPID=27&IBig=5&ppd=13&productstyle=13&sele=shopbig\\_dm\\_no&searchname=](https://en.tahtong.com.tw/index_down.php?openCatIDfor3=&openCatID=&CAhs=&firestpageset=1&SPID=27&IBig=5&ppd=13&productstyle=13&sele=shopbig_dm_no&searchname=)
- [6] กนต์วัฒน์ หมาตสุเรน. 2555. “การเตรียมและการทดสอบของฟิล์มนาโนคอมพอสิตชีวภาพจากไคโตซานและไฮดรอกซีอะพาไทต์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [7] Siamchemi.com. 2561. **ไคโตซาน/ไคติน วิธีผลิต และประโยชน์ไคโตซาน/ไคติน.** [Online]. Available : <https://www.siamchemi.com>.
- [8] Carbohydrate Technology. 2561. **สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.** [Online]. Available : [https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4\\_6.html](https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4_6.html).
- [9] สุธิดา คงทอง. 2552. “ไคติน-ไคโตซาน.” *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*. 3(1) : 1-7.
- [10] ยวพร สอนศิริ. 2554. “ศึกษาการกักเก็บและปลดปล่อยสารโดยอนุภาคนาโนไคโตซาน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] สมปรารถนา วินิจฉัย, สัมฤทธิ์ กาญจนจิตร, อารีญา บุตรฤทธิ์. 2556. “ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียจากโรงอาหารโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [12] ป่วย อุ่นใจ. 2551. **ประโยชน์ของไคโตซาน**. [Online]. Available : <http://oknation.nationtv.tv/blog/print.php?id=246897>.
- [13] Anonymous. 2562. **Sodium triphosphate**. [Online]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_triphosphate](https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_triphosphate).
- [14] Pubchem. 2562. **Sodium tripolyphosphate**. [Online]. Available : [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium\\_tripolyphosphate#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium_tripolyphosphate#section=Top).
- [15] ThaiPolyChemicalsCompany. 2557. **Sodium Tripolyphosphate**. [Online]. Available : <http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/sodium-tripoly-phosphate.html>.
- [16] น้อย เนียมสา. 2556. “อนุภาคระดับไมโครของไคโตซานสำหรับใช้เป็นระบบนาส่งยาแบบควบคุมการปลดปล่อย.” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18(2) : 281-287.
- [17] อนุสิษฐ์ เกื้อกุล. 2562. **สารประกอบไอออนิก**. [Online]. Available : <https://scimath.org/lesson-chemistry/item/7183-2017-06-05-15-01-31>.
- [18] Hsieh F. M., Huang, C., Lin, T. F., Chen, Y. M., Lin, J. C. 2008. “Study of sodium tripolyphosphate-crosslinked chitosan beads entrapped with *Pseudomonas putida* for phenol degradation.” *Process Biochemistry*. 43(2008) : 83–92.
- [19] Anonymous. 2019. **Sugar alcohols**. [Online]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Sugar\\_alcohol#Common\\_sugar\\_alcohols](https://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_alcohol#Common_sugar_alcohols).
- [20] Zhang, H., Wissen, R. M. J., Nedea, S. V., Rindt, C. C. M., 2014. “Characterization of sugar alcohols as seasonal heat storage media experimental and theoretical investigations.” In *Eurotherm Seminar #99 Advances in Thermal Energy Storage*. Lleida : Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology.
- [21] Pubchem. 2562. **Xylitol**. [Online]. Available : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/xylitol#section=MS-MS>.
- [22] กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ. 2558. **ไซลิทอลสารให้ความหวานจากอุตสาหกรรมชีวภาพ**. [Slide]. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล กระทรวงอุตสาหกรรม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] Martínez, E. A., Canettieri, E. V., Bispo, J. A. C., Giulietti, M., Silva, J. B. A., Converti, A. 2015. “Strategies for Xylitol Purification and Crystallization: A Review.” *Separation Science and Technology*. 50(14) : 2087-2098.
- [24] ฌิรญา ก้อนสมบัติ. 2558. หมากฝรั่งปราศจากน้ำตาลป้องกันฟันผุได้จริงหรือ. [Online]. Available : <http://www.info.dent.nu.ac.th/dentalHospital/index.php/>.
- [25] Jainuknan, D. 2008. Xylitol. [Online]. Available : <https://disayaphong.wordpress.com/2008/11/08/xylitol/>.
- [26] อภัย ราชภูริจิตตร. 2562. ไซลิทอล. [Online]. Available : <http://haamor.com/th/>.
- [27] Wu, J., Wang, Y., Yang, H., Liu, X., Lu, Z. 2017. “Preparation and biological activity studies of resveratrol loaded ionically cross-linked chitosan-TPP nanoparticles.” *Carbohydrate Polymers*. 175 : 170-177.
- [28] Bicer, A. and Sari, A. 2012. “Synthesis and thermal energy storage properties of xylitol pentastearate and xylitol pentapalmitate as novel solid-liquid PCMs.” *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 102(2012) : 125-130.
- [29] Perez, J. J. and Francois, N. J. 2016. “Chitosan-starch beads prepared by ionotropic gelation as potential matrices for controlled release of fertilizers.” *Carbohydrate Polymers*. 148(2016) : 134-142.
- [30] Deshpande, P., Dapkekar, A., Oak, M. D., Paknikar, K. M., Rajwade, J. M. 2017. “Zinc complexed chitosan/TPP nanoparticles: a promising micronutrient nanocarrier suited for foliar application.” *Carbohydrate Polymers*. 165 : 394-401.
- [31] lamphaojeen, Y., Manian, A. P., Wright, T., Caven, B., Bechtold, T., Siriphannon, P. 2016. “Polyelectrolyte-Assisted Immobilization of Oil-Based Nanocapsules on Cotton Fabric.” *Aust. J. Chem.* 69 : 811-816.
- [32] lamphaojeen, Y. and Siriphannon, P. 2018. “Adjustable thermal barrier of cotton fabric by multilayer immobilization of PCM nanocapsules.” *Cellulose*. 25(6) : 3649-3661.
- [33] Barrio, E. P., Godin, A., Duquesne, M., Daranlot, J., Jolly, J., Alshaer, W., Kouadio, T., Sommer, A. 2017. “Characterization of different sugar alcohols as phase change materials for thermal energy storage applications.” *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 159(2017) : 560-569.

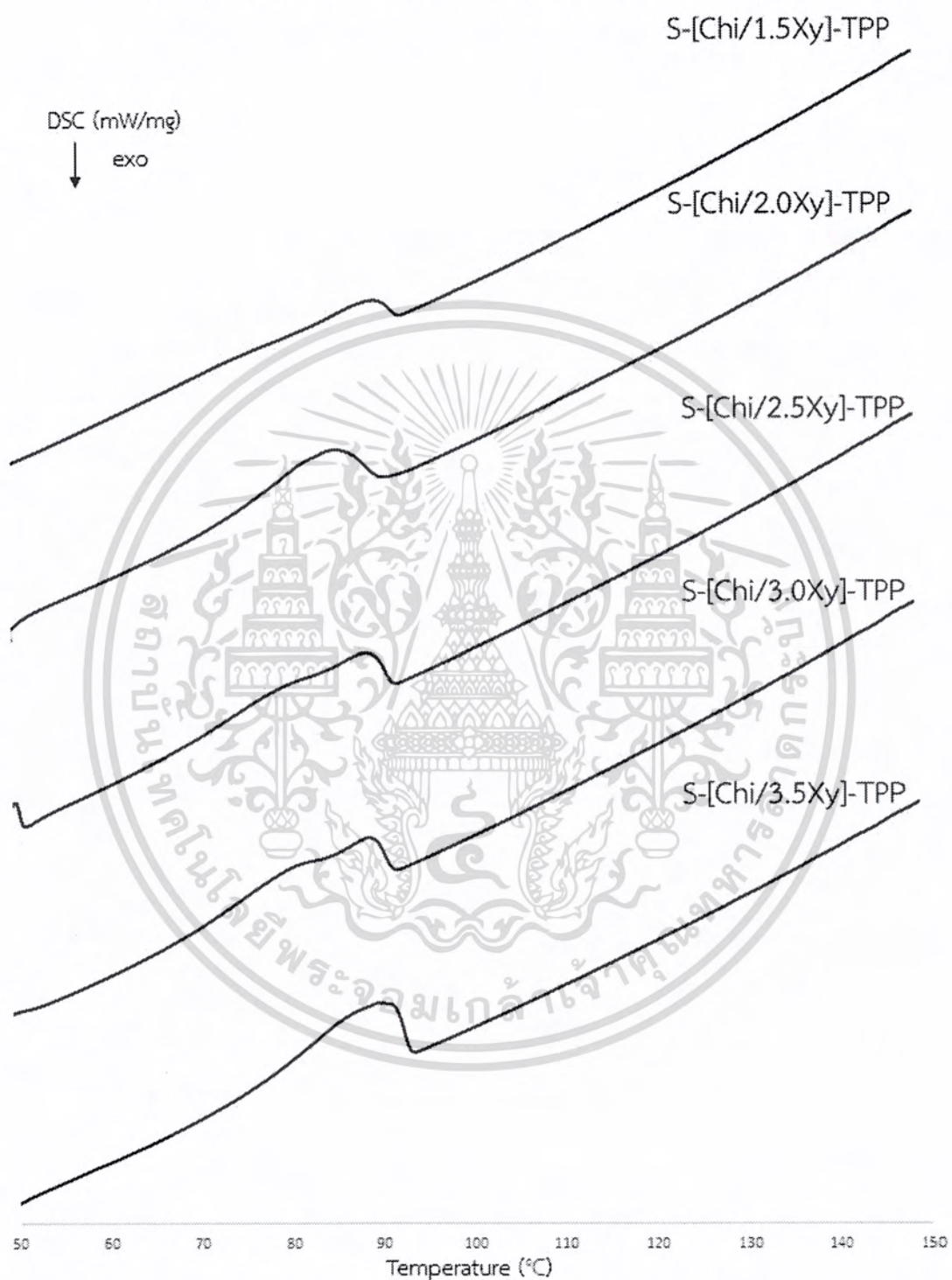
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

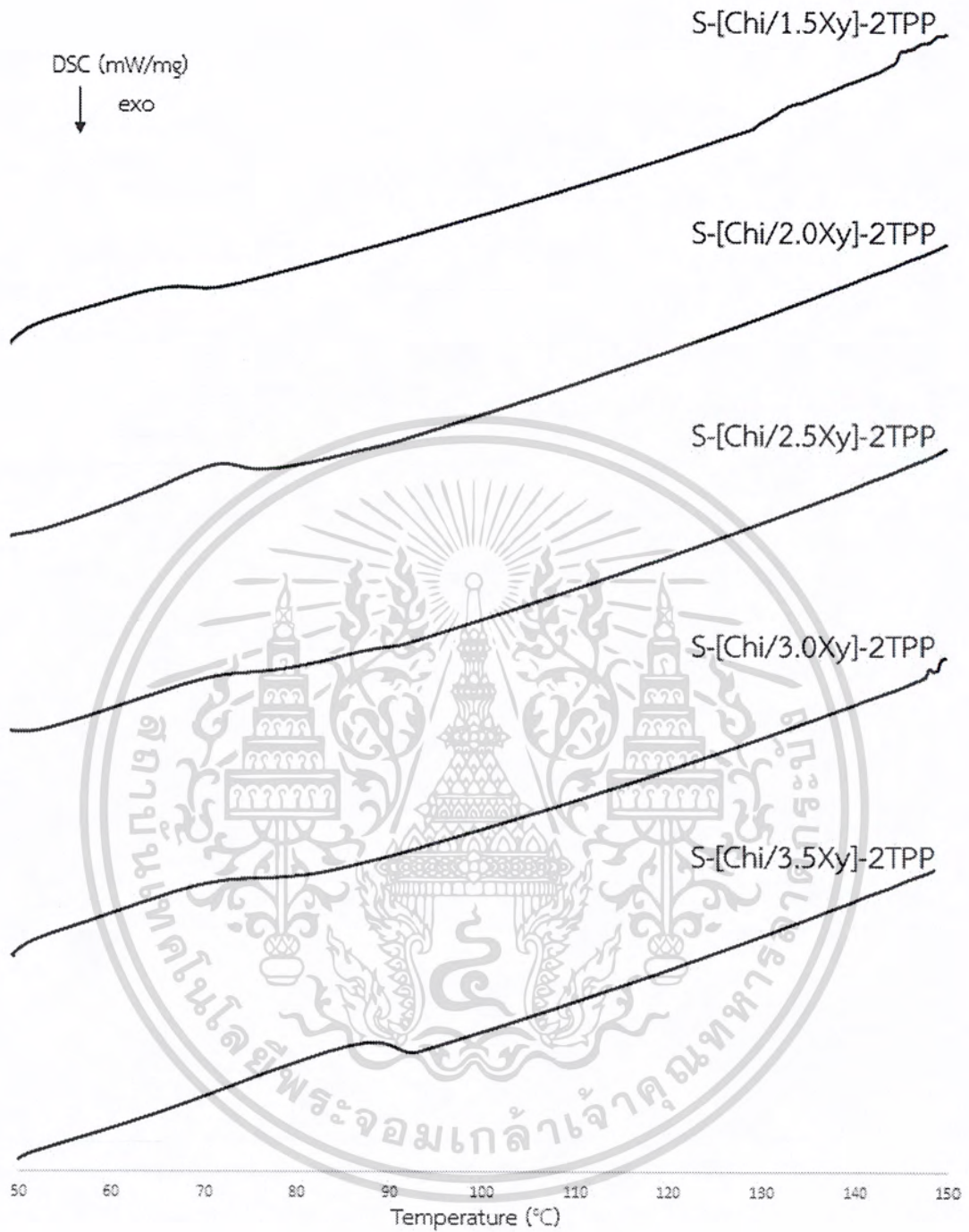
เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอล



รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธี

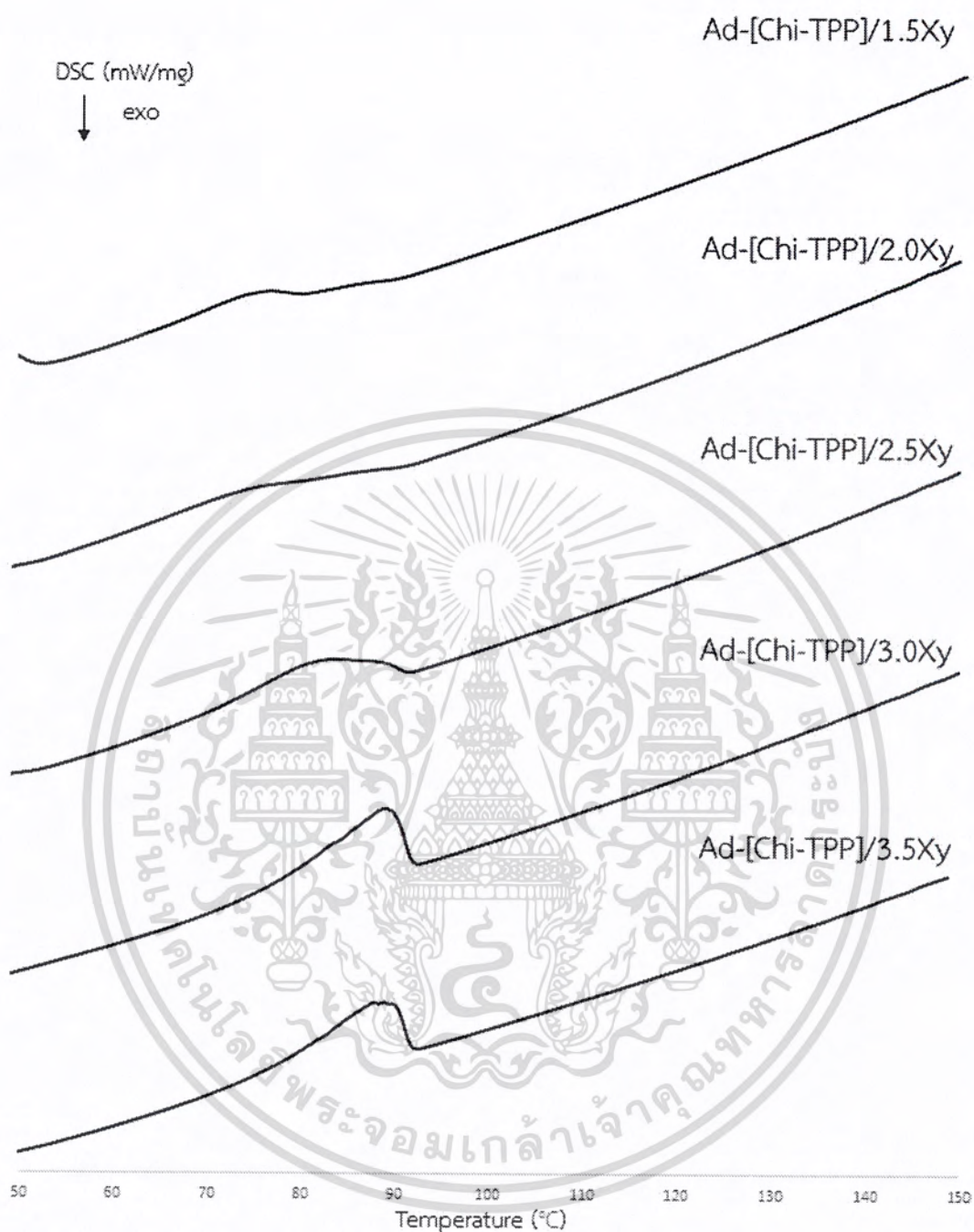
เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิง นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้า  
 ขันตอนเดียว โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



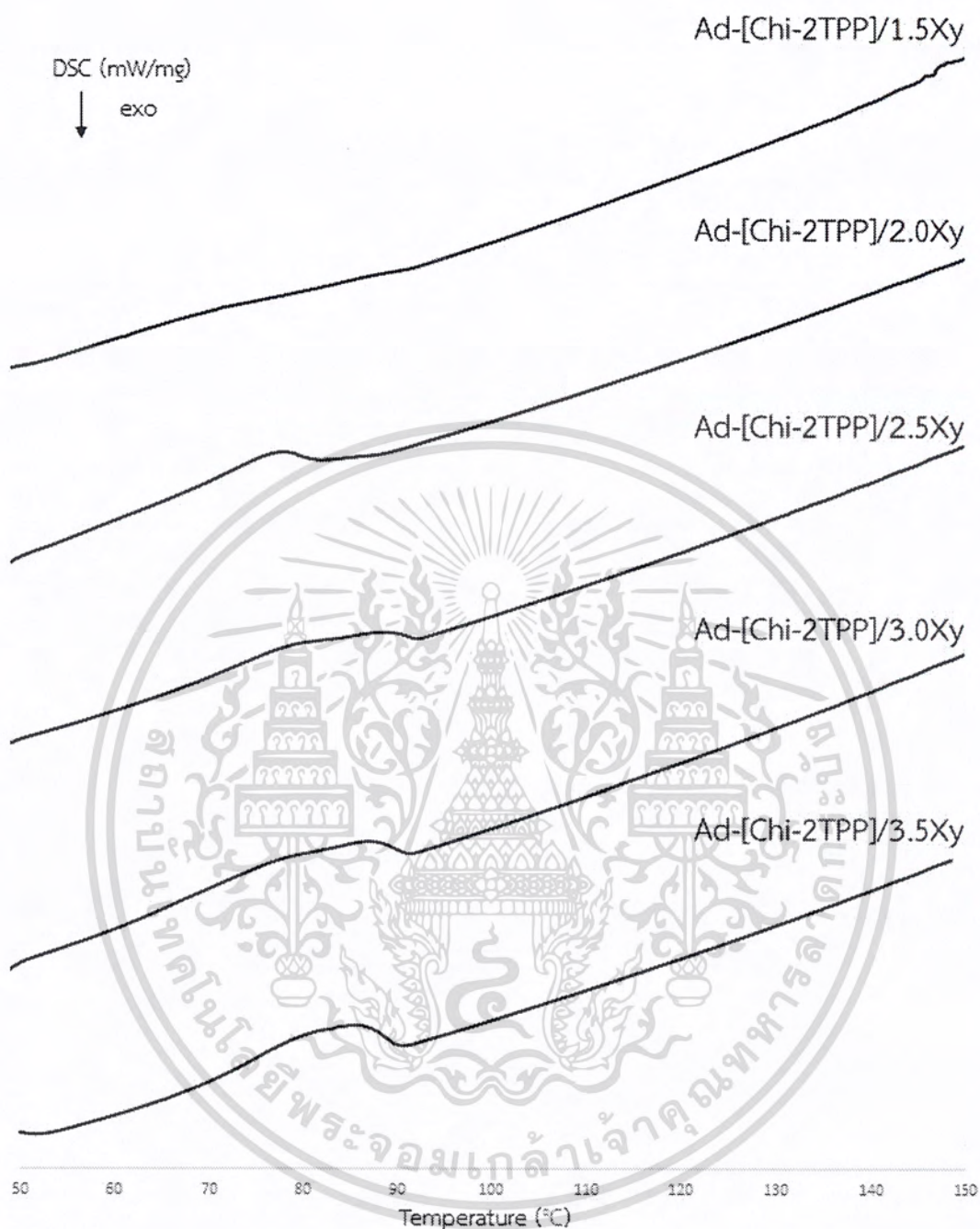
รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีชั้นตอนเดียว โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



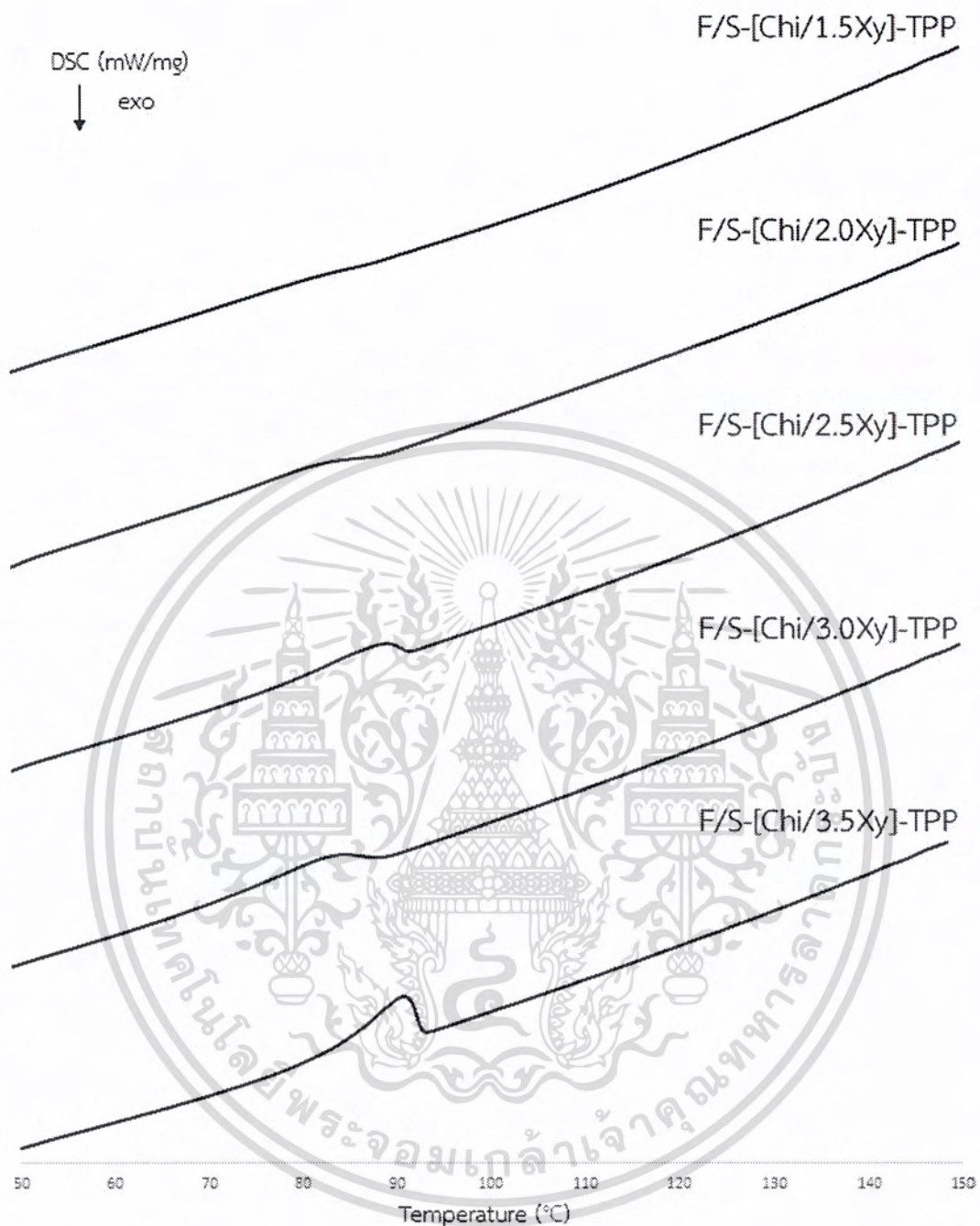
รูปที่ ก.3 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีดูดซับ โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



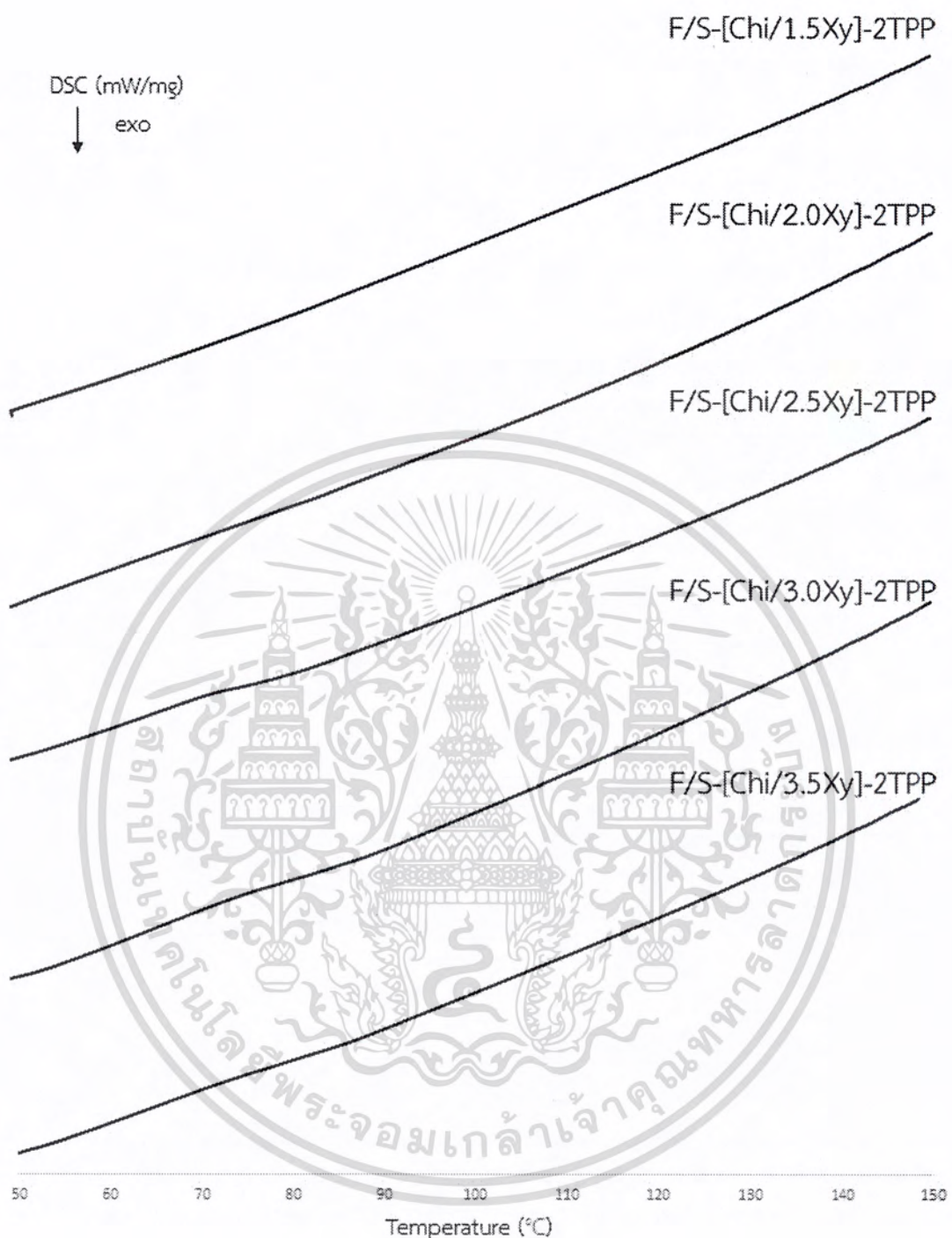
รูปที่ ก.4 เทอร์โมแกรม DSC ของอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไฮลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีดูดซับ โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



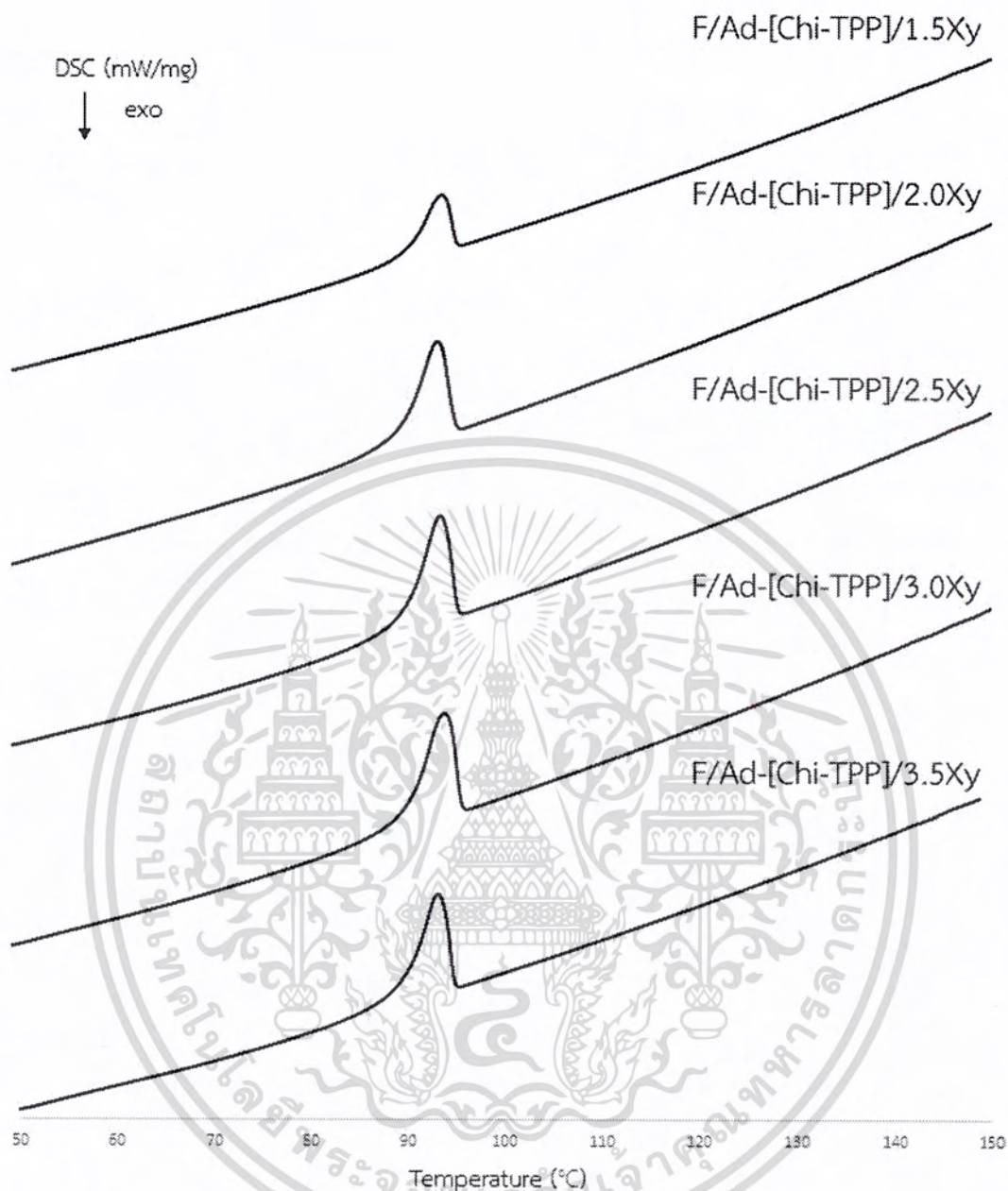
รูปที่ ก.5 เทอร์โมแกรม DSC ของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีขั้นตอนเดียว โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



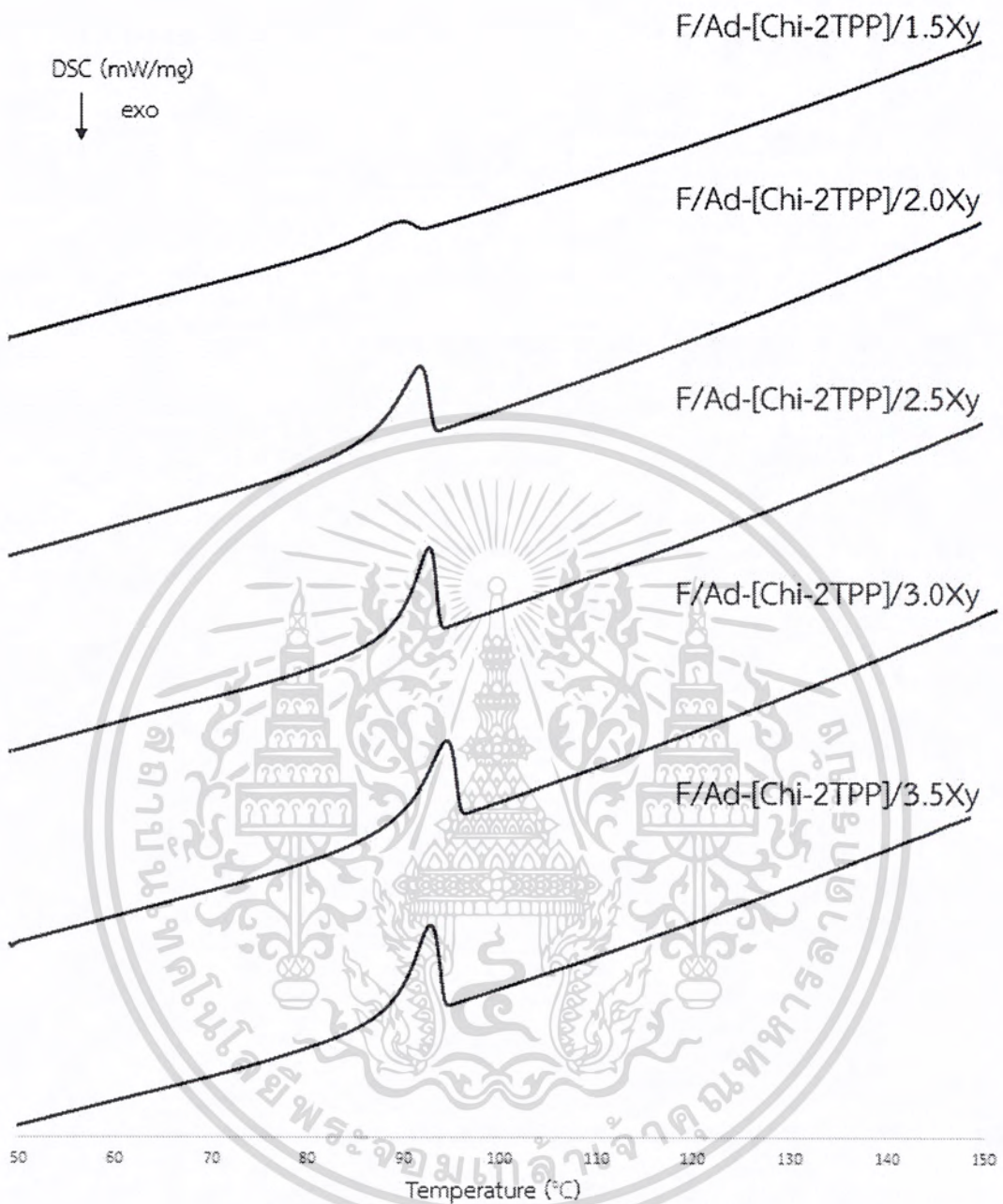
รูปที่ ก.6 เทอร์โมแกรม DSC ของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีขั้นตอนเดียว โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 เทอร์โมแกรม DSC ของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุไซลิทอลที่เตรียมด้วยวิธีดูดซับ โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 เทอร์โมแกรม DSC ของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบไคโตซานบรรจุโซลิตอลที่เตรียมด้วยวิธีดูดซับ โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตซานต่อ TPP เป็น 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้