



การศึกษาวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประยุกต์ใช้
งานสำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์

โดย

นางสาวธัญลักษณ์ ธัญญะเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประยุกต์ใช้
งานสำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์

โดย

นางสาวธัญลักษณ์ ธัญญะเจริญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

DEVELOPMENT OF CHITOSAN AND POLY (VINYL ALCOHOL)
BASED COMPOSITE FOR MEDICAL TECHNOLOGY

BY

MISS THANYALUCK THANYACHAROEN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
(MATERIALS INNOVATION AND TECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF MATERIALS AND TEXTILE TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวธัญลักษณ์ ธัญญะเจริญ

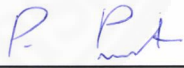
เรื่อง

การศึกษาวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยี
ทางการแพทย์

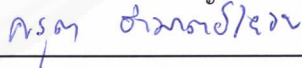
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)

เมื่อ วันที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2561

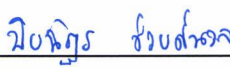
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์)

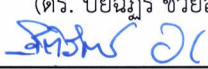
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรุต อำมาตย์โยธิน)

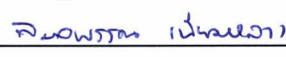
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(ดร. ปิยฉัตร ช่วยสินวล)

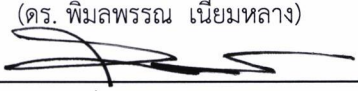
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ดร. วิฑิตร์ตัน อินทร์ประสิทธิ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ดร. พิมลพรรณ เนียมกลาง)

คณบดี


(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชคตระการ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์
ชื่อผู้เขียน	นางสาวธัญลักษณ์ ธัญญะเจริญ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรุต อำนวยโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. ปิยฉัตร ช่วยสินวล
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

วัสดุเชิงประกอบในรูปของไฮโดรเจลถูกเตรียมขึ้นจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้เตตระเอทิลอโทซิลิเกตเป็นสารเชื่อมขวาง จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของวัสดุเชิงประกอบในเบื้องต้น พบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีความเสถียรทางความร้อนที่ดีสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส มีความเข้ากันได้และเป็นเนื้อเดียวกัน กรดกลลิกหรือสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มฝักถูกนำมาใช้เป็นสารสำคัญและขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ผสมสารสำคัญดังกล่าวซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดสอบพบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีความสามารถในการปลดปล่อยกรดกลลิกได้ดี สารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มฝักที่ผสมลงไปนั้นมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลสามารถบวมตัวได้ 600 – 1200 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มฝักถูกปลดปล่อยจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลในช่วง 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ในระยะเวลา 60 นาที จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลในเบื้องต้นทำให้ทราบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์และเครื่องสำอาง

คำสำคัญ: ไคโตซาน, ไฮโดรเจล, กรดกลลิก, ข้าวเหนียวดำ, สารต้านอนุมูลอิสระ

Thesis Title	DEVELOPMENT OF CHITOSAN AND POLY (VINYL ALCOHOL) BASED COMPOSITE FOR MEDICAL TECHNOLOGY
Author	Miss Thanyaluck Thanyacharoen
Degree	Master of Science (Materials Innovation and Technology)
Department/Faculty/University	Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sarute Ummartyotin
Thesis Co-Advisor	Dr. Piyachat Chuysinuan
Academic Year	2017

ABSTRACT

The physico-chemical properties of a chitosan and polyvinyl alcohol based hydrogel composite were investigated. Tetraethyl orthosilicate (TEOS) was employed as a crosslinking agent. The results indicated that chitosan based composite presented the thermal resistance up to 200 °C. The structural properties showed good miscibility and homogeneous structure. Gallic acid (GA) or black rice (*Oryza sativa L.*), which are an antioxidant, was loaded into chitosan and poly vinyl alcohol based hydrogel composite. It was loaded into chitosan and poly vinyl alcohol based hydrogel composite. Then, black rice (*Oryza sativa L.*) loaded into hydrogel composite presented the swelling behavior for 600-1200 % within 48 hours and greater antioxidant properties. Furthermore, the *in vitro* release characteristic was in the range of 60-80 % for 60 min. The hydrogel composite has attracted interest in pharmaceutical and cosmetic research.

Keywords: Chitosan, Hydrogel, Gallic acid, Black rice (*Oryza sativa L.*), Antioxidant

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือ ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านและหลายหน่วยงาน ข้าพเจ้าในฐานะผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรุต อามาศโยธิน ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปิยฉัตร ช่วยสินวล ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. สุพรรณมา เตชะสกุล และนายนิติรัตน์ ฉิมน้อย ห้องปฏิบัติการอินทรีย์เคมีสังเคราะห์ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ปฏิบัติงาน อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย ขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่มอบทุนผู้ช่วยสอนปี การศึกษา 2560 ให้แก่ข้าพเจ้าและขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่ได้มอบ “ทุนสนับสนุนการวิจัยแผนพัฒนาศักราชภาพบัณฑิตวิจัยรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ 2561” ให้งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ หลักสูตรนวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และประสิทธิภาพวิชาความรู้ ให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ห้องปฏิบัติการ อินทรีย์เคมีสังเคราะห์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดจนเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนๆทุกคนที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ และเป็นທີ່ปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

นางสาวธัญลักษณ์ ธีญะเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 วัสดุเชิงประกอบ	7
2.1.1 องค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ	7
2.1.1.1 วัสดุเชิงประกอบของพอลิเมอร์	8
2.1.1.2 วัสดุเชิงประกอบของโลหะ	8
2.1.1.3 วัสดุเชิงประกอบของเซรามิก	8
2.1.2 การจัดเรียงตัวของวัสดุเชิงประกอบ	9

2.1.2.1	วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย	9
(1)	วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย	9
(2)	วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่นหรือลามิเนต	9
(3)	วัสดุเชิงประกอบแบบเป็นก้อน	9
2.1.3	การประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบ	10
2.1.3.1	ด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์	10
(1)	พลาสติกที่ใช้งานทั่วไป	10
(2)	พลาสติกวิศวกรรม	10
(3)	เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์	10
2.1.3.2	ด้านอากาศยานและเครื่องยนต์	11
2.1.3.3	ด้านยานยนต์และเครื่องยนต์	11
2.1.3.4	ด้านอื่นๆ	11
2.2	วัสดุเชิงประกอบชีวภาพที่มีไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ	12
2.2.1	ไคติน	12
2.2.1.1	กระบวนการผลิตไคติน	12
(1)	การกำจัดโปรตีน	12
(2)	การกำจัดเกลือแร่	12
(3)	การกำจัดสี	13
2.2.2	ไคโตซาน	14
2.2.2.1	กระบวนการผลิตไคโตซาน	15
2.2.2.2	ประโยชน์ของไคโตซาน	15
2.2.3	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	16
2.2.3.1	การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	17
2.2.4	เตตระเอทิล ออโทซิลิเกต	17
2.2.5	ไฮโดรเจล	18
2.2.5.1	วิธีการเตรียมไฮโดรเจล	18
(1)	Physical crosslinking	18
(2)	Chemical crosslinking	21
2.3	กรดแกลลิก	22
2.4	ข้าว	23

2.4.1 คุณสมบัติของข้าว	24
2.4.2 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	25
2.4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว	25
2.4.2.2 สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว	26
(1) กรดไฮดรอกซีซินนามิก	27
(2) กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก	28
2.4.2.3 กลไกการต่อต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ	29
(1) อนุมูลอิสระ	29
(2) สารต้านอนุมูลอิสระ	29
(3) กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ	30
2.4.2.4 คุณสมบัติของข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว	31
2.5 ระบบนำส่งยา	31
2.5.1 ส่วนประกอบของระบบนำส่งยาสู่เป้าหมาย	31
2.5.1.1 ตัวพาที่ละลายน้ำได้	31
2.5.1.2 ตัวพาที่เป็นอนุภาค	31
2.5.2 ประเภทของระบบนำส่งยาสู่เป้าหมาย	32
2.5.2.1 การนำส่งไปยังเป้าหมายได้เอง	32
2.5.2.2 การนำส่งไปยังเป้าหมายแบบเฉพาะเจาะจง	32
2.5.2.3 การนำส่งไปยังเป้าหมายทางกายภาพ	32
2.5.3 เทคโนโลยีควบคุมการปลดปล่อยยา	32
2.5.3.1 ระบบควบคุมโดยใช้การแพร่	33
2.5.3.2 ระบบควบคุมโดยใช้การละลาย	33
2.5.3.3 ระบบควบคุมโดยใช้วิธีเคมี	33
2.5.3.4 ระบบควบคุมโดยใช้ตัวทำละลายกระตุ้น	34
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34

บทที่ 3 วิธีการวิจัย	43
3.1 วัสดุอุปกรณ์	43
3.1.1 สารเคมี	43
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	44
3.2 วิธีการทดลอง	44
3.2.1 การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	44
3.2.2 การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ผสมกรดแกลลิก	44
3.2.3 การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ผสมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	45
3.2.4 วิธีการสกัดสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	45
3.3 การทดสอบ	46
3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิล แอลกอฮอล์	46
3.3.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค (Fourier transform infrared spectroscopy; FTIR)	46
3.3.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)	46
3.3.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope; AFM)	47
3.3.1.4 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลต้านแรงดึง (Tensile Testing)	47
3.3.1.5 การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter; DSC)	47
3.3.1.6 การศึกษาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัย คุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer)	47
3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้งานทางด้าน เทคโนโลยีทางการแพทย์	48
3.3.2.1 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบ (Swelling ratio)	48

3.3.2.2 การศึกษาการปลดปล่อยสารสำคัญจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล (Cumulative release)	48
3.3.2.3 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญในวัสดุเชิงประกอบ ไฮโดรเจล (Anti-oxidant activity)	49
(1) DPPH assay	49
(2) ABTS assay	49
(3) FRAP assay	49
3.3.2.4 การศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมที่เป็นองค์ประกอบของสารสำคัญ ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	51
4.1 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิโนลแอลกอฮอล์	51
4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้นของวัสดุ เชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิโนลแอลกอฮอล์	51
4.1.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล ของไคโตซานและพอลิโนลแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)	51
4.1.1.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของวัสดุ เชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิโนลแอลกอฮอล์	52
4.1.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของ ไคโตซานและพอลิโนลแอลกอฮอล์	53
4.1.1.4 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซาน และพอลิโนลแอลกอฮอล์	54

4.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์	58
4.1.2.1 การศึกษาการปลดปล่อยกรดแกแลคติกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	58
4.1.2.2 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกแลคติกในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	59
4.1.2.3 การศึกษาความคงตัวของกรดแกแลคติกและการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	60
4.2 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	63
4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	63
4.2.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)	63
4.2.1.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)	65
4.2.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC)	65
4.2.1.4 การศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)	67
4.2.1.5 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลด้านการทนต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	68
4.2.1.6 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	70
4.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์	71
4.2.2.1 การศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	71

4.2.2.2 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	72
4.2.2.3 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวและการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการทดลอง	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
รายการอ้างอิง	81
ประวัติผู้เขียน	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	46
4.1 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว	69
4.2 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระและค่าปริมาณฟีนอลิกรวมของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ	73



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนผังแสดงการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ	9
2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน	12
2.3 แสดงกระบวนการผลิตไคติน	13
2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	14
2.5 แสดงกระบวนการผลิตไคโตซาน	15
2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	17
2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ tetraethyl orthosilicate	18
2.8 แสดงการเชื่อมขวางที่เกิดจากพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิก และแคลเซียมไอออน	19
2.9 แสดงการสังเคราะห์พอลิไอออนิกไฮโดรเจลจาก xanthan/chitosan	20
2.10 แสดงการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	20
2.11 แสดงการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิด APS-co-HEMA	21
2.12 แสดงกระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเจลด้วยวิธีกราฟต์	22
2.13 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก	23
2.14 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดข้าว	24
2.15 แสดงลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว	26
2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ p-coumaric acid	28
2.17 แสดงลักษณะโครงสร้างเคมีของ vanillic acid	28
4.1 แสดงสเปกตรัมของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิล แอลกอฮอล์	52
4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิล แอลกอฮอล์	55
4.3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิล แอลกอฮอล์	56
4.4 แสดงช่วงอุณหภูมิค่า T_g และ T_m ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิล แอลกอฮอล์	57
4.5 แสดงช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	57

4.6 แสดงอัตราการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในเวลา 48 ชั่วโมง	58
4.7 แสดงการปลดปล่อยกรดแลคติกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	59
4.8 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแลคติกที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล ของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	61
4.9 แสดงค่าการสลายตัวทางธรรมชาติ a), ปริมาณที่คงเหลืออยู่ของกรดแลคติก b) และค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซาน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	63
4.10 แสดงสเปกตรัมที่เกิดขึ้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจาก ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	64
4.11 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัด จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	66
4.12 แสดงช่วงอุณหภูมิค่า T_g และ T_m ของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติม สารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	67
4.13 แสดงช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัด จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	68
4.14 แสดงค่าการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าว เหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	70
4.15 แสดงการปลดปล่อยสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆจากวัสดุ เชิงประกอบไฮโดรเจล	72
4.16 แสดงปริมาณคงเหลือของสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆในวัสดุเชิง ประกอบไฮโดรเจล	75
4.17 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระของปริมาณสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆที่ คงเหลือในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล	76
4.18 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการ เติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้ โลกมีกระแสเกี่ยวกับเทคโนโลยีสีเขียวหรือ green technology ซึ่งเป็นการประยุกต์ขององค์ความรู้ทั้งด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (environmental science) ทางเคมีสีเขียว (green chemistry) การควบคุมสภาวะแวดล้อม (environment monitoring) การใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมหรือการใช้รูปแบบการจำลองและการอนุรักษ์สภาวะแวดล้อมของธรรมชาติและแหล่งทรัพยากรต่างๆ รวมทั้งเพื่อควบคุมผลกระทบในทางลบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในเรื่องของพลังงาน ซึ่งหมายถึงการได้มาของแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน เช่น เทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic, PV) พลังงานจากกังหันลม (wind turbines) เป็นต้น จากกระแสของเทคโนโลยีสีเขียวดังกล่าวทำให้มนุษย์เริ่มมีการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นเพื่อตอบสนองต่อกระแสเทคโนโลยีสีเขียว และเป็นการช่วยลดปริมาณขยะที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) โดยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะถูกพัฒนาขึ้นจากวัตถุดิบทางธรรมชาติที่เหลือทิ้งซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของประเทศไทยที่ต้องการหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตรรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ โดยการนำสินค้าหรือวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาพัฒนาให้เกิดเป็นวัสดุชีวภาพ (biomaterial) ชนิดใหม่ที่สามารถใช้งานในด้านอื่นๆ เช่น ในด้านอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ หรือทางการแพทย์ เป็นต้น

การนำวัสดุชีวภาพมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จะถูกใช้งานในรูปของวัสดุเชิงประกอบ (composite material) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายเพิ่มปริมาณการใช้วัสดุเชิงประกอบดังกล่าว ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับการศึกษากระบวนการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ได้จากไคโตซาน (chitosan) จากกระบวนการทางเคมีอย่างง่ายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ โดยวัสดุเชิงประกอบชีวภาพดังกล่าวจะประกอบด้วยไคโตซาน (chitosan) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol, PVA) สำหรับไคโตซานนั้นจัดเป็นพอลิเมอร์ซึ่งพบได้ในธรรมชาติที่ได้จากปฏิกิริยาดีอะเซทิลเลชัน (deacetylation reaction) จากไคติน (chitin) ที่สามารถพบได้ในเปลือกกุ้ง เปลือกปู เปลือกหอย ปลาหมึก และแมลง เป็นต้น ไคโตซานมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และมีความเข้ากันได้กับมนุษย์ ดังนั้นจึงเป็นพอลิเมอร์ทางธรรมชาติที่มีความปลอดภัยในการนำมาใช้งานกับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้

ไคโตซานยังมีลักษณะพิเศษคือสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายได้ จึงทำให้สารละลายนั้นสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกครั้งซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติ สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือที่รู้จักกันในชื่อ PVA จัดเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติโดยทั่วไปคือไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ และสามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีความสามารถในการก่อตัวในรูปของฟิล์มได้ มีความสามารถในการเป็นสารยึดติดที่ดีเมื่ออยู่ในสถานะของเหลว และยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกระบวนการเคมีอย่างง่ายนั้นจะเกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล (hydrogel) ที่ไม่มีความคงตัวของโครงสร้างภายในเมื่อนำไปใช้งานจริงอาจจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำลงได้ ซึ่งวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์นั้นควรจะมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมต่อการใช้งาน จึงทำการปรับปรุงความแข็งแรงด้านคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยการใช้สารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) โดยสารเชื่อมขวางนี้จะเข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ให้ยึดจับกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบตาข่าย (network structure) ส่งผลให้สายโซ่ขยับตัวได้ยากขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งเร้าต่างๆ จึงทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและสามารถรับแรงได้ดีขึ้น สำหรับสารเชื่อมขวางที่นิยมใช้งาน ได้แก่ glutaraldehyde, genipin, tetraethyl orthosilicate และ formaldehyde เป็นต้น การประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์ของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Pharmaceutical technology และ Hydrogel for medical technology

1. Pharmaceutical technology เป็นการนำวัสดุเชิงประกอบจากไคโตซาน (chitosan) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) มาพัฒนาเป็นวัสดุนำส่งยาในระบบนำส่งยา (drug delivery systems) ในร่างกายมนุษย์ โดยระบบนำส่งยาเป็นการเตรียมยาในรูปแบบต่างๆที่สามารถควบคุมให้ปลดปล่อยยาในอัตราและปริมาณที่กำหนด และสามารถนำยาไปยังอวัยวะหรือบริเวณเป้าหมายในร่างกายได้ตามต้องการ เพื่อทำให้เกิดผลสูงสุดในการรักษาและลดผลข้างเคียงจากการใช้ยา ซึ่งพอลิเมอร์ที่เลือกใช้งานในระบบนำส่งยาจะต้องมีสมบัติทางชีวภาพสำคัญคือ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกาย (biocompatible) สามารถย่อยสลายได้ในร่างกาย (biodegradable) ได้เมตาบอไลต์ (metabolite) จากการย่อยสลายที่ไปเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจึงทำให้ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย

2. Hydrogel for medical technology เป็นการนำวัสดุเชิงประกอบจากไคโตซาน (chitosan) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) มาพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของไฮโดร

เจล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุสำหรับทางการแพทย์ เช่น วัสดุปิดแผล ซึ่งเป็นวัสดุทดแทนผิวหนังที่สำคัญมากต่อผู้ป่วยที่ถูกไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวกและเสียชีวิตจากแผลเหล่านี้ การพัฒนาวัสดุปิดแผลมีมายาวนานกว่า 30 ปี รวมทั้งการสังเคราะห์ไฮโดรเจลเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผลเช่นกัน ปัจจุบันมีการนำเทคนิคทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อเข้ามาพัฒนาการสร้างวัสดุปิดแผลเพื่อให้คุณสมบัติที่ดีขึ้นโดยมีความสามารถในการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ไม่ก่อให้เกิดพิษ มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังต้องสามารถดูดซับของเหลวที่ไหลออกมาจากบาดแผลได้ รักษาความชื้นให้กับแผลและป้องกันเชื้อโรค สิ่งสกปรกเข้าสู่บาดแผล เป็นต้น

นอกจากการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ได้จากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบนำส่งยาและทางการแพทย์แล้ว อาจมีการเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลให้มีความหลากหลายต่อการใช้งานมากขึ้นโดยการผสม bioactive compound ที่ได้จากพืชลงไป และประเทศไทยเองนั้นจัดได้ว่าเป็นประเทศที่จะต้องพึ่งพาภาคการผลิตในกระบวนการทางด้านเกษตรกรรมเป็นหลัก รายได้หลักของประเทศนั้น มาจากการเพาะปลูกซึ่งสามารถนำเข้าสู่ภาคกระบวนการผลิตและสร้างรายได้อันมหาศาลให้แก่ประเทศ สำหรับประเทศไทยเองนั้น จัดได้ว่าเป็นประเทศในกลุ่มเขตร้อนและมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี มีพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอยู่หลายประเภทที่สามารถสร้างได้อันมหาศาลในการหล่อเลี้ยงประชากรทั่วทั้งประเทศ ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา หรือพืชสมุนไพรต่าง ๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีขีดความสามารถในการนำมาผลิตและแปรรูปให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพัฒนาประเทศได้ ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาสินค้าทางด้านการเกษตรเพื่อเป็นอาหารเสริม ยารักษาโรคประเภทต่าง ๆ ตลอดจนการปรับปรุงพันธุ์พืชสมุนไพรซึ่งมีความหลากหลายเป็นอย่างมากในประเทศ เพื่อให้ตอบสนองต่อนโยบาย Thailand 4.0 และการกระตุ้นให้เกิดการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของกลุ่ม SME นั้น งานวิจัยทางด้านนวัตกรรมทางการเกษตรจึงได้รับการตอบรับและสนับสนุนเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะทำให้ประชากรไทยนั้น หลุดพ้นจากกับดักของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง ที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ ไม่ว่าจะเป็นนโยบายส่งเสริมการพัฒนาความสามารถในการแข่งขันและการสร้างมูลค่าเพิ่มของภาคอุตสาหกรรม ส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมสีเขียว เพื่อการเติบโตแบบยั่งยืนและสมดุล ตลอดจนการลงทุนของไทยในต่างประเทศ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของธุรกิจไทย หรือนอกจากนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมทางการเกษตรนั้น ยังมีความสอดคล้องกับการสนับสนุนการจัดตั้งคลัสเตอร์วิจัย ซึ่งมีเป้าหมายในการพิจารณาถึงขีดความสามารถในการลงทุน เพื่อให้เกิดการผลักดันให้เกิดการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ ซึ่งหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายในการจัดตั้งคลัสเตอร์วิจัย จะเกี่ยวข้องกับสารสกัดและผลิตภัณฑ์จากสารสกัด ซึ่งในแต่ละ

ภูมิภาคของประเทศนั้น จะมีแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาในท้องถิ่นของแต่ละภูมิภาค

นอกจากนี้ อีกหนึ่งนโยบายในการผลักดันเพื่อให้เกิดการรองรับของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสังคมและประชากรศาสตร์นั้น เพื่อเป็นการเกี่ยวข้องและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างประชากรของประเทศ ซึ่งสำหรับประเทศไทยนั้นโครงสร้างของประชากรในปัจจุบันกำลังเข้าสู่สังคมของผู้สูงอายุซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนของประชากรในวัยทำงานและแรกเกิดนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับในระยะยาวนั้นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างประชากรนั้นนโยบายที่เกี่ยวข้องต่อการดูแลสุขภาพของประชากร ไม่ว่าจะเป็นอาหารสุขภาพ อาหารเสริม ตลอดจนยารักษาโรคนั้น ล้วนได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะนำมาเติมเต็มความต้องการดังกล่าว ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างครบวงจรต่อกระบวนการผลิตและสิ่งแวดล้อม และสามารถเข้าถึงปัญหาและนโยบายที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเพื่อที่จะนำมาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมหรือยารักษาโรคนั้น จึงได้รับการพัฒนาขึ้น การสกัดสารสำคัญจากข้าวเพื่อที่จะนำมาพัฒนาเป็นสารที่มีความว่องไวทางชีวภาพนั้นจึงได้รับความนิยม (bioactive molecule) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ จะสามารถนำมาออกแบบให้อยู่ในลักษณะของวัสดุเชิงประกอบของโคโตะซาน ซึ่งโดยทั่วไปนั้นวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุที่นำส่งยาและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ได้อย่างมีความแพร่หลาย ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เองนั้น ได้รับการยอมรับถึงการพัฒนาแบบบูรณาการขององค์ความรู้ที่มีความหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นพื้นฐานความรู้ทางด้านวัสดุศาสตร์ ตลอดจนเคมีประยุกต์และเภสัชศาสตร์ เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ ซึ่งมีเป้าหมายในการพัฒนาที่ยั่งยืนโดยการเลือกใช้ข้าวซึ่งเป็นผลิตผลหลักจากการเกษตรของประเทศต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรของประเทศที่กำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ

กรดแกลลิกจัดเป็นกรดอินทรีย์ในกลุ่ม polyphenol ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ป้องกันเซลล์จากความเครียดเมื่ออายุมากขึ้น และช่วยลดโรคหัวใจและโรคเมตาบอลิซึมในผู้สูงอายุ กรดแกลลิกสามารถพบได้ในผลไม้ต่างๆ เช่น มังคุด ชาเขียว บลูเบอร์รี่ แอปเปิ้ล นอกจากนี้กรดแกลลิกยังสามารถพบได้ในข้าวกลุ่มมีสีต่างๆ เช่น ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัว ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นต้น ซึ่งข้าวกลุ่มมีสีต่างๆก็ยังมีพบว่ามีสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆมากมาย โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลที่พบในข้าวกลุ่มมีสีนั้นส่วนใหญ่จะพบในรูปอนุพันธ์และไอโซเมอร์ของ ฟลาโวนส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์คาร์ทีซิน และกรดฟีนอลิก โดยสารเหล่านี้มีฤทธิ์หลายอย่างเช่น ด้านการเกิดออกซิเดชัน ด้านการเกิดโรคเมตาบอลิซึม

ต่างๆ ด้านการอีกเสบต่าง ช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย และสามารถกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกาย ดังนั้นการศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสม จากนั้นเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดแกลลิก และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุดังกล่าว และเพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสม

1.2.2 เพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดแกลลิก และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุดังกล่าว

1.2.3 เพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุดังกล่าว

1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 10:0 , 9:1 , 8:2 , 7:3 , 6:4 , 5:5 และ 0:10 โดยใช้สารเชื่อมขวางชนิด Tetraethyl orthosilicate (TEOS) ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบตาข่ายขึ้นภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบ จากนั้นจะทำการศึกษาค้นสมบัติเบื้องต้นของวัสดุเชิงประกอบ ได้แก่ ศึกษาลักษณะทางสัณฐานด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) เพื่อยืนยันโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมขวางเพื่อให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบ ศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เพื่อเป็นการยืนยันถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่เลือกใช้งาน ศึกษา

เสถียรภาพทางความร้อนโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการนำวัสดุเชิงประกอบไปใช้งาน ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของสารเชื่อมขวางที่มีต่อการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ จากนั้นผสมกรดแกลลิกเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงไปในวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนต่างๆ และศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยกรดแกลลิกจากวัสดุเชิงประกอบ และศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกด้วยวิธี DPPH scavenging assay ซึ่งกรดแกลลิกจะใช้เป็นสารสำคัญเพื่อแทนสารสกัดที่ได้จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากนั้นจะทำการเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่ผสมกับสารสกัดที่ได้จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว โดยจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อย (cumulative release) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดังกล่าว



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบจัดเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภทขึ้นไปโดยที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันและจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมหรือการสร้างพันธะ ถ้าเกิดจากการผสมกันระหว่างวัสดุ องค์ประกอบอยู่ในระดับที่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเช่น คอนกรีต ที่ประกอบด้วยซีเมนต์ ทราย หิน และ น้ำ ถ้าเกิดจากการสร้างพันธะ องค์ประกอบอยู่ในระดับโมเลกุล ถ้าเป็นเหล็กเรียกว่าอัลลอยแต่ถ้าเป็นพลาสติกเรียกว่าพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน และวัสดุเชิงประกอบยังจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (engineering materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ในปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ที่สำคัญที่สุดคือมีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะหรือเซรามิก นอกจากนี้ยังมีสมบัติอยู่ในช่วงกว้างเนื่องจากมีหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบอย่างกว้างขวางมากมายหลากหลายการใช้งาน ในการใช้งานปัจจุบันมีการเรียกวัสดุเชิงประกอบหลากหลายชื่อ เช่น พลาสติกเสริมแรง (reinforced plastic , RP) พลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (fiberglass reinforced plastics , FRP) แผ่นลามิเนตเสริมแรง (plastics laminates) หรือไฟเบอร์กลาส (fiberglass) เป็นต้น

2.1.1 องค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ [1]

วัสดุเชิงประกอบนั้นจะมีองค์ประกอบด้วยกัน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนเสริมแรง (reinforcement) และเมทริกซ์ (matrix) โดยส่วนเสริมแรง คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุเชิงประกอบ ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสสูง เช่น เส้นใยแก้ว (glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (kevlar fiber) เป็นต้น ส่วนเมทริกซ์ (matrix) จะเป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกันให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดสีเนื่องจากสิ่งแวดลอม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (continous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง โดยเมทริกซ์ที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

2.1.1.1 วัสดุเชิงประกอบของพอลิเมอร์ (polymer composites)

โดยธรรมชาติพอลิเมอร์เป็นสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงมากนัก มีความหนาแน่นต่ำ และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงสูง เพื่อทำหน้าที่ในการรับและกระจายแรงกระทำ โดยวัสดุประกอบจะมีความแข็งแรงสูงที่สุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง การเสริมแรงนี้ทำให้เมทริกซ์พอลิเมอร์สามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง

2.1.1.2 วัสดุเชิงประกอบของโลหะ (metal composites)

พัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงความสามารถในการทนทานต่อความล้าของโลหะให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอลูมิเนียมและไทเทเนียมที่เป็นเมทริกซ์ที่ต้องการให้มีสมบัติพิเศษในการใช้งานในอุตสาหกรรมอวกาศ สารเสริมแรงอาจอยู่ในลักษณะของอนุภาคเส้นใยหรือวิสเกอร์ นอกจากนี้สารเสริมแรงสำหรับโลหะต้องมีความแข็งแรงสูงและทนความร้อนสูงด้วย เนื่องจากโลหะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการขึ้นรูปและสารเสริมแรงที่ใช้ต้องไม่เกิดการกัดกร่อนกับเมทริกซ์โลหะ จากข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้สารเสริมแรงอินทรีย์และเส้นใยแก้วไม่สามารถใช้เสริมแรงให้กับเมทริกซ์โลหะได้ สารเสริมแรงที่ใช้จึงต้องเป็นสารเสริมเซรามิก หรือสารเสริมโลหะ

2.1.1.3 วัสดุเชิงประกอบของเซรามิก (ceramic composites)

เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติที่ไม่นำความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนต่ำ เซรามิกจึงถูกนำมาใช้ในงานที่ต้องการความทนต่ออุณหภูมิสูงและในงานที่มีการกัดกร่อนสูง แต่ข้อเสียของเซรามิกคือ มีความเปราะ แตกหักง่าย เมื่อเกิดรอยแตกแล้วจะไม่สามารถซ่อมแซมได้โดยง่าย สำหรับการเสริมแรงให้เมทริกซ์เซรามิกนั้นเป็นการปรับปรุงสมบัติให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียวและทนทานเพิ่มมากขึ้น โดยสารเสริมแรงจะเข้าไปขัดขวางการแพร่ของรอยแตกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน เมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับแรงจากภายนอกจะไม่เกิดการเปราะแตกในทันที

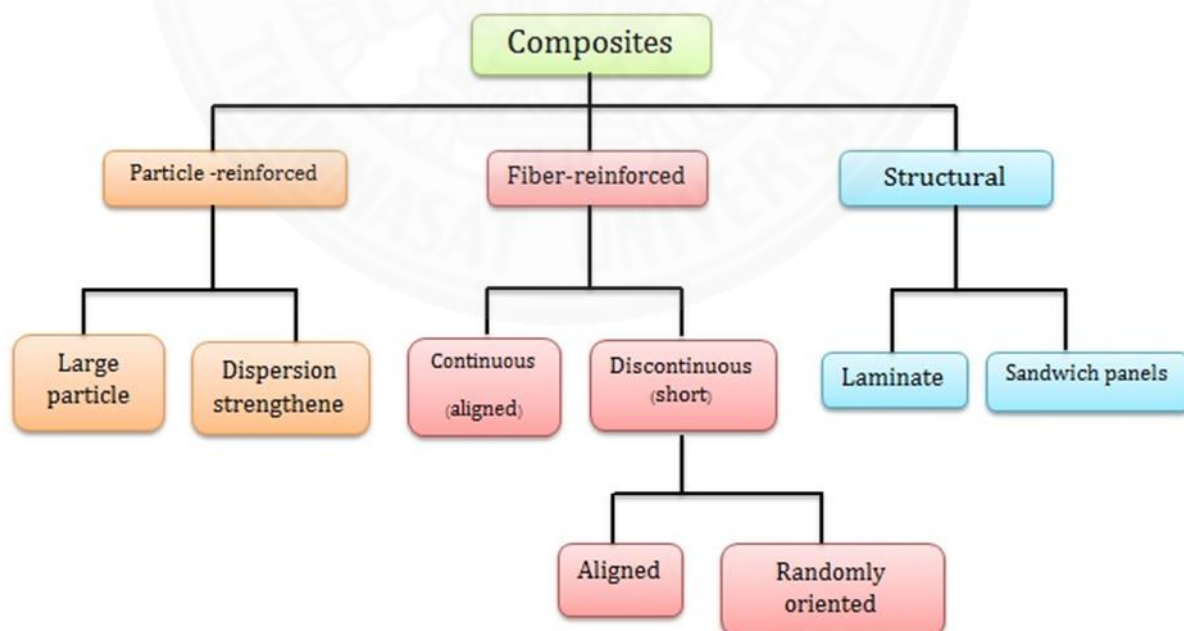
2.1.2 การจัดเรียงตัวของวัสดุเชิงประกอบในรูปแบบต่างๆ [2]

2.1.2.1 วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย (fibrous composites)

(1) วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย (fibrous composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก โดยมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสสูง ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงสูงสุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ

(2) วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่นหรือลามิเนต (laminar composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนวิชหรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (honeycomb)

(3) วัสดุเชิงประกอบแบบเป็นก้อน (particulate composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (beads) แผ่น (flake) หรือผง (powder) ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน แบ่งชนิดวัสดุเชิงประกอบตามลักษณะการเกิดของวัสดุเชิงประกอบ ได้แก่ วัสดุเชิงประกอบธรรมชาติ (natural composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ (wood) ฟัน (teeth) และกระดูก (bone) และวัสดุเชิงประกอบที่เกิดจากการสังเคราะห์ (synthetic composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบ

2.1.3.1 ด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ [3]

สมัยก่อนการนำพลาสติกไปใช้ในวงการแพทย์ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก แต่เมื่อเทคโนโลยีและวิทยาการด้านพอลิเมอร์พัฒนาขึ้นมา การนำพลาสติกไปใช้ในงานทางการแพทย์ก็ขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ช่วงทศวรรษที่ 1930 มีการนำพอลิเมอร์ที่เรียกว่าเซลลูลอยด์ (celluloid) มาใช้ทางการแพทย์ครั้งแรกโดยทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อสำหรับการล้างไตและประสบความสำเร็จในการนำไปใช้งานกับไตเทียม พลาสติกจึงถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุอนินทรีย์แบบดั้งเดิมมากขึ้น เพราะมีคุณสมบัติพิเศษที่หลากหลาย ราคาไม่แพง และกลายมาเป็นวัสดุที่สำคัญที่มีบทบาทมากต่อการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ ตั้งแต่บรรจุภัณฑ์ยาและสารเคมี อุปกรณ์ทางการแพทย์แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง หลอดฉีดยา ท่อสวนต่างๆ และเครื่องมือผ่าตัดแพทย์ เป็นต้น ซึ่งข้อดีของพลาสติกเมื่อนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น มีประสิทธิภาพในการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเลือดในร่างกาย มีความทนทานและความเหนียว ป้องกันการซึมผ่านได้ดี พลาสติกบางชนิดสามารถทนความร้อนได้สูงมากโดยไม่เสื่อมสภาพ ออกแบบ/ขึ้นรูปได้ง่าย สามารถผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความซับซ้อนได้ตามความต้องการและเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ด้วยกระบวนการผลิตที่ต้นทุนต่ำช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ จากการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบฆ่าเชื้อและแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง เป็นต้น พลาสติกถูกนำมาใช้งานในวงการแพทย์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะที่เป็นที่ยอมรับ โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

(1) พลาสติกที่ใช้งานทั่วไป (commodity plastics) เช่น Polyvinyl Chloride (PVC), Polypropylene (PP), Polyethylene (PE), Polystyrene (PS)

(2) พลาสติกวิศวกรรม (engineering plastics) เช่น Polycarbonate (PC), Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer (ABS)

(3) เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์ (thermoplastic elastomers) เช่น Thermoplastic Polyurethane (TPU), Thermoplastic Vulcanizate (TPV) และ Styrene-Butadiene Copolymer (SBC) นอกจากนี้ยังนิยมใช้พลาสติกผสม (blends) เช่น PC/ABS และ PC/Polyester หรือเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน เพื่อปรับให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นเหมาะกับการนำไปใช้งานทางการแพทย์มากที่สุด

2.1.3.2 ด้านอากาศยานและเครื่องยนต์

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับความหนาแน่นของวัสดุจะมีประโยชน์มากสำหรับการขนส่งทางอากาศ เพราะถ้าน้ำหนักรวมของอากาศยานลดลงโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล จะเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในการขนส่งอย่างมาก และถ้าวัสดุที่ใช้มีความทนทานต่อการใช้งานจะมีประโยชน์ต่อการบำรุงรักษาในระยะยาวอีกด้วย การค้นหาวัสดุที่มีสมบัติทนต่อความร้อนสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดีเพื่อใช้ผลิตอากาศยานกลายเป็นแรงผลักดันให้เกิดการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบขึ้น ข้อดีของวัสดุเชิงประกอบคือ สามารถใช้งานได้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากความร้อนต่ำและทนทานต่อสภาวะกัดกร่อน แต่ข้อด้อยคือความเปราะบาง

2.1.3.3 ด้านยานยนต์และเครื่องยนต์

สำหรับข้อได้เปรียบของวัสดุเชิงประกอบประเภทพอลิเมอร์ในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ได้แก่ การมีความแข็งแรงจำเพาะสูงและสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนที่ซับซ้อนได้ ในระยะเริ่มต้นวัสดุเชิงประกอบประเภทพอลิเมอร์นำมาใช้เป็นชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง โดยชนิดของวัสดุเชิงประกอบประเภทพอลิเมอร์มีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเอสเตอร์ อีพอกซี พอลิโพรพิลีน พอลิเอไมด์ และพอลิอีเทอร์ อีเทอร์ คีโตน เป็นต้น รวมทั้งสารเสริมแรงอาจอยู่ในรูปของเส้นใยสั้นหรือเส้นใยที่ถูกทอให้เป็นผืนซึ่งขึ้นจะอยู่กับสมบัติที่ต้องการนำไปใช้งาน ต่อมาเมื่อวัสดุเชิงประกอบถูกพัฒนาให้มีสมบัติที่ดีมากขึ้นจึงกลายเป็นส่วนประกอบสำหรับเรือโดยสารขนาดใหญ่จนถึงเรือรบ เมทริกซ์ที่นิยมใช้ในการทำเรือ คือ พอลิเอสเตอร์ ไวนิลเอสเตอร์ และอีพอกซี โดยใช้เส้นใยแก้วชนิดเส้นใยสั้นและเส้นใยผืนในการเสริมแรง

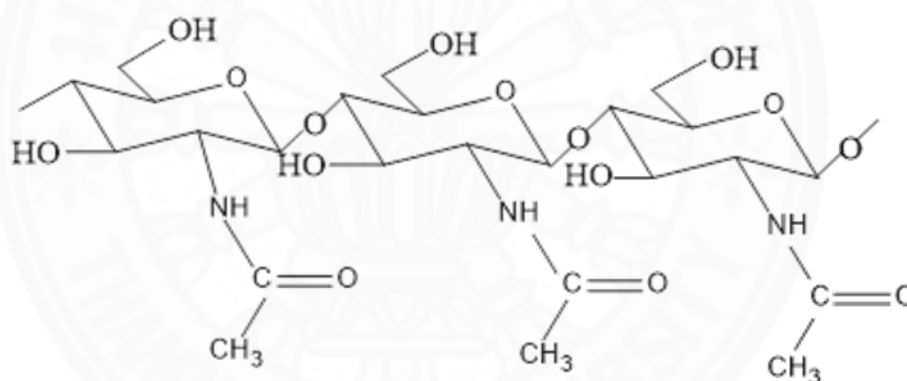
2.1.3.4 ด้านอื่น ๆ

วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุสำคัญในอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมการก่อสร้าง เส้นใยแก้วที่ถูกพัฒนามาเป็นพิเศษเพื่อการเสริมแรงให้กับเมทริกซ์ซีเมนต์หรือการใช้คอนกรีตที่เกิดจากซีเมนต์เสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยล่อน ทำให้เกิดเป็นคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา ด้านวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ไม่นิยมใช้เป็นวัสดุโครงสร้างที่รับแรงโดยตรง แต่มักใช้ประกอบกับวัสดุโครงสร้างเดิมเพื่อเสริมประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น การปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุองค์ประกอบหรือสัดส่วนการผสมทำให้เกิดสมบัติที่หลากหลายและสามารถออกแบบให้ไปทำตามต้องการได้ ปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบนับได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้งานทั่วไป ครอบคลุมถึงอุตสาหกรรมหลักต่างๆ เช่น อากาศยาน ยานยนต์ ก่อสร้าง ตลอดจนอุปกรณ์กีฬา

2.2 วัสดุเชิงประกอบชีวภาพที่มีไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ

2.2.1 ไคติน (chitin)

ไคติน (chitin) เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การเกษตร เครื่องสำอาง และทางด้านอาหาร รวมถึงทางด้านอื่นๆอีกมากมาย โดยไคติน (chitin) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เกิดจากสาร 2- acetamido -2-deoxy-D-glucose และ 2- amino-2-deoxy -D-glucose ไคตินมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส แต่ต่างกันตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกาะอยู่ แต่ไคตินจะมีหมู่ acetamide (NH-CO-CH_3) เกาะอยู่ ไคตินพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยพบมากในสิ่งมีชีวิตที่มีเปลือกแข็งหรือผนังแข็งหุ้มลำตัว เช่น กุ้ง ปู หอย แมลง รวมถึงผนังเซลล์ของเชื้อรา ยีสต์ และสาหร่าย สารนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างร่างกาย [4]



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน

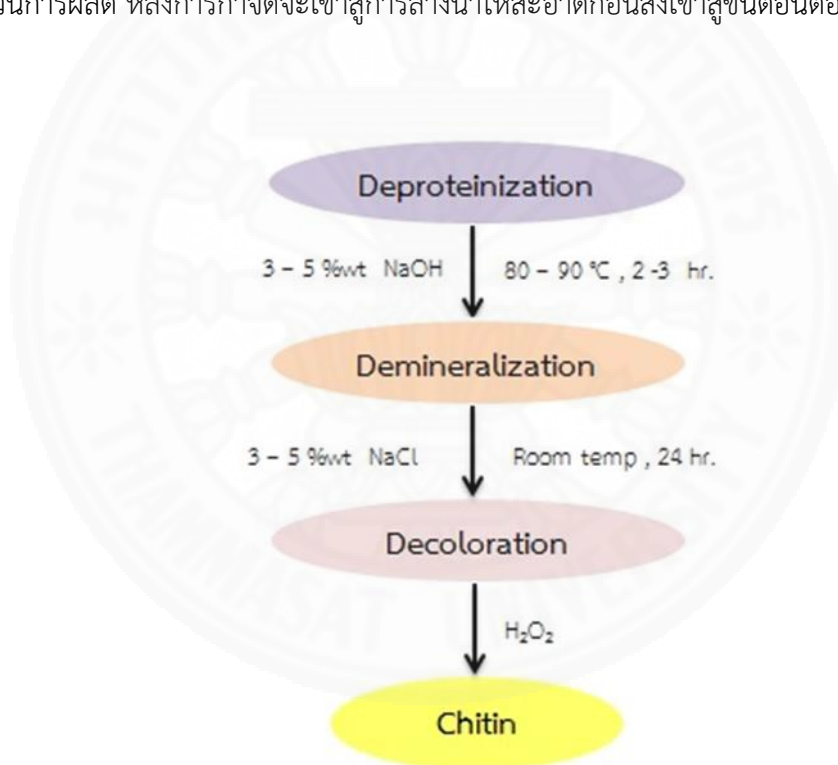
2.2.1.1 กระบวนการผลิตไคติน

(1) การกำจัดโปรตีน (deproteinization) เป็นขั้นตอนกำจัดโปรตีนออกจากเปลือกกุ้ง ปู ด้วยการทำปฏิกิริยากับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 3-5% อุณหภูมิในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส 2-3 ชั่วโมง ซึ่งสารโปรตีนจะถูกกำจัดออกพร้อมกับไขมันและสีบางส่วน หลังการกำจัดจะเข้าสู่การล้างน้ำให้สะอาดก่อนส่งเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

(2) การกำจัดเกลือแร่ (demineralization) เป็นขั้นตอนการกำจัดอินทรีย์สารจำพวกแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในเปลือกกุ้ง ปู ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น

3-5% ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง แร่ธาตุจะถูกกำจัดออกในรูปของอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) และกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ระเหยออกไป รวมไปถึงโปรตีน และสีบางส่วนที่หลงเหลือจากขั้นตอนการกำจัดโปรตีน หลังการกำจัดจะเข้าสู่การล้างน้ำให้สะอาดก่อนส่งเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

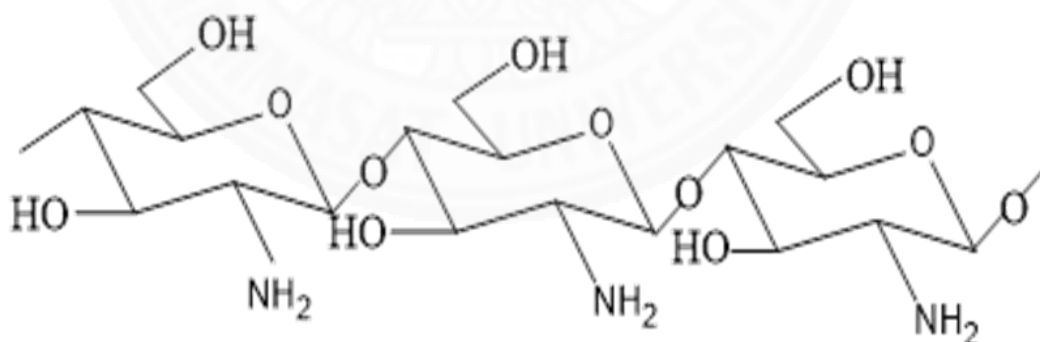
(3) การกำจัดสี (decoloration) เป็นขั้นตอนการกำจัดตรงควัตถุหรือสีออกให้หมด ขั้นตอนนี้อาจทำก่อนกระบวนการผลิตไคโตซานเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไคติน และนำไคตินมาผลิตไคโตซานหรือทำหลังขั้นตอนการผลิตไคโตซานเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซาน การฟอกสีจะใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต (NaOCl_4) เหมือนกับกระบวนการฟอกสีในสิ่งทอ แต่สารเหล่านี้มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแตกสั้นลง จึงนิยมทำในขั้นตอนต้นของกระบวนการผลิต หลังการกำจัดจะเข้าสู่การล้างน้ำให้สะอาดก่อนส่งเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตไคติน

2.2.2 ไคโตซาน (chitosan)

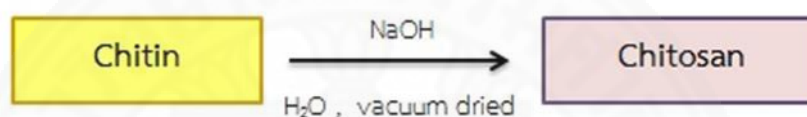
ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิล (acetyl group) ของไคตินออกโดยปฏิกิริยาที่เรียกว่า deacetylation ทำให้โครงสร้างของไคตินที่เป็น N-Acetyl Glucosamine กลายเป็น glucosamine ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และมีสมบัติละลายได้ดีในกรดอ่อน ในอุตสาหกรรมการผลิตไคโตซานจะสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง, เปลือกปูและปลาหมึก ซึ่งระดับการกำจัดหมู่ Acetyl หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation จะมีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้มวลโมเลกุลของไคโตซานยังบ่งบอกถึงความยาวของสายโซ่ไคโตซานซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลสูงจะมีสายโซ่ยาวและเมื่ออยู่ในสภาวะสารละลายจะมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation และมวลโมเลกุลเช่นกัน ไคโตซานสามารถละลายในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก, กรดไพรฟิโอนิก, กรดแลคติก, กรดไพรูวิก, กรดมาลิก กรดทาทริก และกรดซิตริก โดยทั่วไปแล้วไคโตซานไม่สามารถละลายในน้ำและไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่จะละลายในสารละลายพอลิแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกรด และสามารถละลายได้ในเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) นอกจากนี้ไคตินและไคโตซานยังมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำและมีความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกันโดยพบว่า ไคโตซานมีค่าการอุ้มน้ำที่สูงกว่าไคติน เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้าง ปริมาณโปรตีน รวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดเกลือกับตัวทำละลาย[5,6]



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

2.2.2.1 กระบวนการผลิตไคโตซาน

การผลิตไคโตซานจะมีขั้นตอนเหมือนกับการผลิตไคตินจนได้สารไคตินบริสุทธิ์ หลังจากนั้นจะใช้สารไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน การกำจัดหมู่อะซิติก (acetyl group) ของไคติน (demineralization) ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดนั้นสามารถกระทำได้ แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดยังด้อยกว่าการกำจัดด้วยด่าง ซึ่งนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นจะล้างด้วยน้ำให้สะอาดและอบให้แห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะดูที่ความมากน้อยของหมู่อะซิติกที่เหลืออยู่



ภาพที่ 2.5 แสดงกระบวนการผลิตไคโตซาน

2.2.2.2 ประโยชน์ของไคโตซาน

ในปัจจุบันนิยมนำไคโตซาน และไคตินทั้งสองรูปแบบมาใช้ประโยชน์ แต่ส่วนมากจะใช้ประโยชน์ในรูปของไคโตซานมากกว่า ในทางการแพทย์นั้นไคโตซานเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่ดีสามารถเตรียมได้ในรูปแบบเม็ดเจล, แผ่นฟิล์มพองน้ำ, เพลเลต, แคปซูล และยาเม็ด ไคโตซานที่ใช้เป็นส่วนผสมในยาชนิดต่างๆ จะใช้ทำหน้าที่ป้องกันการย่อยสลายของยาบริเวณกระเพาะอาหาร ซึ่งเป็นสารควบคุมการปล่อยยาหรือเป็นตัวนำส่งยาเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต เป็นต้น ไคโตซานซัลเฟตสามารถยับยั้งการแข็งตัวของเลือด และปลดปล่อย lipoprotein lipase โดยนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการฟอกเลือดเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด นอกจากนี้ยังใช้สำหรับรักษาแผล และป้องกันการติดเชื้อของแผลได้ดี สำหรับทางด้านการเกษตรนิยมใช้ไคติน ไคโตซานในหลายด้านด้วยกัน อาทิ การใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์พืช ป้องกันโรค แมลง การเน่าเสียจากจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ ใช้เร่งการเจริญเติบโตของพืช ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนกระตุ้นการเกิดราก และใช้สำหรับปรับปรุงดิน เพิ่มธาตุอาหารในดิน ปรับปรุงดินเค็ม ปรับปรุงดินที่เป็นกรดเป็นด่าง สำหรับอุตสาหกรรมอาหารจะใช้เป็นอาหารเสริมที่สามารถให้พลังงาน และช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลชนิด LDL รวมถึงไขมันจำพวกไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้ดี ด้วยการจับตัวกับกลุ่มไขมันทำให้ลดการดูดซึมบริเวณลำไส้จึงนิยมนำไคโตซานผลิตเป็นอาหารเสริมเพื่อลดน้ำหนัก หรือนำไปทำเป็นแผ่นฟิล์มบรรจุอาหาร เนื่องด้วยการใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนมีข้อเสียทำให้อาหารเน่าเสียเร็ว

เพราะมีการกักเก็บความชื้นไว้ภายใน แต่แผ่นฟิล์มจากไคโตซานสามารถยืดอายุอาหารได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถถ่ายเทความชื้นจากอาหารสู่ภายนอกได้ดีกว่า และผลิตเป็นสารเติมแต่งในน้ำผลไม้ ด้วยการเติมไคโตซานเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็น fining agent และควบคุมสภาพความเป็นกรดของน้ำผลไม้ได้ดี และทางด้านเครื่องสำอางนั้น เนื่องด้วยคุณสมบัติของไคติน และไคโตซานที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีจึงนำมาผลิตเป็นเป็นฟิล์มบางๆคลุมผิวหนังเพื่อป้องกันการเสียความชุ่มชื้นของผิว รวมถึงคุณสมบัติที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของไคโตซานจึงนิยมนำมาเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น แป้งทาหน้า สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนกันแดด ครีมบำรุงผิว ยาย้อมผม ยาเคลือบผม เป็นต้น และสำหรับทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องด้วยคุณสมบัติของไคตินและไคโตซานที่สามารถดูดซับ และจับกับสารอินทรีย์จำพวกไขมัน สี รวมถึงสารจำพวกโลหะหนักได้ดีจึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นสารกรองหรือตัวดูดซับสารมลพิษในระบบบำบัดน้ำเสีย[4,7]

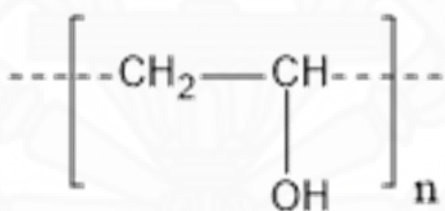
2.2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol)

เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติในการก่อตัวเป็นเจล คุณสมบัติการละลายในของเหลว และคุณสมบัติการยึดติด (adhesive) อีกทั้งยังทนต่อการกัดกร่อนของน้ำมันและตัวทำละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าความทนต่อแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติในการป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย ถ้าหากมีความชื้นสูงก็จะดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความเค้นแรงดึงลดลง แต่แรงยึดและแรงเหนียวเพิ่มขึ้น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้ดีและย่อยสลายได้ด้วยวิธีชีวภาพ (biodegradable) โดยย่อยสลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส สมบัติพื้นฐานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึก ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ PVA ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ดีในบ่อบำบัดน้ำเสีย แต่จะย่อยสลายได้ช้าในดิน นอกจากนี้การย่อยสลายของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึก และน้ำหนักโมเลกุลของ PVA ผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบฟิล์มของ PVA นอกจากสามารถนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อทั่วไปแล้วยังนำไปใช้ทางด้านอื่นๆ ได้แก่ ด้านการแพทย์ด้านสิ่งทอและด้านการเกษตร[13-15]

2.2.3.1 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

(1) อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น เมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้เป็นตัวช่วยจะทำให้ระบบอิมัลชันและสารแขวนลอยต่างๆเข้มข้นขึ้น (ใช้เป็น thickening agent) และสามารถจัดทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งจะให้คุณสมบัติที่มีความใสและมีความเหนียว

(2) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกนำไปทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถละลายได้แล้วจึงนำมาใช้งาน โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำสามารถดูดน้ำและความชื้นดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ สำหรับผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้จะมีคุณสมบัติที่สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนต่อการสึกหรอ และคงรูปเป็นอย่างดี

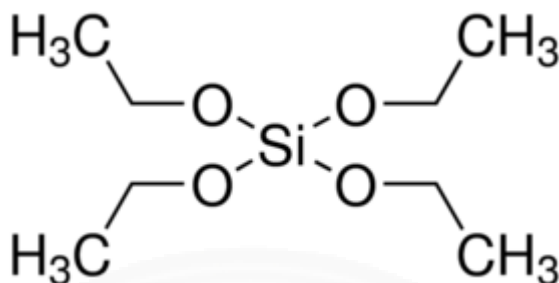


ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.2.4 Tetraethyl orthosilicate (TEOS)

สารเชื่อมขวางที่นิยมถูกนำมาใช้งานโดยทั่วไปนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น formaldehyde, glutaraldehyde, genipin, epichlorohydrine, borate และ tripolyphosphate เป็นต้น[16] ซึ่งสารเชื่อมขวางดังกล่าวค่อนข้างมีความเป็นพิษและย่อยสลายได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับสารเชื่อมขวางประเภท alkoxysilane ตัวอย่างเช่น TEOS ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นพิษ มีความเข้ากันได้กับธรรมชาติ เมื่อนำมาใช้งาน[17] คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของ TEOS จะมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถละลายได้ในน้ำ สูตรทางเคมีของ TEOS คือ $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ซึ่งสำหรับ alkoxysilane ประเภทนี้เมื่อเติมลงไปในพอลิเมอร์จะเกิดพันธะโคเวเลนต์ขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดและเกิดแรงยึดติดระหว่างกันเพิ่มขึ้น จึงทำให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบประเภทพอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น[18] นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Islam, A. และคณะได้รายงานว่า การนำสารเชื่อมขวางชนิด TEOS มาใช้สำหรับเชื่อมขวางไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้น ทำให้วัสดุเชิงประกอบดังกล่าวมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นและเข้ากันได้ดี อีกทั้ง TEOS ยังเป็นสารเชื่อมขวางที่

ไม่ก่อให้เกิดพิษจึงทำให้วัสดุเชิงประกอบดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานสำหรับระบบนำส่งยา[19]



ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ tetraethyl orthosilicate

2.2.5 ไฮโดรเจล (hydrogel)

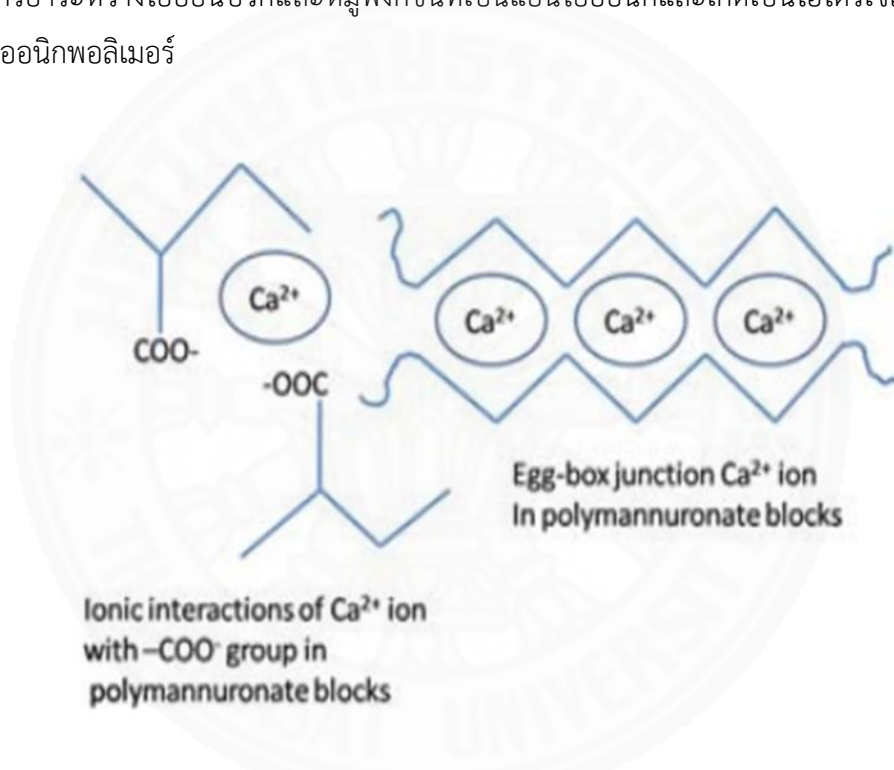
ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถดูดซับน้ำได้มาก เนื่องจากไฮโดรเจลสามารถกักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ เช่น หมู่ -OH, -COOH, -CONH-, NH₂ และ -SOH เป็นต้น โดยระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ พันธะไฮโดรเจนหรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันต่างๆในสายโซ่ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมาก และเมื่อโมเลกุลมีการรวมตัวกันและขดตัวอยู่จะทำให้ โครงสร้างโดยรวมเกิดเป็นรูพรุนและร่องขนาดเล็กๆมากมาย จึงทำให้ไฮโดรเจลมีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับน้ำและของเหลวทางชีวภาพ และเนื่องจากคุณลักษณะเด่นของไฮโดรเจลด้านโครงสร้างที่เป็นโครงร่างตาข่ายและประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำอยู่ภายในโครงสร้าง จึงทำให้มีการนำไฮโดรเจลไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน เช่น การนำส่งยา การดูดซับโลหะหนัก และวัสดุปิดแผล เป็นต้น[20-23]

2.2.5.1 วิธีการเตรียมไฮโดรเจล [24]

วิธีการเตรียมไฮโดรเจลถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ และเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานที่เจาะจง โดยไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้หลายวิธีดังนี้

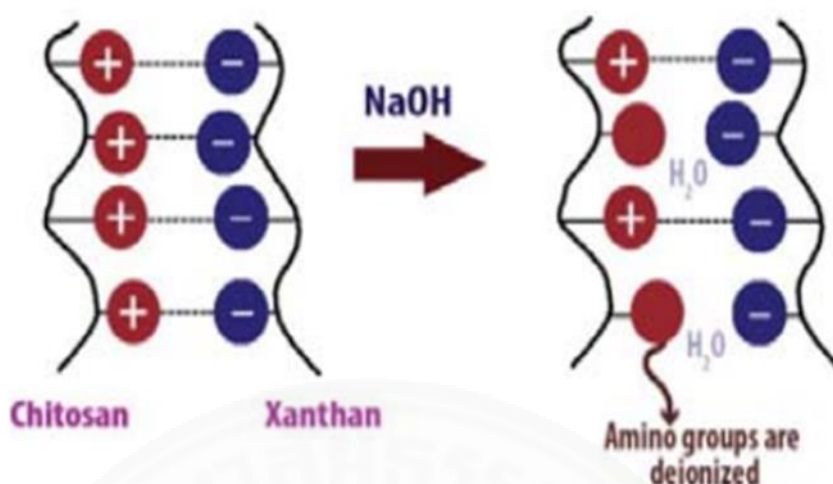
(1) Physical crosslinking เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลด้วยการเชื่อมขวางทางกายภาพซึ่งได้รับความสนใจมากเนื่องจากสะดวก ทำได้ง่ายและมีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมขวาง ซึ่งถือเป็นการช่วยลดต้นทุนในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล การเตรียมไฮโดรเจลด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพมีหลายวิธีได้แก่

- Ionic interaction การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการเกิดอันตรกิริยาแบบไอออนิกระหว่างหมู่ฟังก์ชันกันในสายโซ่ของไฮโดรเจล เช่น เตรียมไฮโดรเจลโดยการเติม CaCl_2 ลงใน polymannuronate ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นแอนไอออนิก คือ COO^- จึงทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนบวกและหมู่ฟังก์ชันที่เป็นแอนไอออนิกและเกิดเป็นไฮโดรเจลที่มีลักษณะเป็นไอออนิกพอลิเมอร์



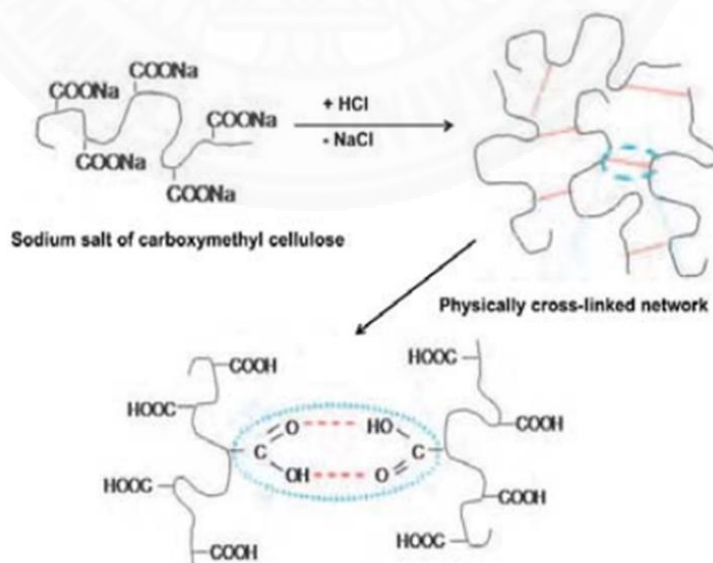
ภาพที่ 2.8 แสดงการเชื่อมขวางที่เกิดจากพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิก และแคลเซียมไอออน[74]

- Complex coacervation การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้ทำโดยการนำพอลิเมอร์ที่เป็นแอนไอออนิกมาเชื่อมขวางกับพอลิเมอร์ที่เป็นแคทไอออนิก หลักการพื้นฐานของวิธีนี้ คือ พอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมจะต้องมีประจุตรงข้ามกัน เมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน เช่น การเตรียมพอลิไอออนิกไฮโดรเจลโดยนำ xanthan ซึ่งเป็นแอนไอออนิกพอลิเมอร์มาเชื่อมขวางกับ ไคโตซานซึ่งเป็นแคทไอออนิกพอลิเมอร์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพอลิไอออนิกไฮโดรเจล



ภาพที่ 2.9 แสดงการสังเคราะห์พอลิไอออนิกไฮโดรเจลจาก xanthan/chitosan[74]

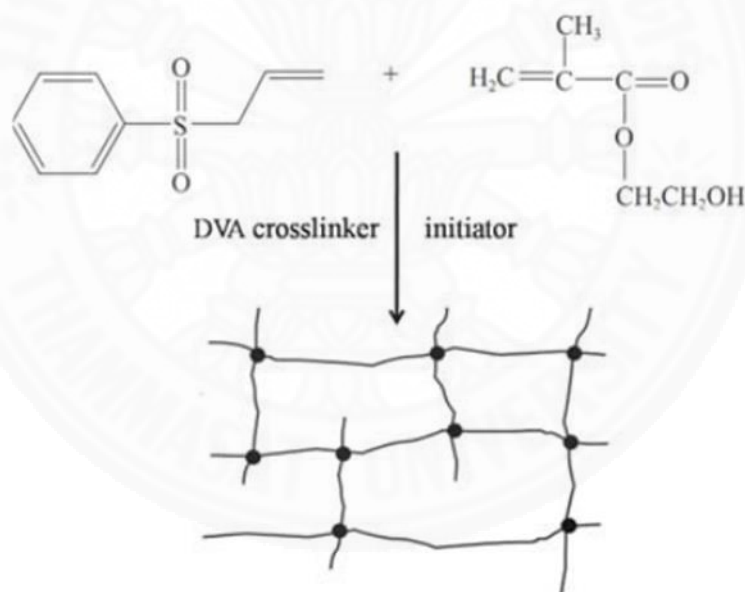
- H-bonding การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล เช่น การเตรียมไฮโดรเจลชนิด carboxymethyl cellulose โดยการเชื่อมขวางโมเลกุลของ poly(carboxy-methyl cellulose) ด้วยการลดค่าพีเอชของสารละลายพอลิเมอร์เพื่อให้สารละลายมีความเป็นกรดและเกิดการถ่ายโอนประจุของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (-COOH) จากนั้นโมเลกุลของคาร์บอกซิลิกจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของคาร์บอกซิลิกด้วยกันเอง จนเกิดการเชื่อมขวางและเกิดเป็นเจล



ภาพที่ 2.10 แสดงการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส[74]

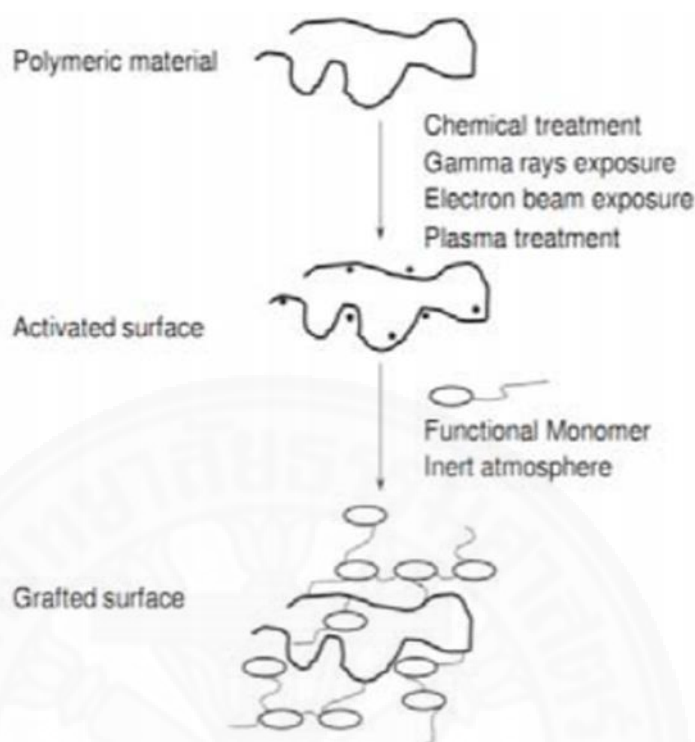
(2) Chemical crosslinking การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้ใช้วิธีเชื่อมขวางทางเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่พอลิเมอร์ การเตรียมด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยการเติมสารเชื่อมขวางเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์สองสายเข้าด้วยกัน ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นลักษณะโครงร่างตาข่าย สารเชื่อมขวางที่นิยมใช้ในการเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้ ได้แก่ ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) และ glutaraldehyde (GA) เป็นต้น การเตรียมไฮโดรเจลโดยอาศัยวิธีการเชื่อมขวางทางเคมีแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

-การเติมสารเชื่อมขวาง (chemical crosslinkers) เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลโดยการเติมสารเชื่อมขวางและอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อกันของสายโซ่พอลิเมอร์ เช่น การสังเคราะห์ไฮโดรเจลร่วมชนิด allyl phenyl sulfone/hydrophilic 2-hydroxyethyl methacrylate (APS-co-HEMA hydrogels) โดยใช้ไดไวนิลเบนซีน (DVB) เป็นสารเชื่อมขวาง



ภาพที่ 2.11 แสดงการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิด APS-co-HEMA[74]

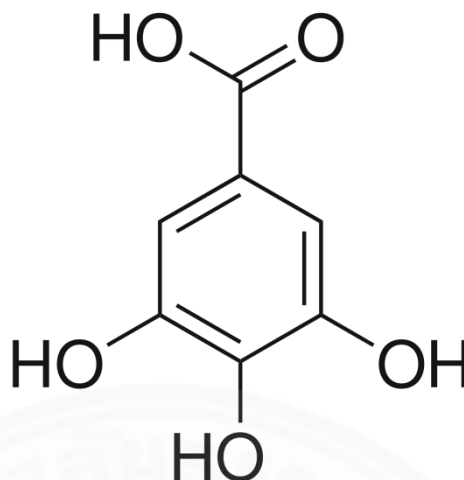
-การกราฟต์ (grafting) เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลที่เกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่ของพอลิเมอร์ โดยใช้สารเชื่อมขวางหรือรังสีความร้อนช่วยให้เกิดตำแหน่งว่องไว (active site) ขึ้นมา จากนั้นมอนอเมอร์จะเข้าไปกราฟต์บนสายโซ่พอลิเมอร์และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันขึ้นจึงเกิดการเชื่อมขวางกันภายในสายโซ่



ภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเจลด้วยวิธีกราฟต์[74]

2.3 กรดแกลลิก (gallic acid)

กรดแกลลิก เป็นกรดอินทรีย์ในกลุ่ม polyphenol ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ช่วยป้องกันเซลล์จากความเครียด เมื่ออายุมากขึ้น ซึ่งช่วยลดโรคหัวใจและโรคมะเร็งในผู้สูงอายุ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ฤทธิ์ต้านจุลชีพ (anti-microbial) ต้านโรคเบาหวาน (antidiabetes) ลดระดับของ คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (cholesterol and triglyceride lowering effects) ได้ และยังพบว่ากรดแกลลิกใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารอื่น ๆ อีกด้วย ซึ่งในธรรมชาติสามารถพบกรดแกลลิกได้จากพวกมังคุด ชาเขียว บลูเบอร์รี่ แอปเปิล ใบชา วอลนัท โดยผลไม้ตระกูลเบอร์รี่นั้นจัดว่ามีปริมาณกรดแกลลิกมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลราสเบอร์รี่ สีสแดงและนอกจากนี้ยังพบว่าในพืชที่ถูกดัดแปลงพันธุกรรมจะมีปริมาณกรดแกลลิกสูงขึ้น โดยการดัดแปลงพันธุกรรมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราในผักอย่างเช่น วอลนัท ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแกลลิกในวอลนัท เป็นต้น[25-29]

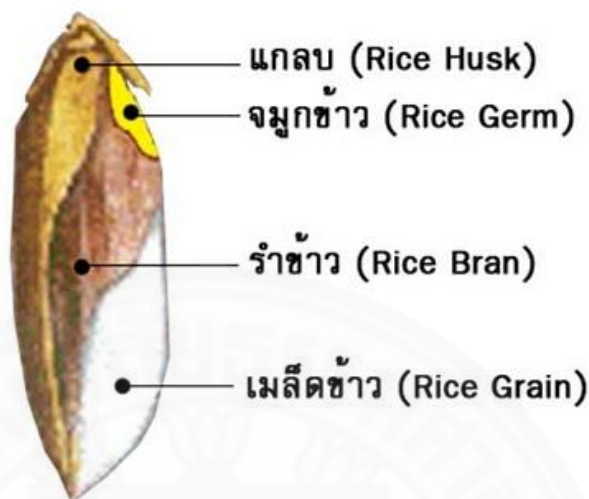


ภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก[30]

2.4 ข้าว

ข้าว (rice) จัดเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรโลก มีผู้คนกว่าครึ่งโลกที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ประเทศไทยเรานั้นมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมานานมาแล้วจนถึงปัจจุบันนี้ก็ยังมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักอยู่ และที่สำคัญนั้นเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานแก่ชีวิตในแต่ละวันของคนไทยเรา โดยทั่วไปแล้วข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เรียกว่าแกลบ (hull หรือ husk) และส่วนเนื้อผล หรือข้าวกล้อง (brown rice) ซึ่งห่อหุ้มด้วยรำข้าว (rice bran) เมล็ดข้าว (rice grain) จะหุ้มไว้ด้วยรำข้าว แต่ข้าวที่เรากินอยู่ทุกวันนี้จะผ่านการสีเอาเปลือกออกหรือมีการขัดสีทำให้สารอาหารที่สำคัญหลุดออกไปกับเปลือกข้าวหรือเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว สำหรับเปลือกข้าวหรือที่ชาวบ้านเรียกว่า "แกลบ" จะมีจมูกข้าวติดอยู่และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เราเรียกว่า "รำ" นี้มีคุณค่าอาหารที่มีประโยชน์มาก ซึ่งส่วนของน้ำมันรำข้าวก็ยังพบว่ามีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบดังนี้ คือ มีกรดโอเลอิกสูงถึง 40-50% รองลงมา คือ กรดลิโนเลอิก 20-42% และกรดปาล์มมิก 12-18% ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (โทโคไตรอีนอล และโทโคเฟอรอล) และออริซานอล ซึ่งสารประกอบทั้งสามชนิดนี้จะลดการเกิด Oxidized LDL ลดการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือดและลดการเกิดคอเลสเตอรอลออกไซด์ ข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูงก็คือข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือไม่ผ่านการสีเปลือกข้าวออก เช่น ข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ ข้าวเนืองก่อนสี ข้าวเสริมวิตามิน ข้าว

กล้อง นอกจากนี้ข้าวกลุ่มมีสีต่างๆก็ยังพบว่าอุดมไปด้วยสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆมากมายเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวกล้องหอมนิล ข้าวสังข์หยด เป็นต้น[8]



ภาพที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดข้าว[75]

2.4.1 คุณประโยชน์ของข้าว

ข้าวแต่ละชนิดจะมีสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบภายในแตกต่างกันจึงส่งผลให้มีคุณประโยชน์ที่แตกต่างกันไปด้วย เช่น

2.4.1.1 ข้าวหอมมะลิขาว มีคุณค่าจากโปรตีน เส้นใยอาหารจึงสามารถป้องกันท้องผูก ไนอะซินรักษาผิวหนังและระบบประสาท ธาตุเหล็กและทองแดงช่วยสร้างเม็ดโลหิต ป้องกันโลหิตจางเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ

2.4.1.2 ข้าวแดงหอมมะลิ มีวิตามินบี 1 ป้องกันเหน็บชา วิตามินบี 2 ป้องกันปากนกกระจอก วิตามินบี 6 ป้องกันโรคเกี่ยวกับโรคผิวหนัง ไอโอดีนป้องกันคอหอยพอก ไยอาหารช่วยการขับถ่าย

2.4.1.3 ข้าวเบญจรงค์ คุณประโยชน์ครบมีใยอาหารสูง มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย วิตามินอีสูงช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ มีธาตุเหล็ก โปรตีน และฟอสฟอรัสสูงช่วยบำรุงร่างกายให้แข็งแรงต้านโรค

2.4.1.4 ข้าวหอมนิล ในสารอาหารของข้าวประกอบไปด้วยธาตุเหล็ก และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีมากกว่าข้าวโดยทั่วไปถึง 7 เท่า ลดความเสี่ยงของโรคมะเร็ง โยอาหารในข้าวหอมนิลยังช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้อีกด้วย

2.4.1.5 ข้าวกำตอย มีวิตามินบี 1 มากกว่าข้าวขัดขาวถึง 371 เท่า มีแหล่งอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายไม่ต่ำกว่า 15 ชนิด เช่นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใบอาหาร เหลือแร่ ช่วยบำรุงร่างกาย ฟันฟูกำลังได้ดี เหมาะสำหรับผู้ป่วยพักฟื้น

2.4.1.6 ข้าวกล้องงอก มีสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิก ช่วยยับยั้งการเกิดฝ้าชะลอความแก่ สารออริซานอลช่วยลดอาการผิดปกติของวัยทอง สารกาบา (GABA) ช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์ ป้องกันความจำเสื่อม ช่วยให้ผ่อนคลายหลับสบาย ลดความดันโลหิต โยอาหารควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดอาการท้องผูก วิตามินอีชะลอการเหี่ยวย่นของผิว

2.4.1.7 ข้าวหอมมะลิกล้อง มีจมูกข้าวและโยอาหารเป็นประโยชน์ต่อการสร้างภูมิคุ้มกันโรคให้กับร่างกาย และระบบขับถ่าย ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน อ่อนเพลีย ร่างกายไม่มีแรง โยอาหารช่วยลดระดับของเสีย และสารพิษต่างๆ ออกจากร่างกาย ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้

2.4.1.8 ข้าวหอมมะลิซ้อมมือ มีวิตามินบี 1 บี 2 ป้องกันโรคปากนกกระจอก และอาการเบื่ออาหารวิตามินบีรวม ป้องกันระบบประสาทอักเสบ บำรุงสมอง แคลเซียม ฟอสฟอรัส เสริมสร้างกระดูก ป้องกันการเป็นตะคริว แมงกานีสช่วยกระตุ้นเอนไซม์ และการเจริญเติบโต

2.4.1.9 ข้าวลิ้มผิว (ข้าวกำเหนียวดำ) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับวิตามินอี แต่คุณสมบัติดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างของสารสำคัญมีประสิทธิภาพในการจับหรือยึดเกาะมากกว่าในวิตามินอีทำให้การยึดเกาะพื้นผิวมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยในเรื่องต่อกระจก และยังใช้เป็นยารักษาโรคตามภูมิปัญญาท้องถิ่น ทั้งอาการตกเลือดหลังคลอด โรคท้องร่วง และโรคผิวหนัง[9]

2.4.2 ข้าวเหนียวดำลิ้มผิว (black sticky rice)

2.4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวดำลิ้มผิว

ข้าวพันธุ์นี้เป็นข้าวไร่ข้าวเหนียวนาปี อายุเบา ต้นเตี้ย เมล็ดมีกลิ่นหอม ข้าวกล้องมีสีม่วงดำ ปลูกโดยกลุ่มชาติพันธุ์ชาวม้ง พบที่บ้านรวมไทยพัฒนาที่ 3 ตำบลรวมไทยพัฒนา อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ข้าวลิ้มผิว เป็นข้าวไร่ข้าวเหนียว ไร่ต่อช่วงแสง เก็บเกี่ยวประมาณ 15 – 30 ตุลาคม ลักษณะทรงกอตั้งต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ปล้องสีเหลืองอ่อน กาบใบเบะ ใบสีเขียวลิ้นใสน้ำตาลอ่อนมี 2 ยอด หูใบสีเหลืองน้ำตาล มุมใบตรงหักลง คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น กลีบดอกกระยะออกรวง 50 เปอร์เซนต์ มีสีเขียวอ่อน เมื่อระยะนํ้ามกลีบดอกเปลี่ยนสีเป็นแถบสีม่วงบน พื้นสีเขียวอ่อน ต่อมา

เมื่อเข้าสู่ระยะแป้งแข็ง สีกลิบดอกจะเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบม่วงดำ และเมื่อข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ สีเปลือกเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบดำ หรือสีฟาง บางเมล็ด หางสั้นน้อยกว่า 1 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ย 151 เซนติเมตร ข้าวกล้องสีม่วงดำ รูปร่างค่อนข้างป้อม มีปริมาณโปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีกลิ่นหอม ผิวมัน และนุ่มเหนียว ระยะพักตัวของเมล็ด 5 สัปดาห์ [10]



ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวดำลิ้มผัว[76]

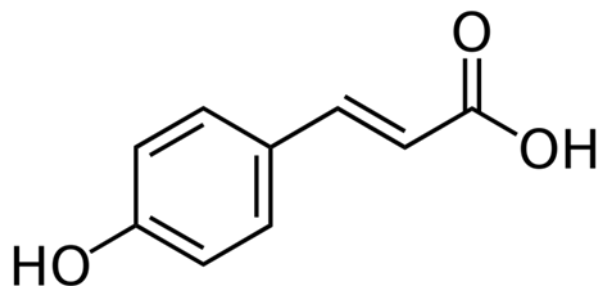
2.4.2.2 สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในข้าวเหนียวดำลิ้มผัว

สำหรับสารกลุ่มฟีนอลิกที่พบในสารสำคัญจากข้าวนั้น เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัชซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอลิกส่วนมากจะพบได้ในรูปอนุพันธ์ กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอลส์คาร์ทีซิน ไอโซฟลาโวนส์ และฟลาโวนส์ สารเหล่านี้มีฤทธิ์หลายอย่างเช่น ด้านการเกิดออกซิเดชัน ด้านการเกิดโรคมะเร็งต่างๆ เช่น มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งผิวหนัง มะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งลำไส้ และมะเร็งตับ เป็นต้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางยาได้ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ด้านการอักเสบต่างๆและ

สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ โครงสร้างมีความเสถียรจึงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของ และ low-density lipoprotein (LDL) กรด ลิโนเลอิก (linoleic acid) ป้องกันดีเอ็นเอและเนื้อเยื่อจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดฟีนอลิกจัดเป็นกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่ถูกสร้างขึ้นโดยพืช สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

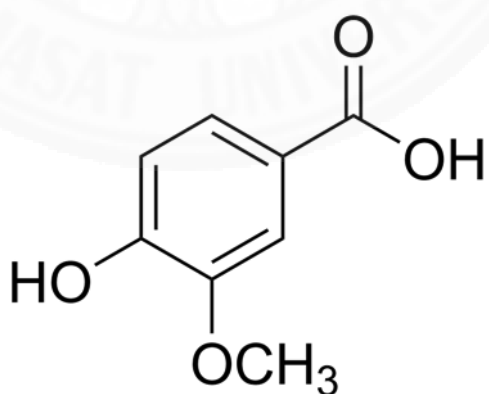
(1) กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) จัดเป็นกรดฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่สุดพบทั่วไปในพืช กรดฟีนอลิกที่พบมาก ได้แก่ p-coumaric acid, ferulic acid, caffeic acid และ sinapic acids โดยปกติเกิดขึ้นจากหลายๆ รูปแบบ เช่น เกิดจากการย่อยของเอนไซม์หรือการเชื่อมกันของเอสเทอร์ของ hydroxyacids ตัวอย่างเช่น quinic acid, shikimic acid และ tartaric acid

- p-coumaric acid เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีของกรดซินนามิก มีลักษณะทั่วไปเป็นผลึกแข็งสีขาว สามารถละลายในน้ำได้แต่จะละลายได้ดีในเอทานอลและไดเอทิลเอสเทอร์ กรดดังกล่าวนี้จะพบได้ 3 ไอโซเมอร์ คือ o-coumaric acid, m-coumaric acid และ p-coumaric acid โดยทั้ง 3 ไอโซเมอร์จะมีความแตกต่างกันที่ตำแหน่งไฮดรอกซี สำหรับไอโซเมอร์ชนิด p-coumaric acid จะสามารถพบมากที่สุดในธรรมชาติเช่น แครอท ถั่วลิสง พริกสีเขียว สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ สับปะรด และกระเทียม ฤทธิ์ทางชีวภาพของ p-coumaric acid คือ สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของ low-density lipoprotein (LDL)² และสามารถลดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งในกระเพาะอาหาร โดยเข้าไปช่วยลดการเกิด carcinogenic nitrosamines ทำให้มะเร็งในกระเพาะอาหารไม่สามารถพัฒนาต่อได้ ซึ่งไนโตรซามีนเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่โครงสร้างประกอบด้วยครึ่งหนึ่งเป็นไนโตรเจน (N=O) มีการค้นพบมากกว่า 100 ปีแล้วว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการก่อมะเร็งอย่างแรงในสัตว์ทดลอง 90% ของไนโตรซามีนทั้งหมดเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เนื้อสัตว์ อาหารดอง และปลาเค็มแห้ง ดังนั้นผู้บริโภคจึงมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งได้ โดยกระบวนการเกิดมะเร็งจะเริ่มต้นที่เมื่อเกลือไนเตรทถูกย่อยในกระเพาะอาหารจนกลายเป็นไนไตรต์ ซึ่งไนไตรต์นี้จะเข้าไปจับกับเอมีนที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรตีนในเนื้อ สุดท้ายจะได้สารก่อมะเร็งชนิด carcinogenic nitrosamines โดยกรด p-coumaric acid จะยับยั้งกระบวนการนี้โดยการเข้าจับกับอนุพันธ์ของกรดไนตริก ป้องกันไม่ให้จับกับเอมีนทำให้ไม่เกิดไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารอันตราย



ภาพที่ 2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ p-coumaric acid

-กรดวานิลลิก (vanillic acid) เป็นสารประกอบหลักของ biovanillin กรดนี้ประกอบด้วยหมู่อัลดีไฮด์และฟีนอลิก กรดวานิลลิกถูกสร้างขึ้นโดยพืช เช่น ฝักวานิลลา และสามารถสังเคราะห์ได้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้กลิ่นในอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในเครื่องดื่มประเภทไวน์ที่ผ่านการบ่มนานๆ และได้จากการผลิตเคอร์คิวมิน (curcumin) ของขมิ้น กรดวานิลลิกจะมีกลิ่นแรง ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและในกระบวนการสังเคราะห์ยาในยุโรป อนุพันธ์ของกรดวานิลลิกจะถูกนำมาใช้เป็นยาบำรุงกำลัง กรดวานิลลิกมีคุณสมบัติการต้านสารก่อมะเร็ง โดยสามารถลดจำนวนเซลล์มะเร็งในลำไส้เล็กได้ ป้องกันเซลล์จากการทำลายของ H_2O_2 ป้องกันเซลล์ที่ได้รับความเสียหายไม่ให้เกิดการกลายพันธุ์ ช่วยให้อายุขัยมีประสิทธิผลมากขึ้น



ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะโครงสร้างเคมีของ vanillic acid

(2) กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoicacids) โครงสร้างโดยทั่วไปของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก คือ C6 - C1 เป็นอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก ความแปรผันโครงสร้างของกรดนี้ขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดปฏิกิริยา methylations และ hydroxylations ของวงแหวนอะโรมาติก เช่น phydroxybenzoic, syringic, vanillic และ protocatechuic acid ในธรรมชาติพบอยู่ในรูปที่จับกับน้ำตาลหรือกรดอินทรีย์ถูกสะสมอยู่บริเวณผนังเซลล์ของพืชในส่วนที่เรียกว่า “ลิกนิน” ตัวอย่างของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก เช่น กรดซาลิไซลิก (2-hydroxybenzoate) และกรดแกลลิกซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่อยู่ในโมเลกุลซึ่งมีส่วนร่วมในการสร้าง hydrolysable gallotannins ทำให้ได้ hexahydroxydiphenic acid และ ellagic acid, dilactone โดยทั่วไปแล้ว ellagic acid สามารถพบใน ellagitannins เช่น เอสเทอร์ของ diphenic acid

2.4.2.3 กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ[11]

(1) อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุล หรืออะตอมที่ไม่เสถียร เนื่องจากขาดอิเล็กตรอนซึ่งโดยปกติในร่างกายของเรามีโมเลกุล หรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ ในกรณีที่ร่างกายมีการสูญเสียอิเล็กตรอน จากการถูกอนุมูลอิสระแย่งจับจะทำให้โมเลกุลของเซลล์ ร่างกายไม่เสถียรขาดความสมดุล ซึ่งส่งผลทำให้เซลล์ของร่างกายเสียหายได้ไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิดจนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติ อนุมูลอิสระเกิดจากผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนของกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ รวมทั้งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ มลพิษ การติดเชื้อโรค รังสียูวี (UV-ray) โอโซน (ozone) คาร์บอนท็อกซิเจน รอยยนต์ และควันบุหรี่ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรมากกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ได้

(2) สารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน

(nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร เป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระมี 2 ประเภท คือ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (nature antioxidants) ซึ่งพบในพืชและราเกือบทุกชนิด รวมทั้งในเนื้อเยื่อของสัตว์ สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่สำคัญ คือ โทโคเฟอร์รอล (tocopherols) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และกรดฟีนอลิก (phenolic acids) ข้อดีและข้อเสียของสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 ประเภท คือ สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่มีความปลอดภัย ซึ่งในทางกฎหมายไม่ต้องการทดสอบด้านความปลอดภัย ถือว่าเป็นอาหารที่มนุษย์บริโภคมากกว่า 100 ปี นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำมันบริโภคมีความคงตัว และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับน้ำมันบริโภคอีกด้วย ในส่วนของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ มีงานวิจัยที่พบว่า สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ได้แก่ BHT และ BHA มีฤทธิ์ทำลายตับ และเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติจึงมีบทบาทสำคัญในการทำลายอนุมูลอิสระ ส่งผลให้โรคต่าง ๆ เกิดขึ้นช้าลง

(3) กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

- ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้นซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ

- ยับยั้งการทำงานของ ซิงเกิ้ลทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2^*$) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1O_2^*$) ให้อยู่ในรูปทริปเปรีท (triplet oxygen (3O_2)) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์จำนวน 1 โมเลกุลสามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกิ้ลทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล

- จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และ ซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น

- หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chainbreaking) วิตามินอี (α -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

ไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxy (ROO[•])

- ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และกาแลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

2.4.2.4 คุณประโยชน์ของข้าวเหนียวดำลิ้มผิว

ข้าวลิ้มผิวเป็นข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารเป็นอย่างมากชนิดหนึ่ง โดยอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง รวมทั้งอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ โปรตีน วิตามินบี 1 และ 2, วิตามินอี, สารแกมมา - โอไรซานอล, กรดไขมัน, แอนโทไซยานิน, โอมะก้า 3, 6 และ สังกะสี, ธาตุเหล็ก, แมงกานีส และแคลเซียม ซึ่งมีส่วนช่วยในการบำรุงร่างกาย บำรุงสมอง และบำรุงผิวพรรณให้เปล่งปลั่ง รวมถึงช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคสมองเสื่อม โรคเบาหวาน โรคหอบหืดและสมรรถภาพทางเพศทั้งในเพศชายและเพศหญิง อีกทั้งยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและช่วยลดความอ้วนได้ดี จึงเป็นข้าวที่เหมาะสมสำหรับคนที่ลดน้ำหนักและรักสุขภาพเป็นอย่างมาก ข้าวลิ้มผิวสามารถนำไปแปรรูปได้หลายอย่างเช่น ซูชิ ซาลาเปา เต้าฮวย ไวน์สาโท เป็นต้น และที่สำคัญมีผลจากการวิเคราะห์ว่าเครื่องดื่มที่ทำจากข้าวลิ้มผิวพบว่า เครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำลิ้มผิวที่ผ่านความร้อนโดยการต้มเดือด มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นส่วนปริมาณ วิตามินบี 1 ที่อยู่ในข้าวลิ้มผิวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง[12]

2.5 ระบบนำส่งยา (drug delivery system)

ระบบนำส่งยา คือ การเตรียมยาในรูปแบบต่างๆ ที่สามารถควบคุมให้ปลดปล่อยยาในอัตราและปริมาณที่กำหนด และสามารถนำยาไปยังอวัยวะ หรือบริเวณเป้าหมายในร่างกายได้ตามต้องการ เพื่อทำให้เกิดผลสูงสุดในการรักษาและลดผลข้างเคียง พอลิเมอร์นับเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่ง ในระบบนำส่งยา ที่ช่วยควบคุมให้การปลดปล่อยยาเป็นไปตามต้องการ โดยทำหน้าที่ใน 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ เป็นสารช่วยควบคุมการปลดปล่อยให้เกิดช้าๆ และคงที่ในปริมาณที่ต้องการ เป็นตัวช่วยป้องกันและนำส่งยาไปยังบริเวณเป้าหมายในร่างกาย โดยไม่ทำให้ยาเกิดการปลดปล่อย หรือตัวยากลายไปก่อน

2.5.1 ส่วนประกอบของระบบนำส่งยาสู่เป้าหมาย โดยทั่วไประบบนำส่งยาจะประกอบด้วย ตัวยา ตัวพา และ/หรือส่วนที่มีความจำเพาะต่อเซลล์ อย่างเช่น ลิแกนด์ ซึ่งตัวพาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ

2.5.1.1 ตัวพาที่ละลายน้ำได้ (soluble carriers) ได้แก่ เดกซ์แทรน (dextran) และพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้

2.5.1.2 ตัวพาที่เป็นอนุภาค (particulate carriers) ได้แก่ อนุภาคที่เตรียมจากพอลิเมอร์ เช่น ไมโคร/นาโนพาร์ทิเคิล พอลิเมอร์กไมเซล เป็นต้น และอนุภาคที่เตรียมจากลิพิดเบส เช่น ลิโปโซม ไมโคร/นาโนอิมัลชัน เป็นต้น

2.5.2 ประเภทของระบบนำส่งยาสู่เป้าหมาย ซึ่งระบบนำส่งยาสู่เป้าหมายสามารถแบ่งได้หลายประเภท คือ

2.5.2.1 การนำส่งไปยังเป้าหมายได้เอง (passive targeting)

เป็นการนำส่งโดยอาศัยกลไกตามธรรมชาติของร่างกาย โดยจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของระบบนำส่งยา เช่น สมบัติพื้นผิว ขนาด รูปร่าง ประจุของอนุภาค รวมถึงสมบัติทางกายวิภาคของร่างกายมนุษย์ด้วย

2.5.2.2 การนำส่งไปยังเป้าหมายแบบเฉพาะเจาะจง (active targeting)

เป็นการนำส่งยาโดยอาศัยพอลิเมอร์ควบคู่ไปกับส่วนที่มีความจำเพาะเจาะจง อย่างเช่น ลิแกนด์ เตรียมเป็นระบบนำส่งที่สามารถมุ่งไปสู่เซลล์เป้าหมายที่มีตัวรับ (receptor) เฉพาะกับลิแกนด์นั้นๆ

2.5.2.3 การนำส่งไปยังเป้าหมายทางกายภาพ (physical targeting)

การนำส่งยาประเภทนี้จะอาศัยระบบนำส่งที่ไวต่อสิ่งกระตุ้นที่จะปลดปล่อยเมื่อสัมผัสกับการเปลี่ยนแปลงต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ คลื่นแม่เหล็ก หรือกระแสไฟฟ้าจากภายนอก เป็นต้น

2.5.3 เทคโนโลยีควบคุมการปลดปล่อยยา

โดยทั่วไประบบนำส่งยาจะสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาดังนั้นจะต้องเตรียมโดยอาศัยหลักการหรือกลไกพื้นฐานต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้หลากหลายแบบแตกต่างกันไป ดังนี้

2.5.3.1 ระบบควบคุมโดยใช้การแพร่ (diffusion controlled systems)

(1) ระบบกักเก็บยา (reservoir systems) ในระบบนี้จะมีตัวยาในรูปแบบผงหรือสารละลาย บรรจุอยู่ในส่วนแกนกลาง ของส่วนกักเก็บตัวยา (reservoir drug) ที่เยื่อหุ้มทำมาจากพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดการปลดปล่อยยาออกมา โดยตัวยาจะแพร่ผ่านออกมาจากรูบนเยื่อหุ้มที่อาจเกิดจากการ เติมสารที่ทำให้เกิดรู (channeling agent) เข้าไป

(2) ระบบเมทริกซ์ (matrix systems) สำหรับระบบนี้การกระจายตัวของยาสม่ำเสมอในพอลิเมอร์ โดยที่สามารถแบ่งเมทริกซ์ตามวัสดุที่ใช้เตรียม ดังนี้

- เมทริกซ์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic matrices) เป็นการนำวัสดุที่ไม่ชอบน้ำมาใช้เป็นเมทริกซ์ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ เอทิลเซลลูโลส เป็นต้น โดยกลไกการปลดปล่อยยาของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับ การแพร่ของน้ำที่ผ่านเข้าไปในเมทริกซ์ จากนั้นตัวยาจะละลายและแพร่ผ่านโครงร่างแหหรือรูพรุนของพอลิเมอร์ออกมา

- เมทริกซ์ชอบน้ำ (hydrophilic matrices) เป็นการนำวัสดุที่ชอบน้ำมาใช้เป็นเมทริกซ์ ซึ่งมีสมบัติก่อเจลได้เรียกว่า สารไฮโดรเจล ซึ่งประกอบด้วยสายโซ่ของพอลิเมอร์เชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่ายโดยใช้การพองตัวของพอลิเมอร์ในการควบคุมการปล่อยยา

- เมทริกซ์ไขมัน (lipid matrices) เมทริกซ์ชนิดนี้ได้มาจากไขมันแข็ง (lipid wax) และสารที่มาจากลิพิดซึ่งไม่ละลายน้ำ เช่น กลีเซอรไรต์ กรดไขมัน และแว็กซ์ การปลดปล่อยของยาในระบบนี้จะเกิดจากการแพร่ผ่านรูพรุนและรวมถึงการกร่อนของเมทริกซ์ด้วย

2.5.3.2 ระบบควบคุมโดยใช้การละลาย (dissolution controlled systems)

(1) การละลายของเมมเบรน

(2) การละลายของเมทริกซ์

2.5.3.3 ระบบควบคุมโดยใช้วิธีเคมี (chemically controlled systems)

(1) การกร่อนตัวของพอลิเมอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การกร่อนตัวเป็นเนื้อเดียว คือการกร่อนเกิดพร้อมกันในทุกส่วนทั้งภายนอกและภายในโครงสร้าง และการกร่อนตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวที่การกร่อนจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิว

(2) ระบบ pendant chain คือการที่ตัวยาจับกับพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยพันธะโควาเลนต์ และเมื่อเกิดการสลายตัวของพันธะดังกล่าวก็จะเกิดการปลดปล่อยตัวยาออกมา

2.5.3.4 ระบบควบคุมโดยใช้ตัวทำละลายกระตุ้น (solvent activated controlled systems)

(1) ระบบควบคุมโดยการพองตัว เป็นการนำประโยชน์ของพอลิเมอร์บางชนิดที่พองตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำมาใช้ โดยอัตราเร็วที่พองตัวจะส่งผลต่อการปลดปล่อยยา

(2) ระบบควบคุมโดยใช้แรงดันออสโมซิส อาศัยหลักการซึมผ่านของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนกึ่งซึมผ่าน ที่ยอมให้น้ำผ่านเข้าไปได้แต่ไม่ยอมให้สารผ่าน โดยจะมีการเติมสารก่อกวนออสโมซิสพร้อมกับตัวยาลแล้วหุ้มด้วยเมมเบรนกึ่งซึมผ่านที่เจาะรูเอาไว้ เมื่อน้ำผ่านเข้าไปจะทำให้ยาเกิดการละลายและถูกดันออกมาทางช่องที่เจาะเอาไว้[31]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2014 GAO, L. และคณะ ทำการศึกษาผลของสารเชื่อมขวางชนิด genipin ที่มีต่อคุณสมบัติ adhesion และ viability ของโคโดซานไฮโดรเจล พบว่าสารเชื่อมขวางชนิด genipin มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโคโดซานไฮโดรเจลเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และมีผลต่อผิวหน้าของไฮโดรเจลให้มีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาคือความเป็นพิษของสารเชื่อมขวางต่อเนื้อเยื่อแสดงให้เห็นว่าสารเชื่อมขวางไม่เป็นพิษ และยังช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อ นอกจากนี้ผลการศึกษาคือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบนไฮโดรเจลยังพบว่าความแข็งแรงของไฮโดรเจลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติ adhesion และ viability ที่เพิ่มขึ้น[32]

ในปี 2016 ISLAM, A. และคณะ ศึกษาการเตรียมและการตรวจสอบคุณสมบัติความเข้ากันได้ของไฮโดรเจลที่ใช้สำหรับเป็นโครงเลี้ยงเซลล์ โดยไฮโดรเจลจะเตรียมได้จากเทคนิคดีสโซลูชัน คาสติง (dissolution casting) โดยใช้สารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) ชนิดเตตระเอทอซิลิเกต (tetraethoxyorthosilicate) เพื่อให้เกิดเป็นไฮโดรเจล ผลการศึกษาคือด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) ยืนยันถึงความเข้ากันได้ของโคโดซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ผลการทดสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction) ยังแสดงให้เห็นว่าผลึกภายในโครงสร้างมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น และอัตราการบวมน้ำ (swelling ratio) ของไฮโดรเจลจะลดลงเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น และการตรวจสอบความเป็นพิษของไฮโดรเจลพบว่าไม่เป็นพิษต่อเซลล์และการนำไปใช้งานในร่างกาย[33]

ในปี 2013 TASSELLI, F. และคณะ ศึกษาสมบัติเชิงกล อัตราการบวมน้ำ และสมบัติการดูดซับของเส้นใยโคโดซานแบบกลวงที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) โดยเส้น

ใยโคโตซานถูกเตรียมด้วยเทคนิคทราย-เวท สปินนิ่ง (Dry-wet spinning) จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องพบว่าปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารเชื่อมขวางจะส่งผลต่ออัตราการบวม น้ำและสมบัติการดูดซับที่ลดลงและนอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณสมบัติที่เชิงกลลดลง[34]

ในปี 2009 COSTA-JÚNIOR, ES. และคณะ ศึกษาการเตรียมและความเข้ากันได้ของฟิล์มโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีการใช้สารเชื่อมขวาง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อสัดส่วนของโคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารเชื่อมขวางมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆของฟิล์มคือ เมื่อโคโตซานและกลูทาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวางมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการบวมน้ำของฟิล์มลดลง นอกจากนี้ผลการศึกษาความเข้ากันได้ของฟิล์มโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังพบว่าสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดีและไม่ก่อให้เกิดพิษ ดังนั้นฟิล์มโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการแพทย์ เช่น ระบบนำส่งยา วิศวกรรมเนื้อเยื่อผิวหนัง หรือแม้กระทั่งเป็นวัสดุชีวภาพ[35]

ในปี 2016 AGARWAL, T. และคณะ ศึกษาผลของสารเชื่อมขวางที่มีต่อคุณสมบัติของโคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลในด้านโครงสร้างและสมบัติเชิงกล โยสารเชื่อมขวางที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือเจนิพิน (genipin) และกลูทาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) พบว่าไฮโดรเจลที่มีการใช้สารเชื่อมขวางจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจลที่ไม่ใช้สารเชื่อมขวาง นอกจากนี้สารเชื่อมขวางจะไปทำให้อัตราการบวม น้ำ (swelling ratio) ของไฮโดรเจลลดลง และลดเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกภายในโครงสร้างของไฮโดรเจลแต่ละจะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มสูงขึ้น และสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลเพิ่มสูงขึ้น[36]

ในปี 2016 FAN, L. และคณะ ศึกษาการเตรียมและตรวจสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของไฮโดรเจล (hydrogel) ที่ประกอบด้วยโคโตซาน เจลาติน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้สำหรับงานด้านแผ่นปิดแผล (wound dressing) ไฮโดรเจลดังกล่าวถูกเตรียมด้วยวิธีการฉายรังสี (radiation method) เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวางขึ้นภายในจนเกิดเป็นไฮโดรเจล โดยเมื่อสัดส่วนของโคโตซานเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการทดสอบแรงดึงลดลงและอัตราการบวมน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสามารถดูดซับของเหลวหรือเลือดได้ในปริมาณมากเมื่อนำไปใช้งานเกี่ยวกับด้านแผ่นปิดแผล และอัตราการบวมน้ำยังมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชที่เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย[37]

ในปี 2016 GARNICA-PALAFIX, I. และคณะ ศึกษาการเตรียมและการตรวจสอบสมบัติต่างๆของโครงข่ายเซลล์ที่ประกอบด้วยเจลาตินและคาร์บอกซีเมทิลโคโตซาน

(carboxymethyl chitosan) เพื่อนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ซึ่งโครงเลี้ยงเซลล์ดังกล่าวถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธี ฟรีซ-ดรายอิง (Freeze-drying method) การศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ (Physio-Chemico-Biological properties) พบว่าโครงสร้างภายในมีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งสามารถกักเก็บน้ำไว้ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีอัตราการสลายตัวช้าเนื่องจากสัดส่วนของเจลาตินที่เพิ่มขึ้น โครงเลี้ยงเซลล์ให้ผลตอบสนองและสนับสนุนการยึดเกาะของเซลล์ (cell adhesion) การเจริญเติบโตของเซลล์ที่ดี และโครงเลี้ยงเซลล์ยังมีความสามารถในการปลดปล่อยยาได้ จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการแพทย์โดยพัฒนาเกี่ยวกับระบบนำส่งยาหรือแผ่นปิดแผล[38]

ในปี 2009 COSTA-JÚNIOR, ES. และคณะ ศึกษาการเตรียมและตรวจสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางเพื่อพัฒนาไปสู่การใช้งานเป็นวัสดุชีวภาพ พบว่าไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีอย่างง่ายด้วยการใช้สารเชื่อมขวางเพื่อให้เกิดเป็นไฮโดรเจล จากนั้นทดสอบอัตราการบวมน้ำพบว่าเมื่อสัดส่วนไคโตซานและสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นจะทำให้มีอัตราการบวมน้ำลดลง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานแรงดึงลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจลดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์เมื่อนำไปใช้งาน จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพเพื่อใช้งานทางการแพทย์[39]

ในปี 2017 YU, S. และคณะ ศึกษาผลของค่าพีเอช (pH sensitivity) และอุณหภูมิที่มีต่อไฮโดรเจลที่ประกอบจากคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน(carboxymethylchitosan) และโพลอกซาเมอร์ (poloxamer) โดยมีสารเชื่อมขวางคือกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) สำหรับระบบนำส่งยา (drug delivery systems) จากผลการศึกษาพบว่าค่าพีเอชที่ 7.4 และอุณหภูมิประมาณ 32 - 33 องศาเซลเซียสจะทำให้ไฮโดรเจลมีอัตราการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากโครงสร้างภายในมีรูพรุนขนาดใหญ่ พร้อมทั้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น และผลการศึกษาการปลดปล่อยยา (controlled release) ของไฮโดรเจลที่มีค่าพีเอชที่ 7.4 และอุณหภูมิประมาณ 32 - 33 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น และไฮโดรเจลดังกล่าวยังไม่ก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์[40]

ในปี 2013 ARTECHE, P. และคณะ ศึกษาความสามารถในการสลายตัวทางธรรมชาติ (biodegradable) ของเจลไคโตซานระดับนาโนที่เชื่อมขวางด้วยเจนิพิน (genipin) พบว่าเจลไคโตซานถูกเตรียมด้วยกระบวนการรีเวิร์ส ไมโครอิมัลชัน (reverse microemulsion) เพื่อให้ได้อนุภาคที่อยู่ในระดับนาโนเมตรจากการศึกษาพบว่าเจลไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยเจนิพินสามารถละลายน้ำได้ที่พีเอชเป็นกลางได้มากกว่าไคโตซานที่ไม่ได้เชื่อมขวาง นอกจากนี้เจลไคโตซานยังสามารถเข้ากันได้ดีกับสารเชื่อมขวางและสามารถสลายตัวได้ในธรรมชาติ จึงเหมาะสมแก่การนำไปพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพ[41]

ในปี 2016 SHARMA, C. และคณะ ศึกษาการเตรียมโครงเลี้ยงเซลล์ที่ประกอบด้วยไคโตซาน/เจลาติน/แอลจิเนต/ไฮดรอกซีอะพาไทต์ขนาดนาโนเพื่อใช้สำหรับงานวิศวกรรมกระดูก และทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นพบว่าโครงเลี้ยงเซลล์ดังกล่าวมีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีความคล้ายคลึงกับกระดูกจริง การศึกษาสัณฐานด้วยเทคนิค Environmental scanning electron microscopy (ESEM) พบว่าบนพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบมีรูพรุนเกิดขึ้นและมีความขรุขระเนื่องจากอนุภาคของในระดับนาโนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ใส่ลงไป การศึกษาการบวมน้ำและการสลายตัวทางธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบพบว่าวัสดุเชิงประกอบมีคุณสมบัติชอบน้ำจึงสามารถบวมน้ำได้มาก และสามารถสลายตัวได้ในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังศึกษาความเข้ากันได้ของวัสดุเชิงประกอบและเซลล์ โดยอาศัยการเพาะเลี้ยงเซลล์กระดูกลงบนโครงเลี้ยงเซลล์เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงและการเจริญเติบโตของเซลล์ พบว่าเซลล์กระดูกมีการเจริญเติบโตที่ดีจนกระทั่งพัฒนาไปสู่เนื้อเยื่อกระดูก ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จากไคโตซาน/เจลาติน/แอลจิเนต/ไฮดรอกซีอะพาไทต์ขนาดนาโน มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นโครงเลี้ยงเซลล์สำหรับกระดูก[42]

ในปี 2015 JAIKUMAR, D. และคณะ ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ประกอบด้วยแอลจิเนต/Ortho-คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (O-carboxymethyl chitosan)/ไฟบริล (O-CMC) และ แอลจิเนต/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ไฟบริล ด้วยเทคนิคไอออนิกครอสลิงกิง (ionic cross-linking method) โดยศึกษาความสามารถในการทำหน้าที่เป็นโครงเลี้ยงเซลล์และมีความสามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติของทั้งสองกลุ่ม พบว่าวัสดุเชิงประกอบกลุ่มที่ประกอบด้วยแอลจิเนต/ Ortho-คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (O-carboxymethyl chitosan)/ไฟบริล มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นโครงเลี้ยงเซลล์มากกว่าวัสดุเชิงประกอบกลุ่มที่ประกอบด้วยแอลจิเนต/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ไฟบริล เนื่องจากกลุ่มที่เหมาะสมมีค่าการบวมน้ำที่ดีกว่า มีคุณสมบัติเชิงกลด้านการรับแรงกดที่ดีกว่า และสามารถย่อยสลายได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังศึกษาผลของไฟบริลที่มีต่อเซลล์ด้วยเทคนิค Oil Red O staining พบว่าไฟบริลมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของเซลล์ที่เพาะเลี้ยงบนโครงเลี้ยงเซลล์[43]

ในปี 2016 LIU, M. และคณะ ศึกษาผลของผลึกไคตินในระดับนาโน (Chitin nanocrystals ,CNCs) ที่มีต่อวัสดุเชิงประกอบไคโตซานเพื่อทำหน้าที่เป็นโครงเลี้ยงเซลล์ พบว่าการเติม CNCs มีผลทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไปโดยสามารถรับแรงกดได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานบริสุทธิ์ โครงสร้างภายในของวัสดุเชิงประกอบมีความเป็นรูพรุนมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยขนาดความกว้างของรูพรุนอยู่ที่ช่วง 100-200 ไมโครเมตร ผลการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้เซลล์ชนิด MC3T3-E1 ซึ่งเป็นเซลล์กระดูกพบว่าสามารถเข้ากันได้ดีกับเซลล์ เซลล์มีการเจริญเติบโตและยึดเกาะกับโครงเลี้ยงเซลล์ได้ดีและไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ ดังนั้นวัสดุเชิง

ประกอบไคโตซาน/พลิกไคตินในระดับนาโน มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก[44]

ในปี 2015 LIU, M. และคณะ ศึกษาผลการเติม halloysite nanotube ลงในวัสดุเชิงประกอบแอลจิเนตซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงเลี้ยงเซลล์ พบว่าการเติม halloysite nanotube ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอลจิเนตบริสุทธิ์ การศึกษาความเป็นรูพรุนของโครงสร้างภายในพบว่ามีความเป็นรูพรุนสูงถึง 96 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) พบว่าอนุภาคของ halloysite nanotube มีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบอยู่ภายในโครงสร้าง การศึกษาผลทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) พบว่าการเติม halloysite nanotube ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าการทนความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอลจิเนตบริสุทธิ์ และการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุเชิงประกอบและเซลล์พบว่าวัสดุเชิงประกอบสามารถเข้ากันได้กับเซลล์เพาะเลี้ยงและเซลล์มีการยึดเกาะที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแอลจิเนตบริสุทธิ์ ทำให้วัสดุเชิงประกอบแอลจิเนตและ halloysite nanotube สามารถนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อได้[45]

ในปี 2017 HUANG, B. และคณะ ศึกษาผลของ halloysite nanotubes ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความเข้ากันได้กับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลแอลจิเนต โดยวัสดุเชิงประกอบแอลจิเนต/ halloysite nanotubes ถูกเตรียมด้วยวิธีการทางเคมีอย่างง่ายและมีการใช้แคลเซียมไอออนเป็นสารเชื่อมขวาง เมื่อทำการศึกษาคูณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่างๆพบว่าเมื่อเติม halloysite nanotubes ลงไปในวัสดุเชิงประกอบมีผลทำให้สามารถรับแรงกดได้เพิ่มขึ้นกว่าแอลจิเนตบริสุทธิ์ การศึกษาผลทางความร้อนและอัตราการบวมของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติม halloysite nanotubes พบว่าสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้นและมีอัตราการบวมที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแอลจิเนตบริสุทธิ์ และการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุเชิงประกอบและเซลล์ชนิด MC3T3-E1ทำให้ทราบว่า การเติม halloysite nanotubes ช่วยให้เซลล์มีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น มีการยึดกับโครงเลี้ยงเซลล์ได้ดี และมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่การเป็นเนื้อเยื่อที่สมบูรณ์ได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอลจิเนตบริสุทธิ์[46]

ในปี 2016 KUMAR, A. และคณะ ศึกษาผลของสารเชื่อมขวางที่มีต่อโครงสร้างภายในของวัสดุเชิงประกอบ คุณสมบัติเชิงกลและความเข้ากันได้ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างเซลล์ลูโลสนาโนคริสตัล/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ไฮเดียมแอลจิเนต โดยวัสดุเชิงประกอบถูกเตรียมด้วยวิธี freeze casting และ freeze drying พบว่าการใช้สารเชื่อมขวางบอแรกซ์ (borax) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของรูพรุนภายในโครงสร้างซึ่งมีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ในปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มมากขึ้น มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

และการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุเชิงประกอบและเซลล์ชนิด NIH3T3 ยืนยันว่าการเติมเซลลูโลสนาโนคริสตัลทำให้เซลล์มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นจึงแสดงว่าวัสดุเชิงประกอบไม่ก่อให้เกิดพิษต่อร่างกาย[47]

ในปี 2017 WANG, Q. และคณะ ศึกษาการเตรียมและตรวจสอบโคโคซาน/ไคตินนาโนวิสเกอร์/ β -glycerophosphate disodium salt ไฮโดรเจลเพื่อนำไปใช้งานเป็นโครงเลี้ยงเซลล์ในรูปแบบการฉีด โดยไฮโดรเจลจะถูกเตรียมด้วยวิธีการทางเคมีอย่างง่ายและนำไปตรวจสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง พบว่าการเติมไคตินนาโนวิสเกอร์ลงไปช่วยทำให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น เวลาการเกิดเจลเมื่อถูกฉีดเข้าร่างกายของโคโคซาน/ไคตินนาโนวิสเกอร์/ β -glycerophosphate disodium salt ไฮโดรเจลมีความรวดเร็วมากกว่าไฮโดรเจลชนิดโคโคซาน/ β -glycerophosphate disodium นอกจากนี้การตรวจสอบความเข้ากันได้ของไฮโดรเจลชนิดโคโคซาน/ไคตินนาโนวิสเกอร์/ β -glycerophosphate disodium salt และเซลล์ด้วยเทคนิค MTT assay ยืนยันว่าไฮโดรเจลดังกล่าวมีความเข้ากันได้กับเซลล์และไม่ก่อให้เกิดพิษ[48]

ในปี 2015 Nourbakhsh, H. และคณะ ศึกษาการเตรียมอนุภาคของโปรตีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บ (encapsulation) กรดแกลลิกเพื่อนำไปใช้งานในระบบนำส่งยา โดยอาศัยวิธี charge-crosslinking-desolvation ซึ่งสารเชื่อมขวางที่ใช้ในงานนี้คือกรดซิตริก วิธีการเตรียมอนุภาคของโปรตีนดังกล่าวนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บกรดแกลลิกได้ดีขึ้นซึ่งยืนยันจากผลทางศักย์ไฟฟ้า พบว่าค่า isoelectric ของอนุภาคโปรตีนที่เตรียมได้มีค่าสูงถึง 4.3 ขณะที่ผลการศึกษาทางสัณฐานวิทยาได้ยืนยันถึงการก่อตัวเป็นอนุภาคจริง นอกจากนี้ผลการศึกษาการปลดปล่อยกรดแกลลิกจากอนุภาคโปรตีนนั้นพบว่า มีการปลดปล่อยแบบอาศัยหลักการแพร่ไม่ใช่การปลดปล่อยที่เกิดจากการแตกตัวของอนุภาคโปรตีน[49]

ในปี 2017 Limpisophon, K. และคณะ ศึกษาการเติมกรดแกลลิกลงในฟิล์มปิดอาหารที่ได้จากเจลาตินของปลาและมีการเติมกลีเซอรอลลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ผลการทดลองรายงานว่ากรดแกลลิกมีประสิทธิภาพในการต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยเมื่อปริมาณของกรดแกลลิกเพิ่มขึ้นก็ส่งผลต่อการต่อต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากรดแกลลิกนั้นสามารถลดการดูดซับรังสียูวีและสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลให้สูงขึ้นอีกด้วย สำหรับกลีเซอรอลที่เติมลงไปในนั้นไม่ได้มีผลต่อการต่อต้านอนุมูลอิสระและการปลดปล่อยของกรดแกลลิกจากแผ่นฟิล์มเจลาติน[50]

ในปี 2017 Seo, Y. G. และคณะ ศึกษาการกราฟท์กรดแกลลิกลงในโคโคซานเพื่อเพิ่ม oxidative stability ในน้ำมัน ผลการทดสอบพบว่าโคโคซานโดยปกติแล้วนั้นไม่มีค่าการต่อต้าน

การ oxidative แต่เมื่อทำการกราฟกรดแกลลิกลงไปโครงสร้างของโคโตซานจะพบว่าที่อุณหภูมิ 60°C และ 140°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนั้นมีความการต่อต้าน oxidative เพิ่มขึ้น ซึ่งการทดสอบนี้จะทดสอบจากค่า conjugated dienoic acid (CDA) และ p-anisidine (p-AV)[51]

ในปี 2015 Moises, Z. และคณะ ศึกษาปริมาณรวมของฟีนอลิกในแอปเปิ้ล 5 พันธุ์ โดยการศึกษา antioxidant activity ทั้งหมด 3 วิธี คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) และ Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อทดสอบ antioxidant activity ด้วยวิธี DPPH นั้นแอปเปิ้ลพันธุ์ Goldrush มีค่า radical scavenging มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 4 สายพันธุ์ ขณะที่วิธี ABTS และ FRAP รายงานว่า แอปเปิ้ลสายพันธุ์ Goldrush และ Crimson Crisp มีค่า radical scavenging สูงใกล้เคียงกัน[52]

ในปี 2017 Yao, Y. และคณะ ศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเชื้อ *Eurotium cristatum* โดยจากผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้หมักเชื้อจะทำให้เชื้อนั้นมีความการต่อต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงการมีปริมาณของกรดแกลลิกเพิ่มขึ้นเนื่องจากกรดแกลลิกจัดเป็นสารอันดับต้นๆที่มีความการต่อต้านอนุมูลอิสระโดยธรรมชาติซึ่งถือเป็นสารมาตรฐานสำหรับใช้ทดสอบฟีนอลิกในธรรมชาติ สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักคือ 37 °C ซึ่งมีความการต่อต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นสูงถึง 2.38%[53]

ในปี 2011 Shu-Huei, Y. และคณะ ทำการเตรียมอนุพันธ์ของโคโตซานในระดับนาโนและกราฟท์ด้วยกรดแกลลิก โดยอนุพันธ์ของโคโตซานคือ N,O-carboxymethylchitosan (NOCC) เมื่อกราฟท์ด้วยแกลลิกจะได้เป็น NOCC-GA conjugated สำหรับ NOCC-GA conjugated จะทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR และ NMR สำหรับการทดสอบ anti-oxidant activity ของ NOCC-GA conjugated ถูกทดสอบด้วยเทคนิค DPPH และ ABTS radical scavenging activity และขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยถูกทดสอบด้วยวิธี light scattering[54]

ในปี 2011 Prasit, S. และคณะ ทำการศึกษากปริมาณฟีนอลิกรวมและความการต่อต้านอนุมูลอิสระของกลุ่มข้าวมีสีในประเทศไทย โดยข้าวพันธุ์ต่างๆที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ข้าวลิ้มผิว, ข้าวกำตอย, ข้าวหอมนิล การทดสอบ anti-oxidant activity จะใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) และ Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ในขณะที่การทดสอบ Phytophenolic chromatograms จะใช้เทคนิค HPLC จากผลการทดสอบ anti-oxidant activity ของข้าวทั้ง 4

พันธุ์ พบว่าข้าวชนิดลิ้มผิวมีปริมาณ anti-oxidant activity สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอีก 3 ชนิด รวมทั้งยังมีปริมาณฟีนอลิกรวมที่สูงสุดอีกเช่นเดียวกัน[55]

ในปี 2103 Shu-Long, Y. และคณะ ศึกษาผลของสารสกัดที่ได้จากข้าวเหนียวดำที่มีผลต่อการยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอล ผลการทดสอบรายงานว่า anthocyanin ที่มีอยู่ในสารสกัดข้าวเหนียวดำมีฤทธิ์ยับยั้งหรือช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลได้จริง ผลการศึกษา inhibition activity พบว่าคอเลสเตอรอลให้ผลทางบวกกับ anthocyanin (Cy-3-G) และ peonidin-3-glucoside (Pn-3-G) สำหรับค่า IC_{50} ของ Cy-3-G และ Pn-3-G มีค่า 42.53 ± 4.45 และ $18.13 \pm 4.22 \mu\text{g mL}^{-1}$ [56]

ในปี 2006 Pei-Ni, C. และคณะ ศึกษาผลของสารสกัดข้าวเหนียวดำที่มีผลต่อการยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง เนื่องจากในสารสกัดข้าวเหนียวดำนั้นมี anthocyanin เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านหรือยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ผลการทดลองรายงานว่า peonidin-3-glucoside และ anthocyanin สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้จริง โดยศึกษาจากเซลล์ชนิดต่าง คือ SHHep-1, MMP-9, AP-1, Huh-7 และ HeLa เป็นต้น[57]

ในปี 2011 Yodmanee, S. และคณะ นำเมล็ดข้าวพันธุ์ที่มีสีต่างๆมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ทดสอบ antioxidant capacity และปริมาณฟีนอลิกรวม ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าข้าวพันธุ์ต่างๆมีค่าความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เส้นใยและปริมาณเถ้าอยู่ที่ 5.96-8.19, 6.63-8.46, 1.44-3.47, 0.16-0.35 และ 1.35-2.15 g/100g (db) ตามลำดับ สำหรับธาตุเหล็กและปริมาณฟีนอลิกรวมของข้าวเหนียวดำจะอยู่ที่ 0.91-1.66 mg/100g และ 58-329 mg GAE/100g ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มข้าวที่มีสีม่วงดำนั้นมีปริมาณธาตุเหล็กและฟีนอลิกรวมสูงกว่ากลุ่มข้าวที่มีสีแดง[58]

ในปี 2006 Isao, K. และคณะ ศึกษาผลของ radical scavenging ของสารสกัดที่ได้จากรำข้าวเหนียวดำ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบ ROS-scavenging activity ของสารสกัดรำข้าวเหนียวดำและศึกษาตัวดักจับอนุมูลอิสระ เช่น Cyanidin-3-glucoside (Cy-3-glu) และ Cyanidin โดยใช้เทคนิค ERS-spin trap ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสารประกอบ anthocyanin ให้ผลการทดสอบ ROS-scavenging activity ที่สูง และตัวดักจับอนุมูลอิสระทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวสามารถพบได้ในรำข้าวเหนียวดำ[59]

ในปี 2016 Yu-Ping, H. และคณะ นำกลุ่มข้าวมีสีชนิดต่างๆมาศึกษาปริมาณสาระสำคัญ โดยศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวม, ฟลาโวนอยด์, free and bound fraction, anthocyanin, proanthocyanidin, vitamin E และ gamma-oryzanol สำหรับ proanthocyanidin จะสามารถตรวจพบได้ในกลุ่มข้าวสีแดงเท่านั้นซึ่งในกลุ่มข้าวสีดำจะไม่พบ

นอกจากนี้ free and bound fraction และปริมาณฟีนอลิกรวมยังสามารถตรวจพบได้ในกลุ่มข้าวมีสี
ทั้งหมด[60]



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 Chitosan	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.2 Polyvinyl alcohol	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.3 Tetraethyl orthosilicate	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.4 Acetic acid	(Labscan Asia, Thailand)
3.1.1.5 Hydrochloric acid	(RCL Labscan, Thailand)
3.1.1.6 Ethanol	(RCL Labscan, Thailand)
3.1.1.7 Methanol	(RCL Labscan, Thailand)
3.1.1.8 Phosphate Buffer Saline	(VWR, USA)
3.1.1.9 Potassium persulfate	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.10 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.11 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.12 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.13 Iron(III)chloride	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.14 Sodium carbonate	(Riedel-deHaën, Germany)
3.1.1.15 Folin-Ciocalteu reagent	(Sigma-Aldrich, USA)
3.1.1.16 Gallic acid	(Tokyo Chemical- Industrial, Japan)
3.1.1.17 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก, ประเทศไทย	

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.2.1 Fourier Transform Infrared	(Spectrum One, Germany)
3.1.2.2 Scanning Electron Microscope	(Quanta 400, USA)
3.1.2.3 Microplate reader	(Synergy H1, USA)
3.1.2.4 Rotary evaporator	(R-215, Switzerland)
3.1.2.5 Differential Scanning Calorimeter	(204 F1, Germany)
3.1.2.6 Thermogravimetric Analyzer	(209 F3, Germany)
3.1.2.7 Universal Testing Machine	(Instron-5966, USA)
3.1.2.8 Atomic Force Microscope	(Nanoscope IV, USA)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2.1.1 เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายเจือจางกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย

3.2.1.2 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

3.2.1.3 นำสารละลายไคโตซานและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 3.1 และกวนสารต่อจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.1.4 ทำการเชื่อมขวางสารละลายดังกล่าวในทุกอัตราส่วนด้วยตัวเชื่อมขวาง TEOS เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.2.1.5 นำสารละลายในทุกอัตราส่วนที่เตรียมได้มาขึ้นรูปโดยเทลงในจานเพาะเชื้อในปริมาตรเท่ากัน และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดแกลลิก

3.2.2.1 เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายเจือจางกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย

3.2.2.2 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

3.2.2.3 นำสารละลายไคโตซานและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 3.1 และกวนสารต่อจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.2.4 ทำการเชื่อมขวางสารละลายดังกล่าวในทุกอัตราส่วนด้วยตัวเชื่อมขวาง TEOS เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.2.2.5 เติมกรดแกลลิกเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงไปนในสารละลายไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในทุกอัตราส่วน และกวนสารจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.2.6 นำสารละลายในทุกอัตราส่วนที่เตรียมได้มาขึ้นรูปโดยเทลงในจานเพาะเชื้อในปริมาตรเท่ากัน และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.2.3 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว

3.2.3.1 เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายเจือจางกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย

3.2.3.2 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

3.2.3.3 นำสารละลายไคโตซานและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้มาผสมกันในอัตราส่วน 5:5 และกวนสารต่อจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.3.4 ทำการเชื่อมขวางสารละลายดังกล่าวในทุกอัตราส่วนด้วยตัวเชื่อมขวาง TEOS เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.2.3.5 เติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงไปนในสารละลายไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 5:5 ที่เตรียมไว้ และกวนสารจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.3.6 นำสารละลายที่เตรียมได้มาขึ้นรูปโดยเทลงในจานเพาะเชื้อในปริมาตรเท่ากัน และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.2.4 วิธีการสกัดสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว

3.2.4.1 นำเมล็ดข้าวเหนียวดำมาบดให้ละเอียดด้วยการปั่นด้วยเครื่องปั่น

3.2.4.2 นำข้าวที่ผ่านการบดแล้วมาแช่เอทานอลจนท่วม และแช่ทิ้งไว้ 24 ชม.

3.2.4.3 ทำการกรองสารละลายที่แช่ข้าวด้วยผ้าขาวบาง สาลี และกระดาษกรอง

3.2.4.4 นำสารละลายที่ผ่านการกรองมาทำการกลั่นระเหยด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนเพื่อนำตัวทำละลายเอทานอลออกจนเหลือแต่สารสกัดเข้มข้น (crude extract)

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Hydrogel	9:1C	8:2C	7:3C	6:4C	5:5C	CS	PVA
Chitosan (%v/v)	90	80	70	60	50	100	0
PVA (%v/v)	10	20	30	40	50	0	100

3.3 การทดสอบ

3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.3.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscope รุ่น Spectrum One ในรูปแบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) โดยสเปกตรัมที่ใช้บันทึกอยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000 – 400 ต่อเซนติเมตร ความละเอียดที่ 4 ต่อเซนติเมตร และจำนวนการสแกนเท่ากับ 32

3.3.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น Quanta 400 กำลังขยาย 4500 เท่า โดยตัวอย่างชิ้นงานถูกเคลือบทองเพื่อให้มีสภาพนำไฟฟ้าก่อนนำไปวิเคราะห์

3.3.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope; AFM)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม รุ่น Nanoscope IV โดยใช้โหมด contact ในการวิเคราะห์ความสูงต่ำของพื้นผิวตัวอย่างในระดับนาโนเมตร

3.3.1.4 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเพื่อหาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) รุ่น Instron-5966 ความเร็วในการดึงเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดของน้ำหนักรีดเท่ากับ 5 กิโลนิวตัน ในการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นต่อตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร และความยาว 5 เซนติเมตร

3.3.1.5 การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter; DSC)

การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงานของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความร้อนเชิงพลังงาน รุ่น DSC 6000 โดยใช้อุณหภูมิทดสอบในช่วง 30 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีในบรรยากาศไนโตรเจน

3.3.1.6 การศึกษาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer)

การศึกษาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer รุ่น 209 F3 Tarsus โดยใช้อุณหภูมิทดสอบในช่วง 30 องศาเซลเซียส ถึง 700 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีในบรรยากาศไนโตรเจน

3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์

3.3.2.1 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบ (Swelling ratio)

การบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบจัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการปลดปล่อยสารสำคัญจากวัสดุเชิงประกอบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ สำหรับการทดสอบนั้นจะนำตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมาแช่น้ำกลั่นนาน 48 ชั่วโมง และติดตามการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบในทุกๆ 1 ชม. จนครบ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะติดตามการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ และทำการศึกษาอัตราส่วนการบวมตัวของวัสดุสังเคราะห์ที่ 1 โดยจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate)

$$\text{Swelling ratio} = [(W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}})/W_{\text{dry}}] \times 100 \quad (1)$$

โดย W_{wet} คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังบวมตัว

W_{dry} คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนบวมตัว

3.3.2.2 การศึกษาการปลดปล่อยสารสำคัญจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล (Cumulative release)

ในการศึกษาการปลดปล่อยสารสำคัญจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลนั้น จะนำตัวอย่างไฮโดรเจลไปแช่ในสารละลาย PBS ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นาน 48 ชั่วโมง โดยจะมีการดูดสารละลายขึ้นมาครั้งละ 0.5 มิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อ 1 จุดเวลา เพื่อทำการวัดปริมาณสารสำคัญที่ปลดปล่อยออกมา ณ ที่เวลา 10 20 30 40 50 60 120 180 240 300 360 1440 และ 2880 นาที รวมทั้งสิ้น 13 จุดเวลา และทำการเติมสารละลาย PBS ในปริมาณเท่ากับที่ดูดออกมา ณ จุดเวลานั้นๆ เพื่อรักษาสมดุลของสารละลาย สารละลายที่ดูดออกมาจะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 และ 340 นาโนเมตร ด้วยเครื่องด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายในไมโครเพลท (microplate reader) ยี่ห้อ BioTek รุ่น synergy H1 แล้วเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) เพื่อหาปริมาณของสารสำคัญที่ถูกปลดปล่อยออกมา ณ เวลานั้นๆ

3.3.2.3 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล (Anti-oxidant activity)

สำหรับการศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลนั้นจะใช้วิธีการทดสอบทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

(1) DPPH assay เป็นการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญโดยจะนำตัวอย่างไฮโดรเจลมาแช่ด้วยเมทานอลนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำสารละลายที่แช่ไฮโดรเจลมาเติมสารทดสอบชนิด DPPH reagent ลงไปในอัตราส่วน 3:1 และบ่มในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นจะนำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และคำนวณค่า % Radical scavenging ดังสมการที่ 2

$$\% \text{ Radical scavenging} = [(\text{Abs}_{\text{blank}} - \text{Abs}_{\text{sample}}) / \text{Abs}_{\text{blank}}] \times 100 \quad (2)$$

โดย $\text{Abs}_{\text{blank}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

$\text{Abs}_{\text{sample}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

(2) ABTS assay เป็นการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญโดยจะนำตัวอย่างไฮโดรเจลมาแช่ด้วยเมทานอลนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำสารละลายที่แช่ไฮโดรเจลมาเติมสารทดสอบชนิด ABTS reagent อัตราส่วน 15 : 285 ไมโครลิตร และบ่มในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณค่า % Radical scavenging ดังสมการที่ 2

(3) FRAP assay เป็นการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญโดยจะนำตัวอย่างไฮโดรเจลมาแช่ด้วยเมทานอลนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำสารละลายที่แช่ไฮโดรเจลมาเติมสารทดสอบชนิด FRAP reagent อัตราส่วน 50 : 150 ไมโครลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox

3.3.2.4 การศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมที่เป็นองค์ประกอบของสารสำคัญในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

การทดสอบปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสำคัญนั้นจะนำตัวอย่างไฮโดรเจลมาแช่ด้วยเมทานอลนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำสารละลายที่แช่ไฮโดรเจลมาปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมสารทดสอบ Folin- Ciocalteu reagent เข้มข้น 2N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ลงไปปริมาตร 1 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 5

มิลลิลิตร บ่มในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานของแกลลิก



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

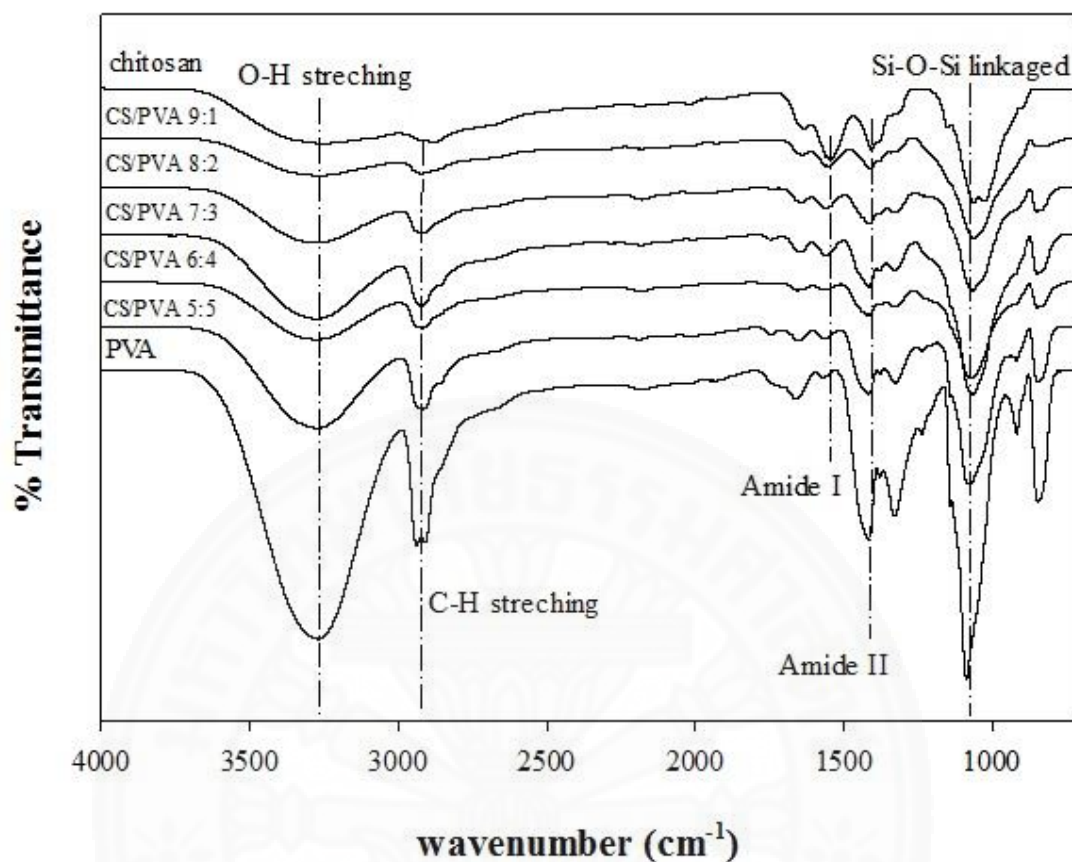
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้น พร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์โดยอาศัยสารสำคัญคือ กรดแกลลิก ซึ่งเป็นตัวแทนของหมู่ฟีนอลิกที่เป็นสารสำคัญที่ได้จากธรรมชาติ จากนั้นทำการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวในอัตราส่วนต่างๆ และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล การปลดปล่อยและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประยุกต์ใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์

4.1 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.1.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางประเภทไซเลน (silane) คือ TEOS แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยผลการศึกษาพบว่าพันธะ O-H stretching ปรากฏอยู่ในช่วงเลขคลื่น 3500-3000 ต่อเซนติเมตร สำหรับพันธะ C-H stretching จะปรากฏอยู่ที่ช่วงเลขคลื่น 2900 ต่อเซนติเมตร โดยพันธะทั้งสองชนิดนี้เป็นพันธะที่ปรากฏอยู่ในโครงสร้างของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปรากฏพิกของพันธะดังกล่าวสูงขึ้นตามไปด้วย สำหรับ N-H stretching ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่พบในโครงสร้างของไคซานนั้น ถูกบดบังด้วยพันธะ O-H stretching จึงมองไม่เห็นพิกดังกล่าว แต่ปรากฏหมู่ Amide I และ Amide II ที่เลขคลื่นประมาณ 1570 ต่อเซนติเมตร และ 1472 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏอยู่ในโครงสร้างของไคซาน สำหรับสารเชื่อมขวางประเภทไซเลนจะปรากฏพิกของ Si-O-Si linked ที่แสดงถึงโครงสร้างของสารเชื่อมขวาง TEOS ที่เลขคลื่นประมาณ 1087 ต่อเซนติเมตร



ภาพที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.1.1.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ สำหรับการศึกษา ลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบจะอาศัยเทคนิค Atomic force microscope (AFM) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาความเข้ากันของวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบที่ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบ 2 อย่างนั้นเมื่อนำมาศึกษาลักษณะของพื้นผิวจะพบว่าลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบมีความแตกต่างกันขององค์ประกอบทั้ง 2 ชนิดอย่างเห็นได้ชัด สำหรับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลในงานวิจัยนี้เมื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM พบว่าพื้นผิวที่สังเกตได้นั้นมีความขรุขระเพียงเล็กน้อยและมีความเป็นเนื้อเดียวกันขององค์ประกอบทั้งสองชนิดนั้นคือไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนั้นผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ดีจนเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุเชิงประกอบ ในขณะที่ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาโดย

อาศัยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษา ลักษณะเฉพาะของวัสดุ ขนาด รูปร่าง และอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุเชิงประกอบ จากผล การศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีความราบเรียบ สม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ความเข้ากันได้ดีจนเป็นเนื้อเดียวกันขององค์ประกอบทั้งสองชนิดภายในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล อีกทั้งผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ยังมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยเทคนิค AFM

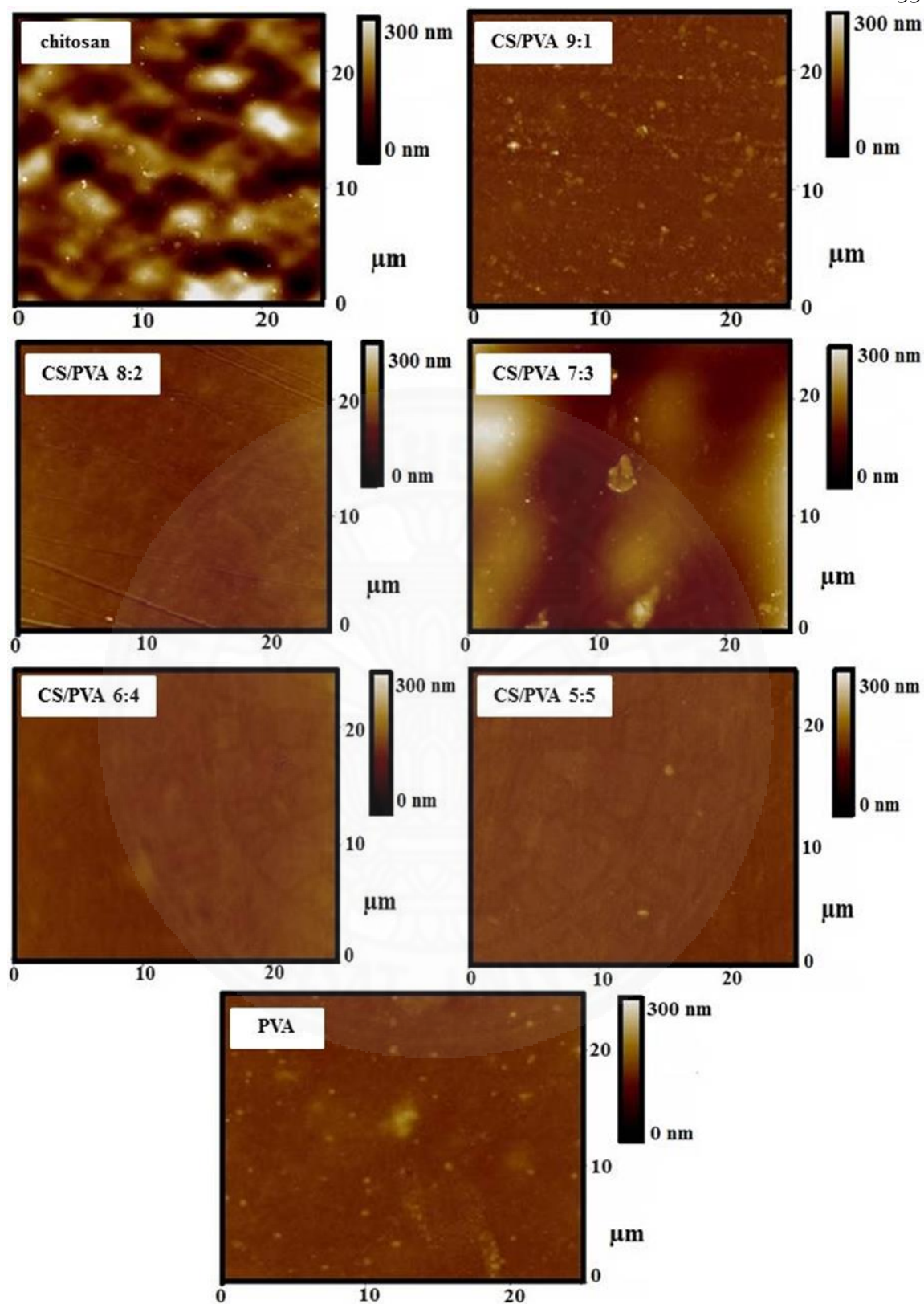
4.1.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยอาศัยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) แสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวอย่างได้รับความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้คือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของความจุความร้อน เป็นต้น ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition; T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature; T_m) ของวัสดุเชิงประกอบอยู่ในช่วง 80 – 220 องศาเซลเซียส ซึ่งวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลจะมีค่า T_g เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่า T_g ของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ซึ่งอาจเกิดจากการที่วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลถูกเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางประเภทไชนั้นจะทำให้โครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ขยับตัวได้ยากขึ้นจึงส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และค่า T_g จึงสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่า T_g ของไคซานจะอยู่ในช่วง 120 องศาเซลเซียส ขณะที่ค่า T_g และ T_m ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 80 องศาเซลเซียส และ 220 องศาเซลเซียส[61] สำหรับการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบโดยอาศัยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) แสดงในรูปที่ 4.5 สำหรับเทคนิคดังกล่าวนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุกับอุณหภูมิและเวลา โดยจะศึกษาน้ำหนักที่หายไปหรือเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิและความร้อนมีการเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องไปจนถึง 300 องศาเซลเซียส มีการระเหยหรือสูญเสียน้ำและสารที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุเชิงประกอบ โดยเมื่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุมีความเสถียรเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [62] เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 300-500 องศาเซลเซียสเกิดการสลายตัวของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูก

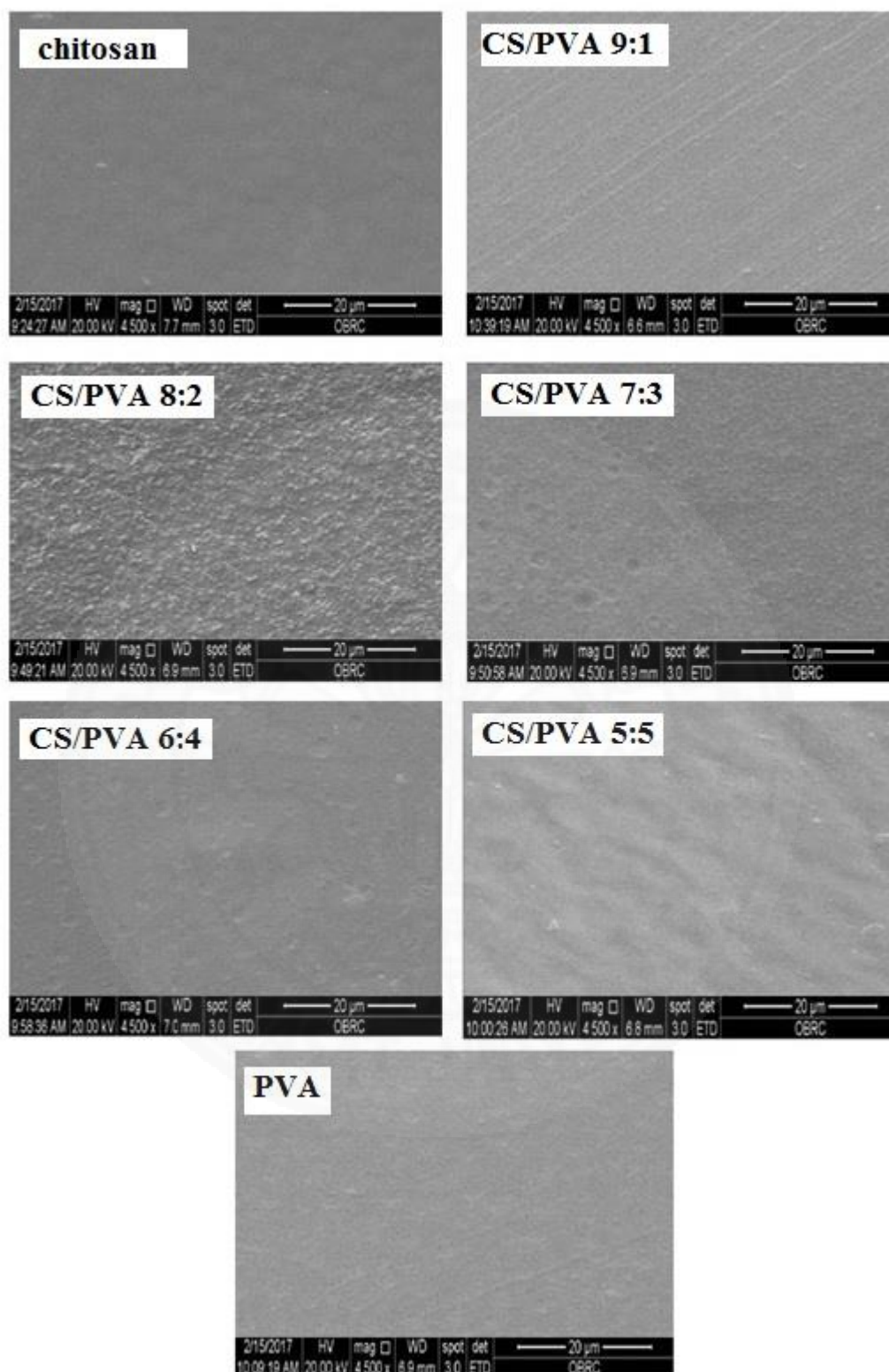
ทำลาย รวมไปถึงปฏิกิริยาระหว่างหมู่เอมีนในไคโตซานและหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ก็ถูกทำลายด้วยเช่นเดียวกัน[63]

4.1.1.4 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

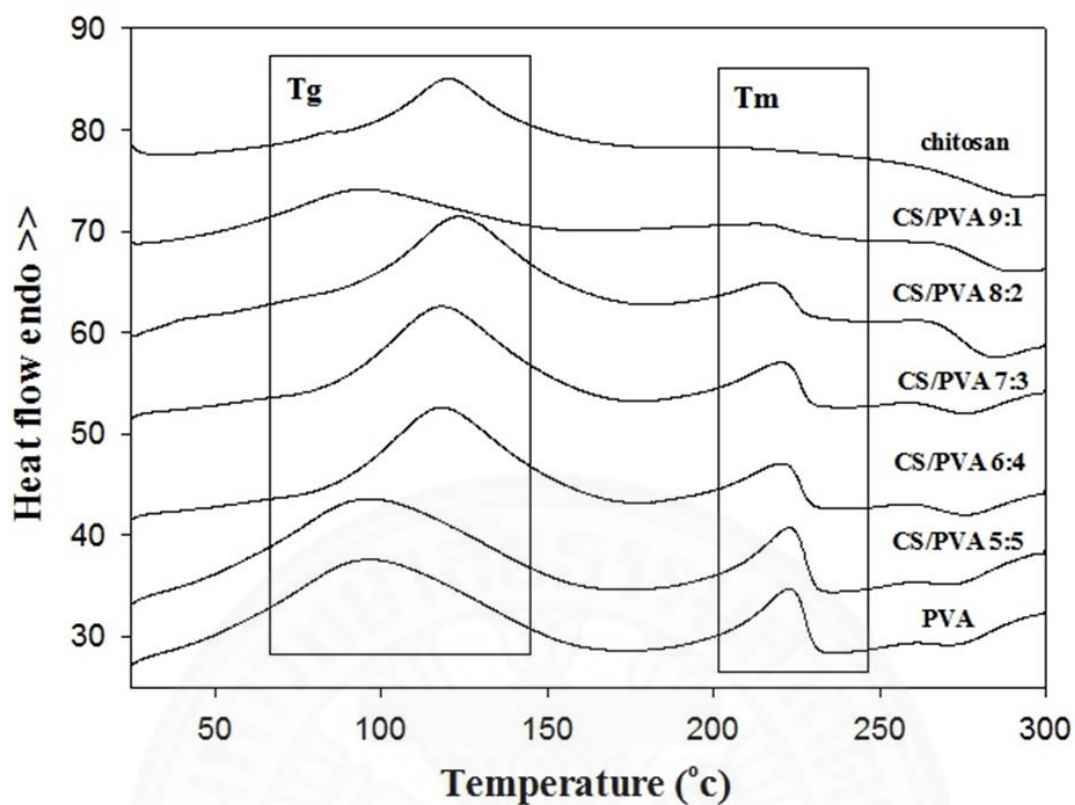
การบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุเชิงประกอบต่อการนำไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ ดังนั้นจึงทำการศึกษาอัตราการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยเมื่อวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลถูกนำมาแช่ในน้ำอะตอมไฮโดรเจนในสายโซ่พอลิเมอร์ของไฮโดรเจลจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นประจุบวกและสายโซ่พอลิเมอร์เกิดเป็นประจุลบ ซึ่งการเกิดเป็นประจุลบของสายโซ่พอลิเมอร์นี้จะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ในแต่ละสายจนสายโซ่แยกออกจากกันจากนั้นอะตอมไฮโดรเจนจะเข้าไปสร้างพันธะกับสายโซ่และเกิดการเหนี่ยวนำให้โมเลกุลน้ำเข้าสู่ไฮโดรเจล และเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนของไฮโดรเจลจึงทำให้เกิดการบวมตัวขึ้น ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าในช่วงแรกไปจนถึง 48 ชั่วโมงนั้นวัสดุอัตราการบวมตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สำหรับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะมีอัตราการบวมตัวที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานบริสุทธิ์ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการดูดซึมน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานนั้นมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า ดังนั้นเมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาผสมลงในไคโตซานจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการบวมตัวมีค่าต่ำลง อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อาจมีผลต่อโครงสร้างและพันธะภายในของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมลงไปนั้นจะไปเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เอมีนที่มีอยู่ในไคโตซานทำให้ความสามารถในการเกิดพันธะกับน้ำลดลง ดังนั้นจึงทำให้วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นนั้นมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานบริสุทธิ์และวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่อัตราส่วนต่างๆ



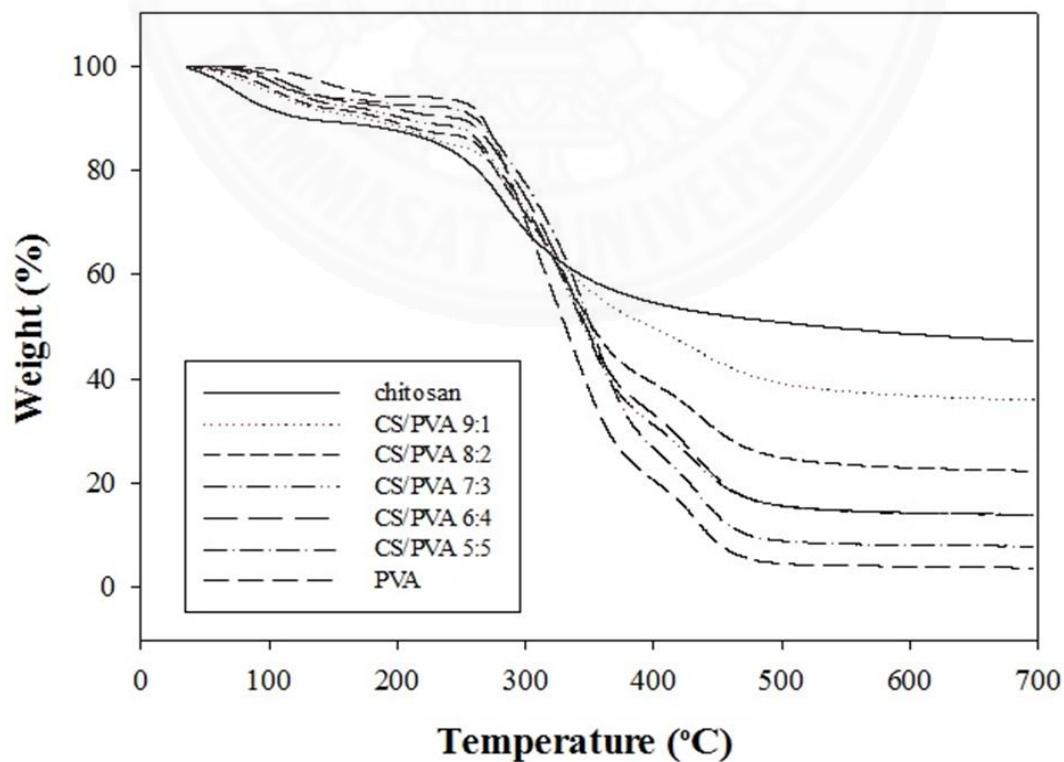
ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



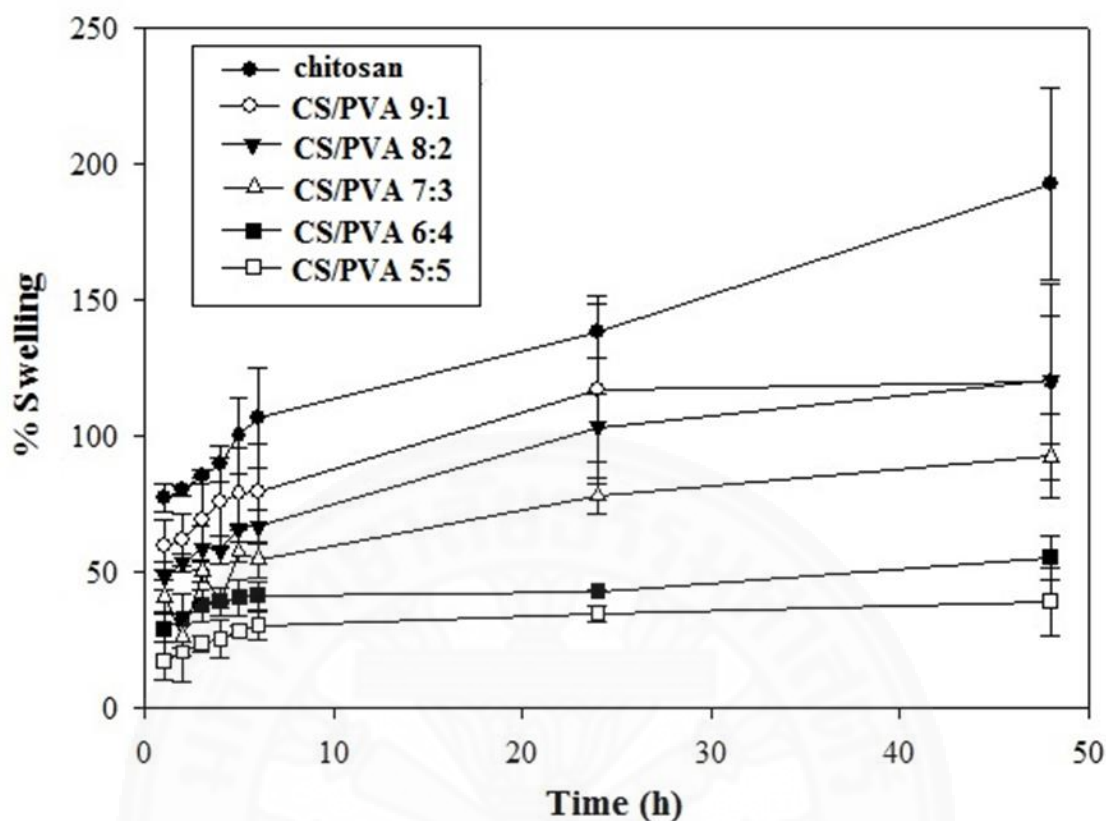
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



ภาพที่ 4.4 แสดงช่วงอุณหภูมิค่า Tg และ Tm ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



ภาพที่ 4.5 แสดงช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



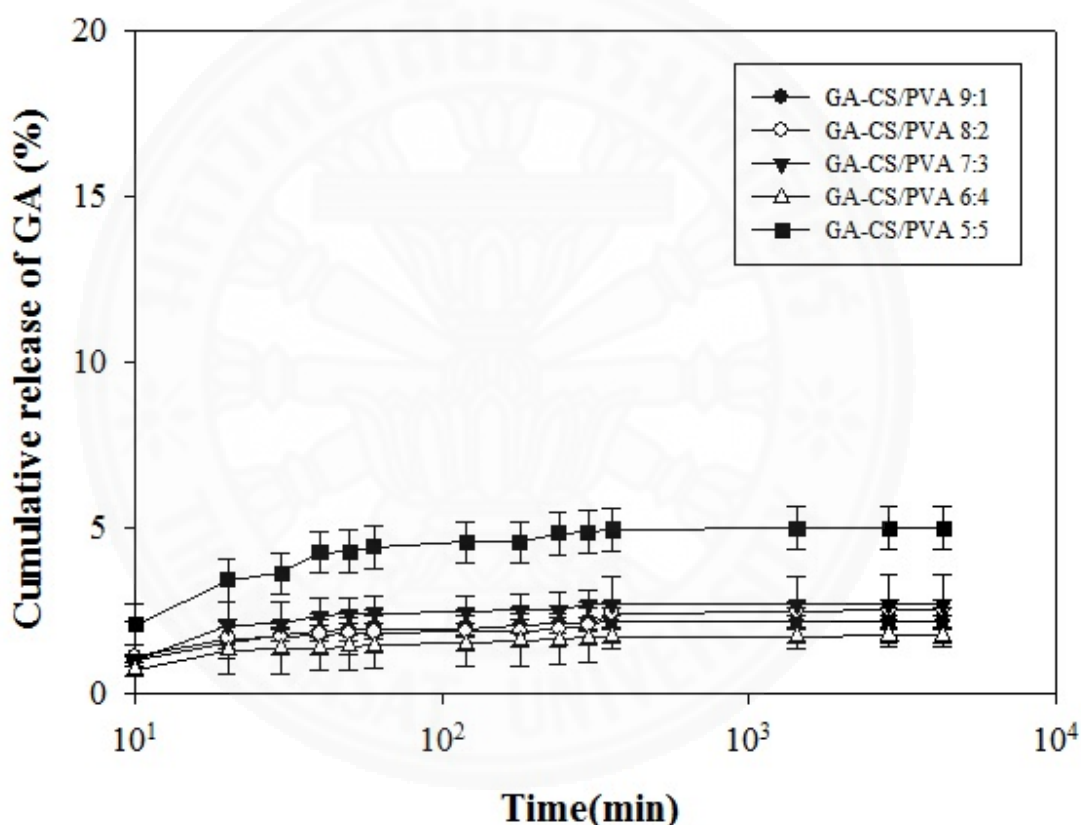
ภาพที่ 4.6 แสดงอัตราการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
ในเวลา 48 ชั่วโมง

4.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์

4.1.2.1 การศึกษาการปลดปล่อยกรดแกลลิกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

กรดแกลลิกถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนสารสำคัญที่ได้จากสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มพัวในการศึกษาการปลดปล่อยจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์[64] สำหรับคุณสมบัติการปลดปล่อยสารสำคัญนั้นเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำวัสดุไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์เป็นอย่างยิ่ง การศึกษาเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยกรดแกลลิกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลแสดงในรูปที่ 4.7 โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปลดปล่อยกรดแกลลิกในสารละลายตัวกลางประเภทบัฟเฟอร์คือสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซาลิน (phosphate buffer saline; PBS) ซึ่งเป็นสารละลายที่ทำหน้าที่ช่วยรักษาค่าความเป็นกรดและด่างของสารละลายภายในร่างกายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานหรือการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี นอกจากนี้ยังมีผลต่อการรักษาสมดุลของปริมาณน้ำภายในเซลล์ สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาการ

ปลดปล่อยกรดแกลลิกเปรียบเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการศึกษาพบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่อัตราส่วนต่างๆระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการปลดปล่อยกรดแกลลิกได้ใกล้เคียงกันเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปโดยพบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 นาทีแรกจนกระทั่ง 300 นาที กรดแกลลิกถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลอย่างรวดเร็วและมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยที่สูงขึ้นจนกระทั่งเวลา 360 นาที กรดแกลลิกเริ่มมีการปลดปล่อยในอัตราคงที่ไปจนกระทั่งถึงเวลา 2880 นาที ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการปลดปล่อยได้ดี จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเทคโนโลยีการแพทย์[65]



ภาพที่ 4.7 แสดงการปลดปล่อยกรดแกลลิกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.1.2.2 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

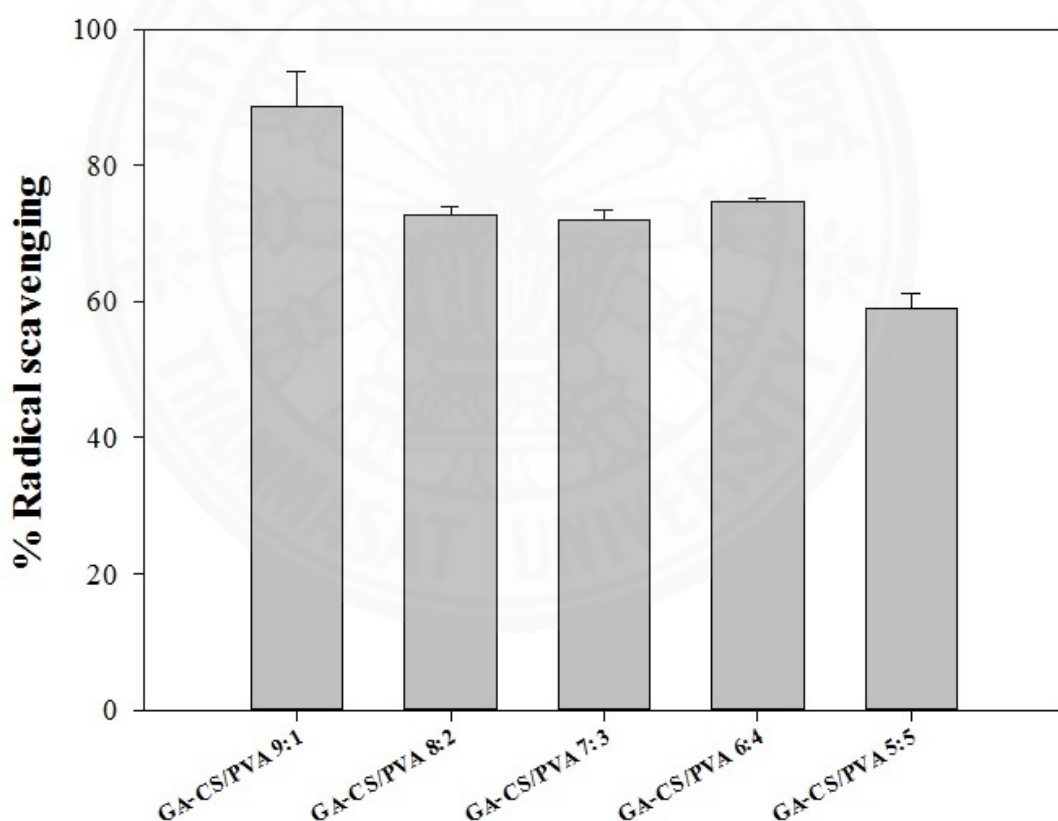
การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลแสดงในรูปที่ 4.8 โดยอนุมูลอิสระนี้เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวในอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ มากมาย เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคความจำเสื่อม โรคความดันโลหิตสูง

และอื่นๆ เป็นต้น ในการศึกษาค่าการต่อต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี DPPH assay ในการทดสอบ % radical scavenging จากผลการศึกษาพบว่ากรดแกลลิกที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีค่าการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูงในทุกๆอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบ คือ อัตราส่วน 9:1 มีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วน 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 มีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 70, 70, 74 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกลไกการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และกรดแกลลิกเกิดขึ้นจากการที่กรดแกลลิกให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนที่มีอยู่ในโครงสร้างแก่อนุมูลอิสระเพื่อให้เกิดความเสถียรขึ้น ซึ่งนอกจากกรดแกลลิกที่สามารถทำให้อนุมูลอิสระเสถียรแล้วนั้นไคโตซานก็สามารถที่จะยับยั้งอนุมูลอิสระได้เช่นกัน โดยหมู่เอมีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของไคโตซานนั้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรจึงลดความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อและโปรตีนต่างๆภายในร่างกายได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้นจะช่วยทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามไปด้วย[66,67]

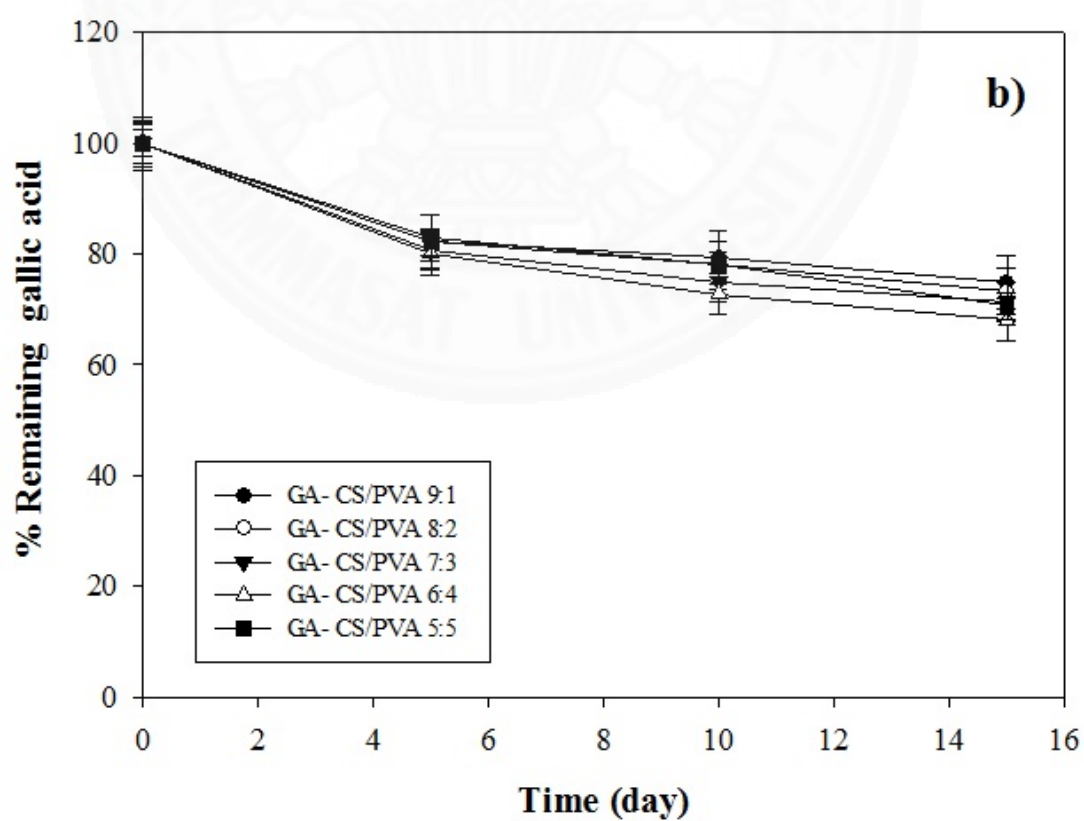
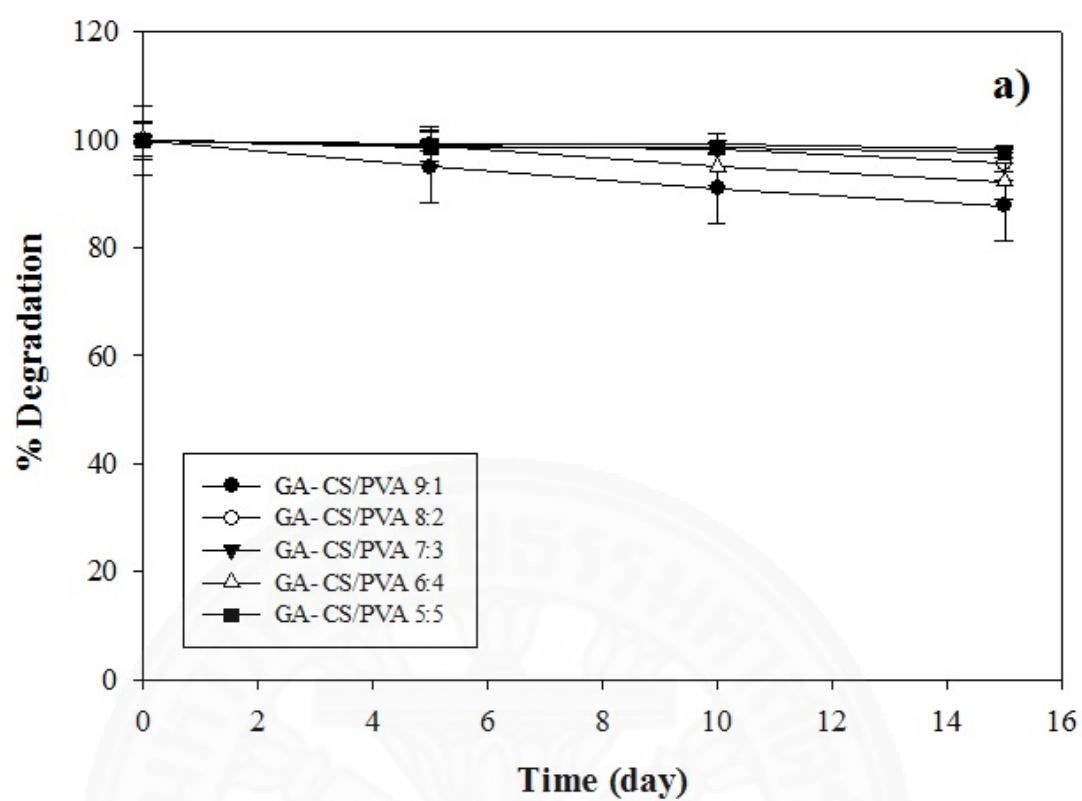
4.1.2.3 การศึกษาความคงตัวของกรดแกลลิกและการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

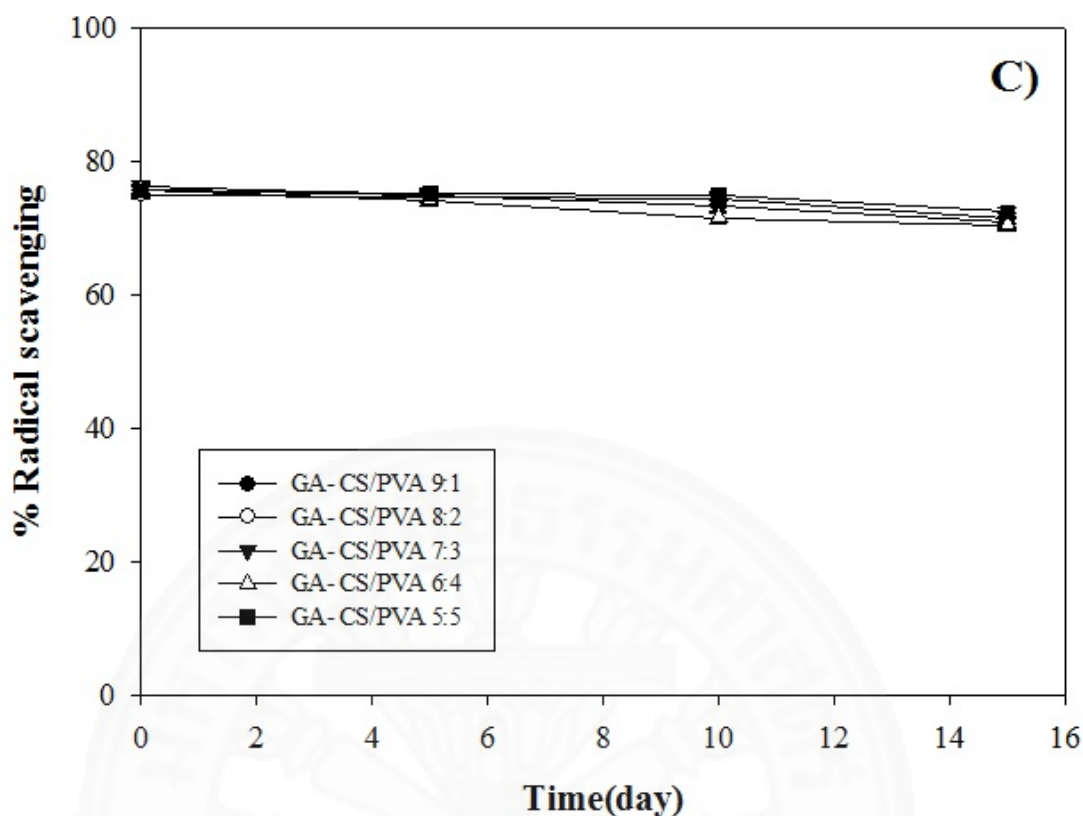
กรดแกลลิกที่ผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลถูกนำมาศึกษาสภาพความคงตัวเนื่องจากสภาพความคงตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการนำมาใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ ซึ่งถือเป็นการบอกคุณภาพอย่างหนึ่งของวัสดุ โดยวิธีการศึกษานี้จะนำวัสดุเชิงประกอบที่ผสมกรดแกลลิกไปเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อกำหนดอายุของสารสำคัญที่ยังมีคุณภาพเหมือนเดิม ผลการศึกษาสภาพความคงตัวและค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีกรดแกลลิกผสมอยู่แสดงดังรูปที่ 4.9 b) และ c) จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีกรดแกลลิกผสมอยู่ไปเก็บรักษาในสภาวะความชื้น 75% RH อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลยังคงมีความคงตัวของกรดแกลลิกอยู่นั่นคือยังคงมีปริมาณแกลลิกเหลืออยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล จากนั้นนำวัสดุเชิงประกอบที่ยังมีปริมาณแกลลิกเหลืออยู่ไปทดสอบค่าการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay เพื่อเป็นการยืนยันว่ากรดแกลลิกที่ยังคงเหลืออยู่นั้นยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแกลลิกที่ยังเหลืออยู่และค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลอัตราส่วน 9:1 คือ 74.81 ± 4.81 และ 70.93 ± 0.93 อัตราส่วน 8:2 คือ 73.28 ± 4.19 และ 71.51 ± 0.77 อัตราส่วน 7:3 คือ 71.34 ± 3.45 และ 70.93 ± 0.82 อัตราส่วน 6:4 คือ 68.17 ± 3.76 และอัตราส่วน 5:5 อยู่ที่ 70.67 ± 2.36 และ 72.48 ± 0.69 ตามลำดับ สำหรับการศึกษาความสามารถในการสลายตัวทางธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลในระยะเวลา 15 วัน แสดงในรูปที่ 4.9 a) จากการทดสอบพบว่าค่าการสลายตัว

ทางธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลอัตราส่วน 9:1 อยู่ที่ 87.38 ± 6.64 อัตราส่วน 8:2 และ 7:3 อยู่ที่ 95.59 ± 1.67 และ $98.0.48$ และอัตราส่วน 6:4 และ 5:5 อยู่ที่ 92.38 ± 3.45 และ 97.59 ± 0.83 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีกรดแกลลิกผสมอยู่นั้นในทุกอัตราส่วนนั้นยังคงมีปริมาณกรดแกลลิกเหลืออยู่ในวัสดุเชิงประกอบซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ อัตราส่วน และเมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการต่อต้านอนุมูลอิสระของปริมาณกรดแกลลิกที่ยังคงเหลือจะพบว่ากรดแกลลิกยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน และนอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลยังสามารถสลายตัวได้เองทางธรรมชาติซึ่งสังเกตได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การสลายตัว ซึ่งการสลายตัวได้เองทางธรรมชาตินั้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุเชิงประกอบทางชีวภาพอย่างไฮโดรเจล



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของ ไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์





ภาพที่ 4.9 แสดงค่าการสลายตัวทางธรรมชาติ a), ปริมาณที่คงเหลืออยู่ของแกลลิก b) และค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ c)

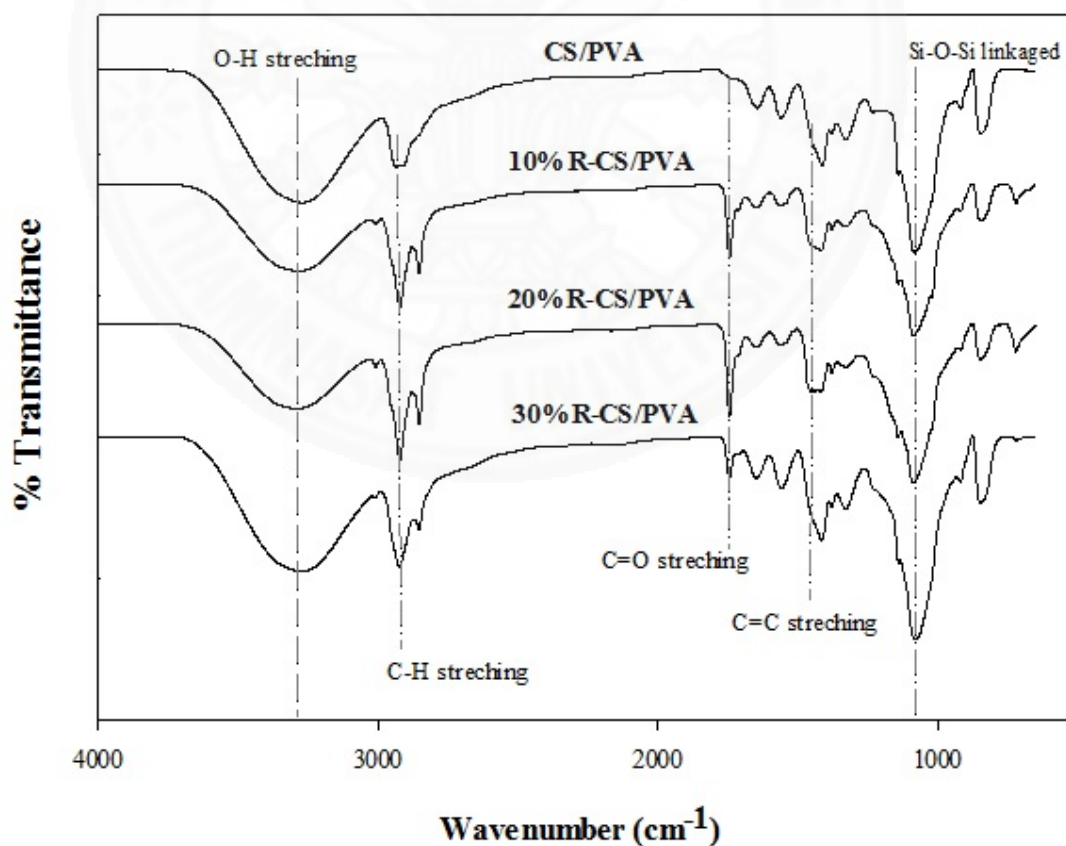
4.2 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัว

4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัว

4.2.1.1 การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

ไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวถูกทดสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันโดยอาศัยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏขึ้นสำหรับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลพบว่าเกิดพีคขึ้นที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3300 ต่อเซนติเมตร ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ O-H stretching ที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัว โดยเส้นสเปกตรัมที่ได้จากการ

ทดสอบจะมีลักษณะกว้างและมีปริมาณมากเนื่องจากหมู่ O-H stretching นั้นจะปรากฏอยู่ในโครงสร้างของทั้งไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว สำหรับสเปกตรัมที่ปรากฏในช่วงเลขคลื่น 2925 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H stretching ที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์[68] และสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว โดยจากการศึกษาจะสังเกตว่าเมื่อมีปริมาณของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วเพิ่มขึ้นจาก 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะส่งผลให้เกิดพีคของหมู่ C-H stretching เพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่เส้นสเปกตรัมที่ปรากฏในช่วงเลขคลื่น 1700 ต่อเซนติเมตรนั้น แสดงถึงพันธะ C=O stretching ซึ่งเป็นพันธะของหมู่คาร์บอกซิลิกที่ปรากฏอยู่ในโครงสร้างของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่ว ในขณะที่พีคที่ปรากฏในช่วงเลขคลื่นประมาณ 1500 ต่อเซนติเมตรนั้น แสดงถึงพันธะ C=C stretching ซึ่งเป็นพันธะที่แสดงถึงวงอะโรมาติกที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารสกัดจากข้าว และพีคที่ปรากฏช่วงเลขคลื่นประมาณ 1100 ต่อเซนติเมตร แสดงถึง Si-O-Si linkaged ที่เป็นโครงสร้างของสารเชื่อมขวางประเภทไฮเลนที่ที่ใช้ในการเชื่อมขวางไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมที่เกิดขึ้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

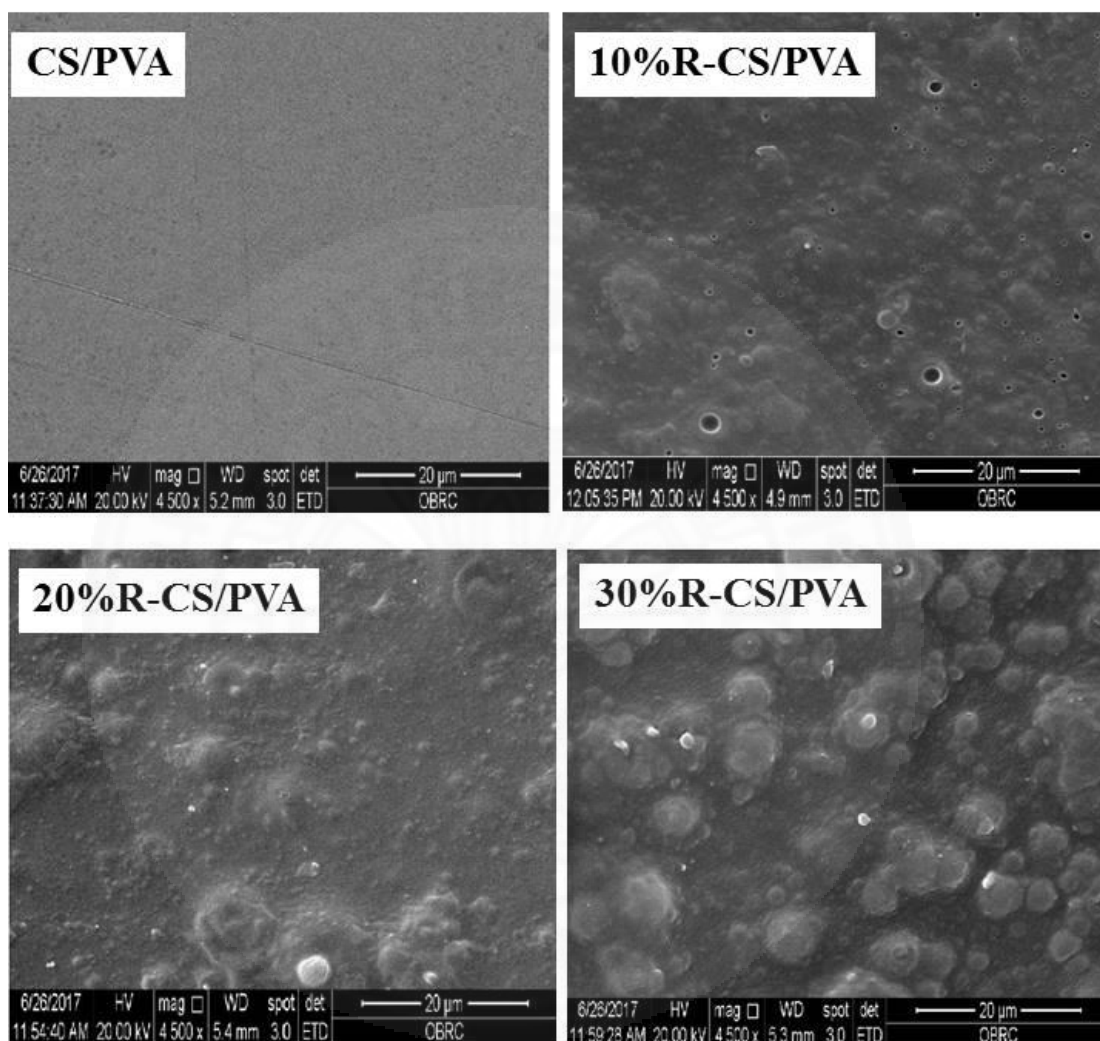
4.2.1.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวโดยอาศัยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวลงไปนั้นมีลักษณะพื้นผิวที่ราบเรียบ แสดงถึงความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่เมื่อทำการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวลงไปไฮโดรเจลกลับทำให้ลักษณะพื้นผิวที่ศึกษาได้นั้นมีความขรุขระเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว โดยความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาจะสังเกตเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดข้าวเหนียวที่เติมลงไปไฮโดรเจลมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะไปส่งผลต่อพื้นผิวของไฮโดรเจลที่มีความขรุขระเพิ่มขึ้นตามไปด้วย[69]

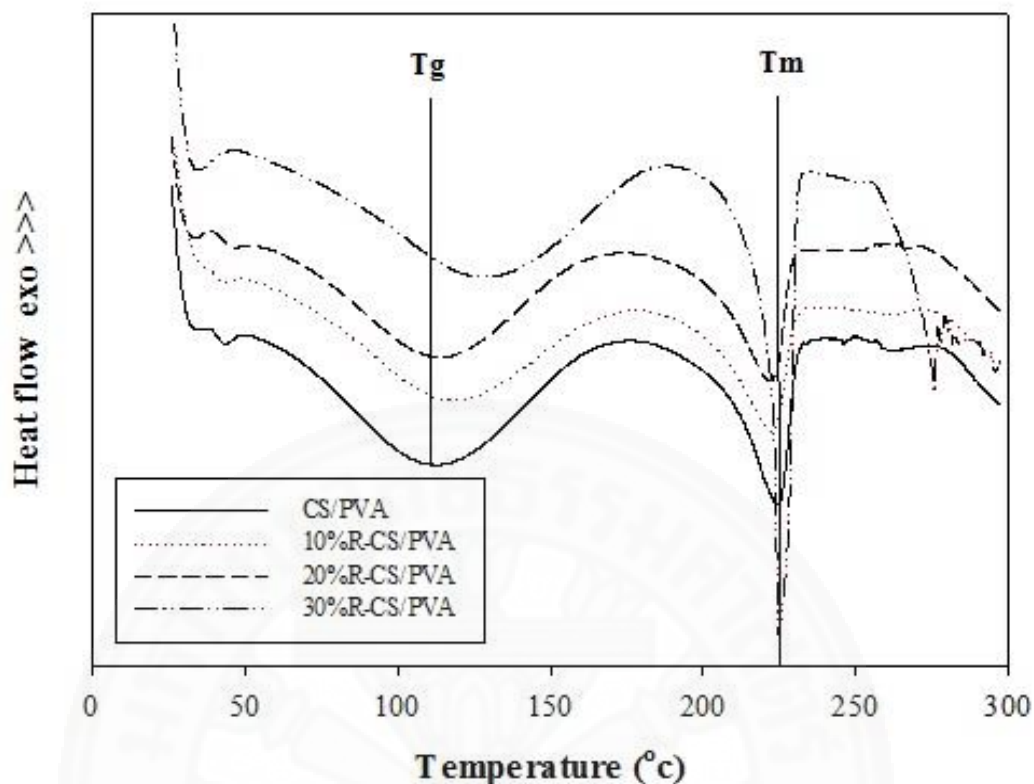
4.2.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC)

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.12 สำหรับการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบนั้นจะใช้อุณหภูมิในการศึกษาในช่วง 50 – 300 องศาเซลเซียส โดยเมื่อวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำลงไปจะส่งผลให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของวัสดุเชิงประกอบเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำ โดยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำจะอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำลงไปจะสังเกตเห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งอยู่ในช่วง 120 – 130 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารสกัดข้าวเหนียวดำ สารประกอบฟีนอลมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีนมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่อกันอยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลที่อยู่ในสารสกัดข้าวเหนียวดำยังมีผลต่อค่าอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบด้วย โดยจากการศึกษาจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำลงไปจะ

เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำคืออยู่ในช่วง 225 องศาเซลเซียส[70]



ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

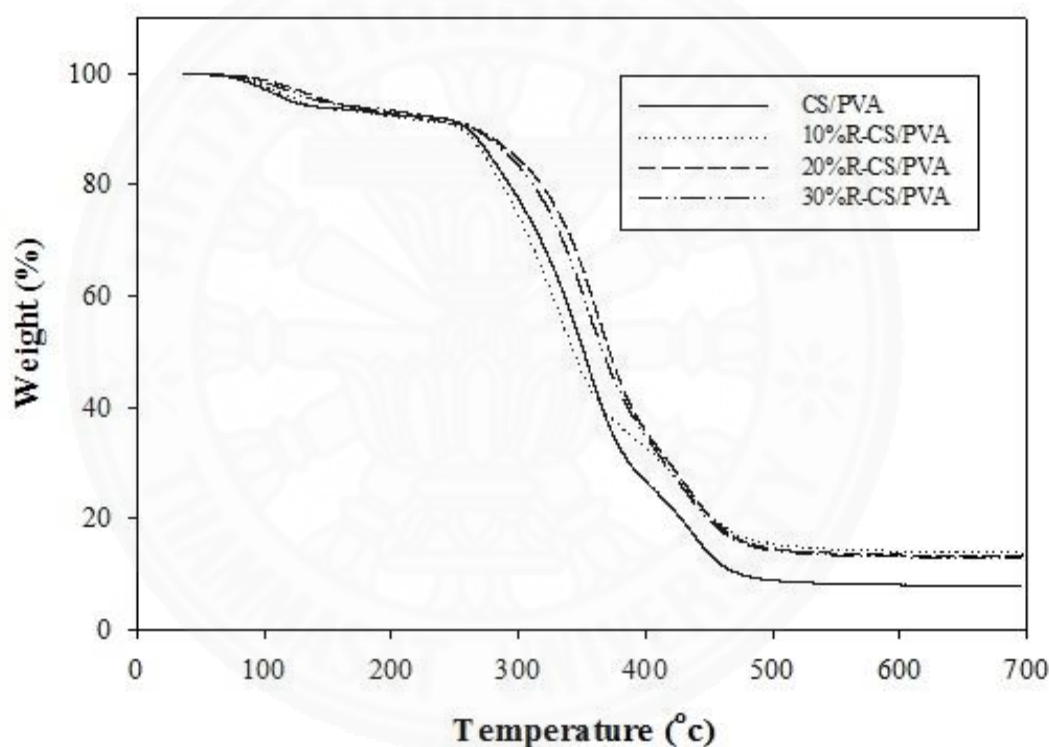


ภาพที่ 4.12 แสดงช่วงอุณหภูมิค่า T_g และ T_m ของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.1.4 การศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

การศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ถูกทดสอบด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งจากผลการศึกษาจะสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบเกิดขึ้น 3 ส่วน โดยในส่วนแรกจะอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิห้องไปจนถึง 200 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักวัสดุเชิงประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการระเหยของน้ำและสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของวัสดุเชิงประกอบ นอกจากนี้ไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและความชื้นในอากาศได้ ดังนั้นน้ำที่ระเหยไปในช่วงแรกอาจมาจากความชื้นในอากาศด้วยเช่นกัน ในช่วงที่สองของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดการสลายตัวของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล ซึ่งการสลายตัวนี้จะอยู่ในช่วง 200 – 500 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการศึกษาเริ่มสูงขึ้นจึงเข้าไปมีผลต่อโครงสร้างและ

พันธะภายในของวัสดุเชิงประกอบทำให้เกิดการสลายตัวเกิดขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และสำหรับส่วนสุดท้ายจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกิดการสลายตัวอย่างสมบูรณ์จนกลายเป็นเถ้าถ่าน สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผ้านั้นจะส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการทนความร้อนได้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำ เนื่องจากในสารสกัดข้าวเหนียวดำมีสารประกอบฟีนอลที่มีลักษณะเป็นวงแหวนเบนซีนเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโครงสร้าง จึงทำให้วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการทนความร้อนเพิ่มมากขึ้น[71]



ภาพที่ 4.13 แสดงช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.1.5 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลด้านการทนต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลด้านการทนต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วแสดงในตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเชิงกลสำหรับทางวัสดุนั้นจะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัว ความหนาแน่น แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลและที่เกิดขึ้น

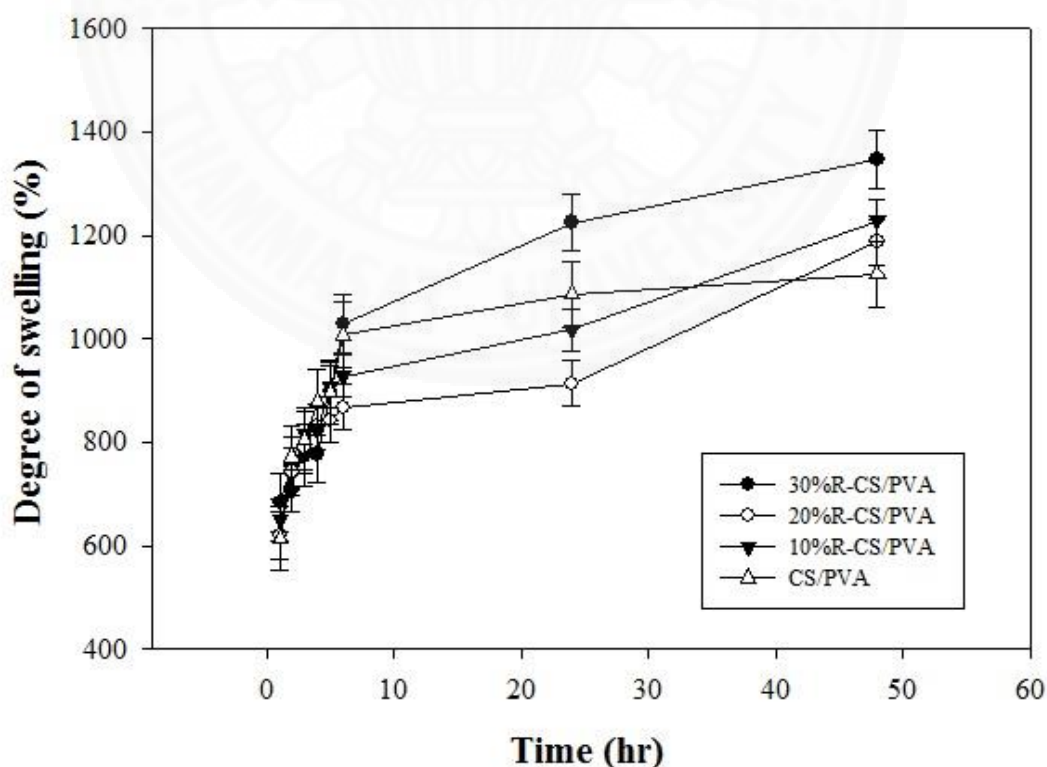
ภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุเชิงประกอบ สำหรับการศึกษาค้นคว้าความทนต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อปริมาณสารสกัดที่เติมลงไปมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า tensile stress และค่า young's modulus ของวัสดุเชิงประกอบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำ ผลการศึกษาที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าสารประกอบพินอลที่พบในสารสกัดจากข้าวเหนียวดำนั้นเข้าไปทำลายความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล และพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างตาข่ายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลถูกทำลายด้วยสารประกอบพินอลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้อาจเกิดจากการเชื่อมขวางของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ไม่แข็งแรงจึงถูกทำลายได้ง่ายหรือขณะที่เกิดการก่อตัวของเจลนั้นใช้ระยะเวลาที่สั้นหรือก่อตัวรวดเร็วจนเกินไปจึงทำให้ความแข็งแรงภายในโครงสร้างต่ำลงจึงส่งผลให้มีความแข็งแรงเชิงกลลดลงตามไปด้วย และจากการศึกษาสังเกตเห็นว่าสารประกอบพินอลที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดข้าวเหนียวดำทำให้ค่า % elongation at break ของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลลดลงใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นโดยโครงสร้างวงแหวนเบนซีน ของสารประกอบพินอลอาจไปมีผลในการส่งเสริมความทนทานให้แก่วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล[72]

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว

Name	Tensile stress (MPa)	Elongation at break (%)	Young 's modulus (MPa)
neat	67.13 (±7.78)	120.86 (±25.65)	0.49 (±0.07)
10%R	61.31 (±5.24)	145.60 (±18.05)	0.39 (±0.04)
20%R	57.07 (±11.05)	189.10 (±34.20)	0.52 (±0.05)
30%R	55.58 (±13.21)	202.60 (±62.67)	0.41 (±0.07)

4.2.1.6 การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

การศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงผลการศึกษาดังรูปที่ 4.14 คุณสมบัติการบวมตัวในสารละลายหรือของเหลวของวัสดุเชิงประกอบมีความสำคัญต่อการพิจารณาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติดูดซับน้ำและความชื้นได้ดีซึ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุปิดแผลในทางการแพทย์ ผลการศึกษาการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 48 ชั่วโมง วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีแนวโน้มการบวมตัวที่เพิ่มสูงขึ้นและคาดว่าจะสามารถบวมตัวได้มากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการบวมตัวที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความเข้มข้นของสารสกัดข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีการบวมตัวสูงกว่าค่าความเข้มข้นที่ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การบวมตัวที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากสารประกอบพินอลและหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดข้าวเหนียวดำเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือสารละลายจึงช่วยให้วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลสามารถบวมตัวได้มากขึ้น[73]

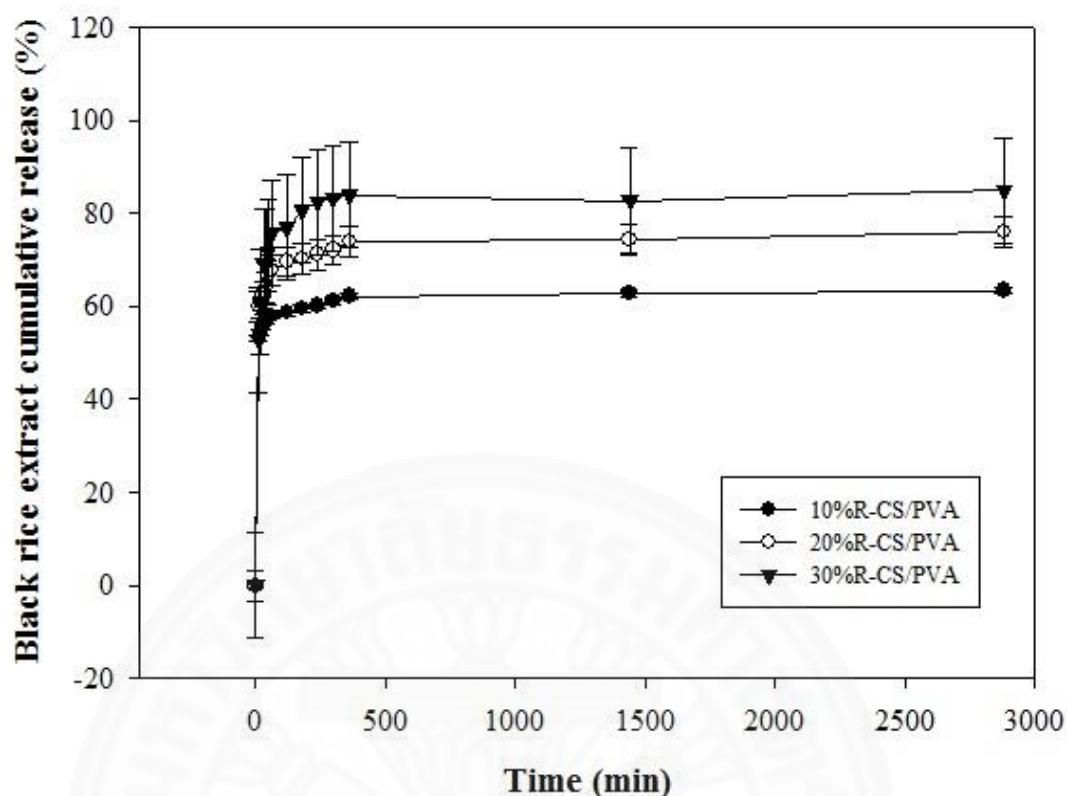


ภาพที่ 4.14 แสดงค่าการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์

4.2.2.1 การศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

การศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4.15 จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวที่ความเข้มข้นต่างๆคือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมาแช่ในสารละลายตัวกลาง phosphate buffer saline ที่ค่า pH เท่ากับ 7 ซึ่งสารละลายตัวกลางชนิดนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้เคียงกับของเหลวภายในร่างกายจึงถูกนำมาใช้เป็นสภาวะจำลอง พบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 – 360 นาที มีอัตราการปลดปล่อยสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ค่อนข้างรวดเร็ว และหลังจากเวลา 360 นาทีไปจนกระทั่ง 2880 นาที อัตราการปลดปล่อยสารสกัดข้าวเหนียวดำเริ่มคงที่ สำหรับปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดข้าวลิ้มผัวที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีผลต่ออัตราการปลดปล่อย โดยความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีอัตราการปลดปล่อยที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า อัตราการปลดปล่อยของสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่า $58.07 \pm 0.65\%$, $67.93 \pm 3.26\%$ และ $75.91 \pm 11.34\%$ ตามลำดับ และค่าเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสูงสุดของแต่ละความเข้มข้นคือ $63.48 \pm 1.11\%$, $76.04 \pm 4.50\%$ และ $85.05 \pm 13.46\%$ ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆมีความสามารถที่จะปลดปล่อยสารสกัดออกมาได้เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปจนถึงเวลา 2880 นาที การปลดปล่อยจึงจะเริ่มคงที่ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณสารสกัดข้าวเหนียวดำได้ถูกปลดปล่อยออกมาจนหมดภายในช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 4.15 แสดงการปลดปล่อยสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ จากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

4.2.2.2 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผั่วจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักใช้เทคนิค DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay แสดงในตารางที่ 4.2 สำหรับผลการศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ $47.13 \pm 0.54\%$, $49.77 \pm 0.81\%$ และ $55.35 \pm 0.54\%$ ตามลำดับ ขณะที่วัสดุเชิงประกอบที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำไม่พบค่าการต้านอนุมูลอิสระ สำหรับการศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คือ $21.56 \pm 4.23\%$, $26.53 \pm 2.10\%$ และ $29.15 \pm 4.10\%$ ตามลำดับ และวิธี FRAP assay ที่ใช้สำหรับทดสอบค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวเหนียวดำพบว่ามีค่าการต้านอนุมูลอยู่ที่ 0.26 ± 0.19 , 0.56 ± 0.45 และ 0.60 ± 0.16 mg TE/g extract ซึ่งเป็นค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จาก

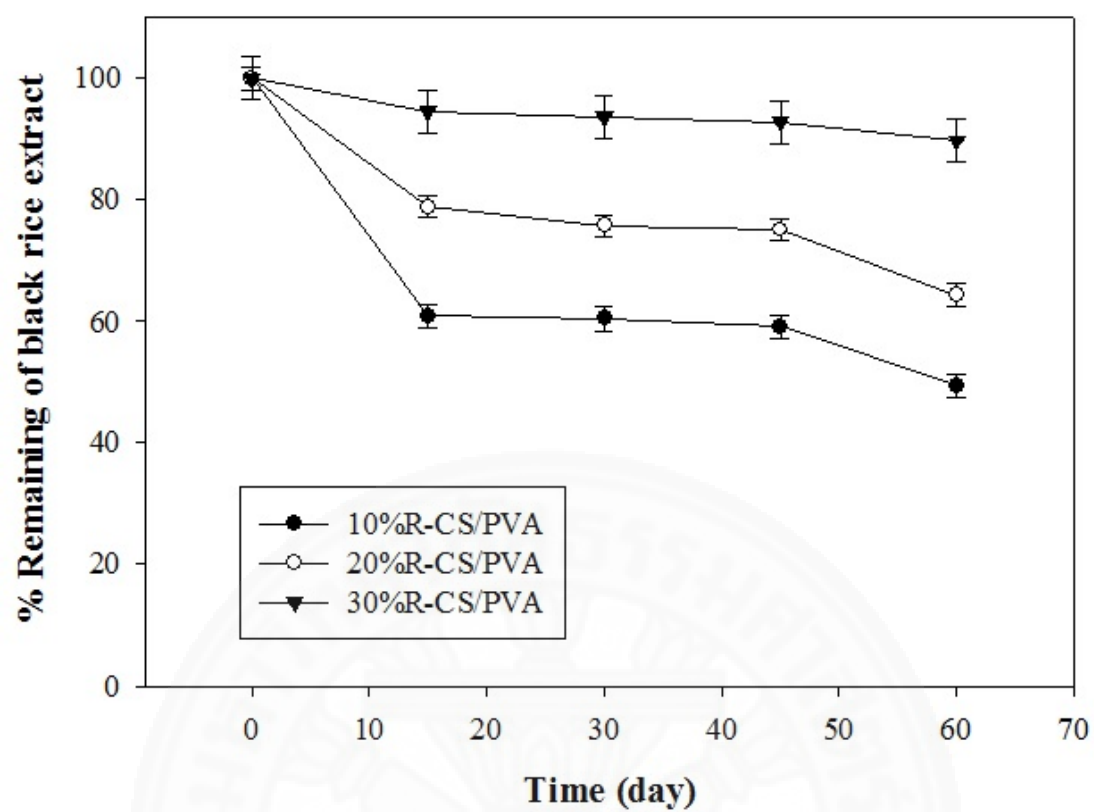
การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวทั้งหมด 3 วิธี จะสังเกตว่าในทุกๆวิธีการทดสอบนั้นจะให้ค่าการต้านที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ตามด้วยวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวเข้มข้น 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาค่าปริมาณฟีนอลิกรวมในวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆนั้นพบว่าสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ที่ 1.76 ± 0.61 mg GAE/g extract ขณะที่สารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ที่ 3.08 ± 0.46 และ 3.81 ± 0.88 mg GAE/g extract ตามลำดับ ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณฟีนอลิกรวมที่เพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อค่าการต่อต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระและค่าปริมาณฟีนอลิกรวมของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ

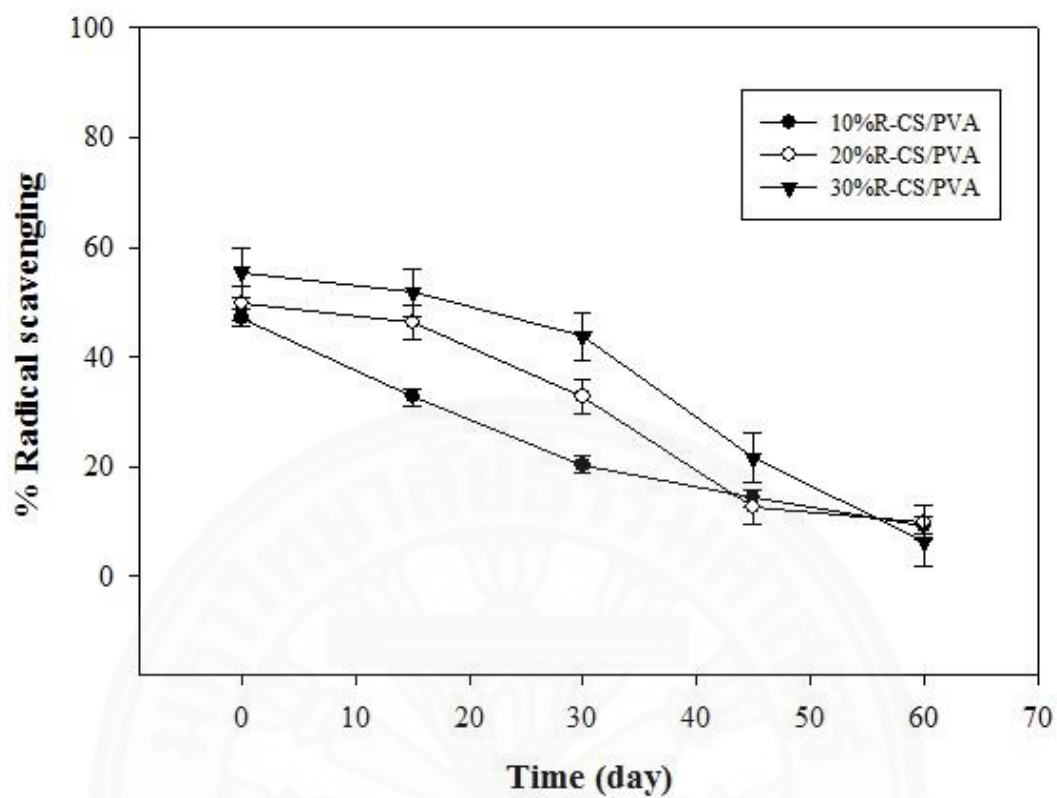
Name	Anti-oxidant activity			Total phenolic content (mg GAE/g extract)
	DPPH assay (%)	ABTS assay (%)	FRAP assay (mg TE /g extract)	
neat	0	0	0	0
10%R	47.13 ± 0.54	21.56 ± 4.23	0.26 ± 0.19	1.76 ± 0.61
20%R	49.77 ± 0.81	26.53 ± 2.10	0.56 ± 0.45	3.08 ± 0.46
30%R	55.35 ± 0.54	29.15 ± 4.10	0.60 ± 0.16	3.81 ± 0.88

4.2.2.3 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวและการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล

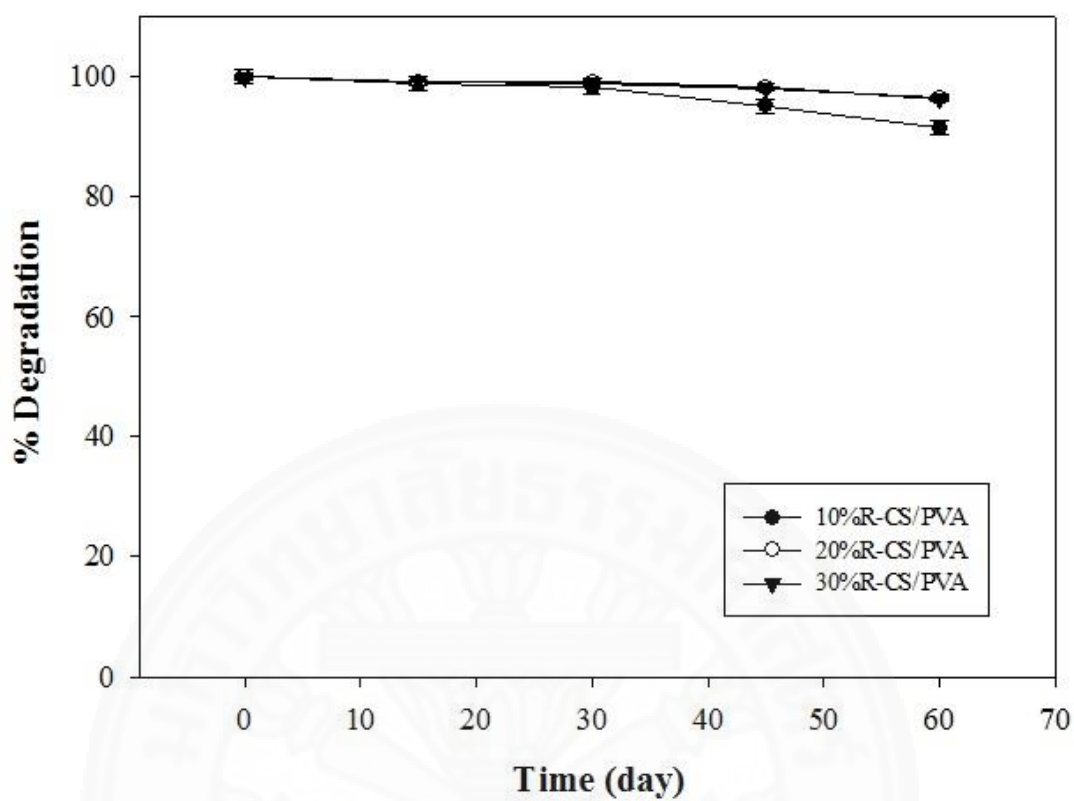
การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลเพื่อเป็นการยืนยันถึงการมีอยู่ของสารสกัด รวมถึงการมีอยู่ของประสิทธิภาพการต่อต้านอนุมูลอิสระเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน โดยวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลถูกเก็บรักษาไว้ในสภาวะความชื้นที่ 75% RH อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4.16 โดยจากการศึกษาพบว่าเมื่อนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำปริมาณเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมาทดสอบความคงตัวของสารสกัดข้าวเหนียวดำ เปอร์เซ็นต์คงเหลือของสารสกัดข้าวเหนียวดำลดลงจาก 100 เปอร์เซ็นต์เหลือ 89.78 ± 3.56 ในสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีเปอร์เซ็นต์คงเหลือของสารสกัดอยู่ที่ 64.31 ± 1.80 และ 49.49 ± 1.93 ตามลำดับ เมื่อวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำยังคงแสดงถึงความคงตัวของสารสกัดอยู่ ดังนั้นจึงนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมาทดสอบค่าการต้านอนุมูลอิสระของปริมาณสารสกัดที่คงเหลืออยู่ด้วยวิธี DPPH assay ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งผลการทดสอบแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่เติมสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักอยู่ที่ 6.33 ± 4.39 , 9.83 ± 3.01 และ 9.16 ± 1.55 เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน นอกจากนี้ยังนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมาทำการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายตัวได้ในธรรมชาติ โดยนำวัสดุเชิงประกอบเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในทุกๆ 15 วัน จนครบ 60 วัน ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 4.18 ซึ่งพบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมีความสามารถในการย่อยสลายได้เองในธรรมชาติเมื่อผ่านไป 60 วัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายอยู่ที่ 91.55 ± 1.15 , 96.50 ± 0.41 และ 96.42 ± 0.22 ซึ่งเป็นค่าการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่เติมสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ จากการศึกษาความคงตัวและความสามารถในการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่เติมสารสกัดข้าวเหนียวดำเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบเมื่อผ่านเวลาการเก็บรักษาไป 60 วัน ยังคงแสดงค่าความคงตัวหรือการเหลืออยู่ของปริมาณสารสกัด และเมื่อนำไปทดสอบค่าการต้านอนุมูลอิสระพบว่าปริมาณสารสกัดที่ยังคงเหลือนั้นก็ยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน และการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้เองในธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ได้จากโคโคซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดข้าวเหนียวดำมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์



ภาพที่ 4.16 แสดงปริมาณคงเหลือของสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆใน
วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล



ภาพที่ 4.17 แสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระของปริมาณสารสกัดข้าวเหนียวดำที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่คงเหลือในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจล



ภาพที่ 4.18 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบในรูปไฮโดรเจลโดยใช้ไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆและเชื่อมขวางด้วยสารเตตระเอทิลอโทซิลิเกต จากนั้นจะนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีเบื้องต้นพร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบมาประยุกต์ใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ โดยศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยสารสำคัญซึ่งใช้กรดแกลลิกเป็นตัวแทนของสารสำคัญที่ได้จากธรรมชาติ และศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิก จากนั้นจะทำการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดที่ได้จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ และศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีเบื้องต้นพร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบมาประยุกต์ใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่ได้จากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆแสดงให้เห็นพิกที่ปรากฏช่วงเลขคลื่นประมาณ 1087 ต่อเซนติเมตร แสดงถึง Si-O-Si linked ซึ่งเป็นพันธะที่ปรากฏอยู่ในโครงสร้างของสารเชื่อมขวางชนิดเตตระเอทิลอโทซิลิเกต นอกจากนี้ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลยังแสดงให้เห็นถึงลักษณะของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบที่มีความราบเรียบ สม่ำเสมอระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สำหรับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการทนความร้อนได้เพิ่มสูงขึ้นจึงสามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง แต่คุณสมบัติการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบกลับลดลงเมื่อมีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือคุณสมบัติการบวมตัวจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานลดลงเนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติชอบน้ำและสามารถดูดซึมน้ำได้ดี

5.1.2 ผลการศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยกรดแลคติกจากวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลพบว่าวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลในทุกอัตราส่วนมีความสามารถที่จะปลดปล่อยกรดแลคติกได้ใกล้เคียงกันเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อนำสารละลายที่ได้จากการศึกษาการปลดปล่อยของวัสดุเชิงประกอบในทุกอัตราส่วนมาทดสอบค่าการต้านอนุมูลอิสระจะพบว่ากรดแลคติกที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี และนอกจากนี้ผลการศึกษาความคงตัวยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปกรดแลคติกที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบนั้นมีปริมาณลดลงจากเดิมแต่ก็ยังคงมีอยู่และยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้เช่นเดิม

5.1.3 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 5:5 ถูกนำมาใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวเนื่องจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างก็เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่น ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนเท่ากันจะทำให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่ได้นั้นมีคุณสมบัติดีขึ้น สารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัวที่ความเข้มข้นต่างๆคือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักถูกนำมาใช้สำหรับเตรียมวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผัว โดยเมื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์เคมีพบว่าเมื่อสารสกัดข้าวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะปรากฏหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่เลขคลื่นในช่วง 3300 ต่อเซนติเมตร และจะปรากฏพันธะ $C=O$ และ $C=C$ ที่มีอยู่ในโครงสร้างของสารสำคัญภายในสารสกัดข้าวเพิ่มขึ้น โดยปรากฏอยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 1700 ต่อเซนติเมตร และ 1500 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณสารสกัดข้าวที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อความสามารถในการบวมตัวของวัสดุเชิงประกอบที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุเชิงประกอบที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามสารสกัดข้าวที่ถูกเติมลงไปนั้นไม่สามารถที่จะเข้ากันได้กับวัสดุเชิงประกอบซึ่งยืนยันได้จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และปริมาณสารสกัดข้าวที่เพิ่มขึ้นก็ไม่ได้มีผลต่อความเสถียรทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบเช่นกัน

5.1.4 ผลการศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดข้าวที่เติมลงไปวัสดุเชิงประกอบมีเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารสกัดข้าวนี้จะทำให้ปริมาณของฟีนอลิกรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารสกัดนั้นมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ และการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดข้าวจากวัสดุเชิงประกอบนั้นพบว่าเมื่อมีปริมาณสารสกัดข้าวในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นก็จะถูกปลดปล่อยออกมาได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ผลการศึกษาความคงตัวแสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของสารสกัดข้าวที่มีอยู่ในวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย และยังคงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สำหรับวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมกรดแกลลิกลงไปนั้น ควรทำการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีเพิ่มเติม เช่น การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน เป็นต้น เนื่องจากกรดแกลลิกที่เติมลงไปอาจมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุเชิงประกอบ

5.2.2 การศึกษาค่าการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิกที่มีอยู่ในวัสดุเชิงประกอบควรมีการศึกษาที่มากกว่า 1 วิธีเพื่อเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกรดแกลลิก และศึกษาเปอร์เซ็นต์การกักเก็บกรดแกลลิกเพิ่มเติม

5.2.3 วัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มผ้านั้น ควรทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์ในการกักเก็บสารสกัดเพิ่มเติม และอาจมีการศึกษากับสัตว์ทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลมาประยุกต์ใช้งานได้จริงในมนุษย์

5.2.4 การศึกษาปริมาณคงตัวของสารสกัดข้าวที่เติมลงในวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลนั้น ควรทำการศึกษาค่าปริมาณฟีนอลิกรวม(Total phenolic content)ร่วมด้วยเพื่อเป็นการยืนยันถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอยู่เมื่อเวลาผ่านไป

5.2.5 การศึกษาการเกิด crosslink ของสารเชื่อมขวางที่เติมลงในวัสดุเชิงประกอบนั้น สามารถศึกษาได้จากเทคนิค SEM โดยศึกษาตัวอย่างที่มีการ cross-section เพื่อยืนยันถึงการเกิด การเชื่อมขวางของสารเชื่อมขวาง

รายการอ้างอิง

1. หฤทภักดิ์ กิรติเสวี, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล, อภิรัตน์ เล่าห์บุตรี. (2552). ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ. วิศวกรรมสาร มก. 22: 18-32.
2. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. วัสดุที่เรียกว่า คอมโพสิต (composites) คือวัสดุประเภทใด (ออนไลน์). สืบค้นจาก <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-question-Answer/169> [21 สิงหาคม 2559].
3. Asean's Plastic Information & Marketplace. พลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.aecplastic.com/ArticleDetail.aspx?id=81> [2 กรกฎาคม 2560].
4. Siamchemi. ไคโตซาน/ไคติน (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.siamchemi.com/> [21 สิงหาคม 2559].
5. Mansur, H.S., et al., Cytocompatibility evaluation in cell-culture systems of chemically crosslinked chitosan/PVA hydrogels. Materials Science and Engineering: C, 2009. 29(5): p. 1574-1583.
6. เกษตรก้าวหน้า. ไคโตซาน (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.kasetkawna.com/article/270/ไคโตซาน>. [1 กันยายน 2559].
7. disthai. ไคโตซาน (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.disthai.com/16488248/ไคโตซาน>. [1 กันยายน 2559].
8. easternricemill. ประโยชน์ของข้าว (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://easternricemill.com/ricebenefit/html>. [3 กันยายน 2560].
9. ptikumpo. (2554). คุณประโยชน์ของข้าวแต่ละชนิด (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://ptikumpo.wordpress.com/2011/01/25>. [3 กันยายน 2560].
10. กระปุกดอทคอม. (2556). ข้าวลืมผัว ข้าวเหนียวรสอร่อย มากคุณค่าทางโภชนาการ (ออนไลน์). สืบค้นจาก <https://health.kapook.com/view62282.html>. [3 กันยายน 2560].
11. เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหนาม. (2554). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระแหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1: 59-70.
12. เกร็ดความรู้.net. ข้าวลืมผัว ประโยชน์และสรรพคุณของข้าวลืมผัว (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://เกร็ดความรู้.net/ข้าวลืมผัว/>. [3 กันยายน 2560].

13. Kim, J. and C.-M. Lee, Wound healing potential of a polyvinyl alcohol-blended pectin hydrogel containing Hippophae rhamnoides L. extract in a rat model. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017. 99: p. 586-593.
14. Jiang H, Zuo Y, Zhang L, Li J, Zhang A, Yang X, et al. Property-based design: optimization and characterization of polyvinyl alcohol (PVA) hydrogel and PVA-matrix composite for artificial cornea. *Journal Of Materials Science: Materials In Medicine*, 2014.25(3): p. 941-952.
15. Tanpichai, S. and K. Oksman, Cross-linked nanocomposite hydrogels based on cellulose nanocrystals and PVA: Mechanical properties and creep recovery. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2016. 88: p. 226-233.
16. Ramakrishna. P, Mallikarjuna. B, Chandra Babu. A, Sudhakar. P, Chowdoji Rao. K, and Subha. M.C.S., Interpenetrating polymer network of crosslinked blend microspheres for controlled release of Acebutolol HCl. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2011. 6: p. 212-219.
17. Islam, A., et al., In-situ crosslinked nanofiber mats of chitosan/poly(vinyl alcohol) blend: Fabrication, characterization and MTT assay with cancerous bone cells. *Fibers and Polymers*, 2015. 16(9): p. 1853-1860.
18. Kishore. K Jena and K.V.S.N. Raju, Synthesis and Characterization of Hyperbranched Polyurethane Hybrids Using Tetraethoxysilane (TEOS) As Cross-Linker. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2008. 47: p. 9214-9224.
19. Neha. M, Nimish. S, and Tejal. M. Synthesis of Chitosan-Polyvinyl Alcohol Copolymers for Smart Drug Delivery Application. *Polymer and Polymer Composite*, 2017. 25: p. 241-246.
20. Javanbakht T, Bérard A, Tavares J. Polyethylene glycol and poly(vinyl alcohol) hydrogels treated with photo-initiated chemical vapor deposition. *Canadian Journal Of Chemistry* ,2017.94(9): p. 744-750.
21. Gómez H, Godina F, Ortiz H, Mendoza A, Torres V, De la Fuente M. Use of Chitosan-PVA Hydrogels with Copper Nanoparticles to Improve the Growth of Grafted Watermelon. *Molecules*, 2017. 22(7): 1-9.

22. Nguyen, N.-T. and J.-H. Liu, Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/chitosan hydrogel thin films via UV irradiation. *European Polymer Journal*, 2013. 49(12): p. 4201-4211.
23. Biancamaria. P., Hydrogel for Tissue Engineering and Delivery of Tissue-Inducing Substances. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2017. 96(9): p. 2197-2223.
24. Akhtar, M.F., M. Hanif, and N.M. Ranjha, Methods of synthesis of hydrogels ... A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2016. 24(5): p. 554-559.
25. Pang J, Jia-Hau Y, Hsiao-Ting W, Sheng-Teng H. Gallic Acid Inhibited Matrix Invasion and AP-1/ETS-1-Mediated MMP-1 Transcription in Human Nasopharyngeal Carcinoma Cells. *International Journal of Molecular Sciences* , 2017.18(7): p. 1-14.
26. Thakur N, Nath A. Detection and Production of Gallic acid from Novel Fungal strain- *Penicillium crustosum* AN3 KJ820682. *Current Trends In Biotechnology & Pharmacy* , 2017.11(1): p. 60-66.
27. Larki S, Razi Jalali M, Goodarzi S. Scolicidal Effects of Gallic Acid, One of the Major Compounds of Plants, on Protoscolices of Hydatid Cyst. *Zahedan Journal Of Research In Medical Sciences* , 2017.19(5): p. 1-6.
28. Rewatkar K, Shende D, Wasewar K. Reactive Separation of Gallic Acid: Experimentation and Optimization Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network. *Chemical & Biochemical Engineering Quarterly* , 2017.31(1): p. 33-46.
29. Hui-long F, Jun-jie W. Biodegradation of Gallic Acid in Chinese Nutgall Processing Wastewater with a Sequencing Batch Reactor. *International Journal Bioautomation* , 2015.19(4): p. 555-562.
30. Chuysinuan, P., et al., Gallic Acid Loaded Electrospun Poly(L-Lactic Acid) Fiber Mats and their Release Characteristic. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 2009. 210(10): p. 814-822.
31. ชนิภา เสียงเสนาะ. (2560). การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของแบคทีเรียเซลล์ูโลสและเจลาตินสำหรับระบบนำส่งยา. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
32. GAO, L; et al. Effects of genipin cross-linking of chitosan hydrogels on cellular adhesion and viability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2017. 117: p. 398-405.

33. ISLAM, A; et al. Fabrication and performance characteristics of tough hydrogel scaffolds based on biocompatible polymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016. 92 : p. 1-10.
34. TASSELLI, F; et al. Mechanical, swelling and adsorptive properties of dry-wet spun chitosan hollow fibers crosslinked with glutaraldehyde. *Reactive and Functional Polymers*, 2013. 73 : p. 218-223.
35. COSTA-JÚNIOR, ES; PEREIRA, MM; MANSUR, HS. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PVA and chemically crosslinked. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2009. 20(2) : p. 553-561.
36. AGARWAL, T; et al. Gelatin/Carboxymethyl chitosan based scaffolds for dermal tissue engineering applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016.
37. FAN, L; et al. Preparation and characterization of chitosan/gelatin/PVA hydrogel for wound dressings. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 146 : p. 427-434.
38. GARNICA-PALAFOX, I; SÁNCHEZ-ARÉVALO, F. Influence of natural and synthetic crosslinking reagents on the structural and mechanical properties of chitosan-based hybrid hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 151 : p. 1073-1081.
39. COSTA-JÚNIOR, ES; et al. Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol) chemically crosslinked blends for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 2009. 76 : p. 472-481.
40. YU, S; et al. A novel pH-induced thermosensitive hydrogel composed of carboxymethyl chitosan and poloxamer cross-linked by glutaraldehyde for ophthalmic drug delivery. *Carbohydrate Polymers*, 2017. 155 : p. 208-217.
41. ARTECHE PUJANA, M; et al. Biodegradable chitosan nanogels crosslinked with genipin. *Carbohydrate Polymers*, 2013. 94 : p. 836-842.
42. SHARMA, C; et al. Fabrication and characterization of novel nano-biocomposite scaffold of chitosan–gelatin–alginate–hydroxyapatite for bone tissue engineering. *Materials Science & Engineering C*, 2016. 64 : p. 416-427.

43. JAIKUMAR, D; et al. Injectable alginate-O-carboxymethyl chitosan/nano fibrin composite hydrogels for adipose tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015. 74 : p. 318-326.
44. LIU, M; et al. Chitosan-chitin nanocrystal composite scaffolds for tissue engineering. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 152 : p. 832-840.
45. LIU, M; et al. In vitro evaluation of alginate/halloysite nanotube composite scaffolds for tissue engineering. *Materials Science & Engineering C*, 2015. 49 : p. 700-712.
46. HUANG, B; et al. Effects of halloysite nanotubes on physical properties and cytocompatibility of alginate composite hydrogels. *Materials Science & Engineering C*, 2017. 70 : p. 303-310.
47. KUMAR, A; et al. Effect of crosslinking functionality on microstructure, mechanical properties, and in vitro cytocompatibility of cellulose nanocrystals reinforced poly (vinyl alcohol)/sodium alginate hybrid scaffolds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016.
48. WANG, Q; CHEN, S; CHEN, D. Research Paper: Preparation and characterization of chitosan based injectable hydrogels enhanced by chitin nano-whiskers. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2017. 65 : p. 466-477.
49. Nourbakhsh, H., et al., Antioxidant Peptidic Particles for Delivery of Gallic Acid. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017. 41(1).
50. Limpisophon, K. and G. Schleining, Use of Gallic Acid to Enhance the Antioxidant and Mechanical Properties of Active Fish Gelatin Film. *Journal of Food Science*, 2017. 82(1): p. 80-89.
51. Gim, S.Y., et al., Gallic Acid Grafted Chitosan Has Enhanced Oxidative Stability in Bulk Oils. *Journal of Food Science*, 2017. 82(7): p. 1608-1613.
52. Zucoloto, M.m.h.c., et al., Bioactive compounds and quality characteristics of five apples. *Compostos bioativos e características de qualidade de cinco cultivares de maçãs*, 2015. 45(11): p. 1972-1979.

53. Yao, Y., et al., Appropriately raising fermentation temperature beneficial to the increase of antioxidant activity and gallic acid content in *Eurotium cristatum*-fermented loose tea. *LWT - Food Science and Technology*, 2017. 82: p. 248-254.
54. Yu, S.-H., et al., Preparation and characterization of radical and pH-responsive chitosan–gallic acid conjugate drug carriers. *Carbohydrate Polymers*, 2011. 84(2): p. 794-802.
55. Suwannalert, P. and S. Rattanachitthawat, High Levels of Phytophenolics and Antioxidant Activities in *Oryza Sativa* -- Unpolished Thai Rice Strain of Leum Phua. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 2011. 10(4): p. 431-436.
56. Yao, S.-L., et al., Black rice and anthocyanins induce inhibition of cholesterol absorption in vitro. *Food & Function*, 2013. 4(11): p. 1602.
57. Chen, P.-N., et al., Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chemico-Biological Interactions*, 2006. 163(3): p. 218-229.
58. Yodmanee, S., T.T. Karrila, and P. Pakdeechnuan, Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. *International Food Research Journal*, 2011. 18(3): p. 901.
59. Isao, K., K. Fukuzo, and S. Hiromu, Antioxidative Compounds in the Extracts of Black Rice Brans. *Journal of Health Science*, 2006(5): p. 495.
60. Yu-Ping, H. and L. Hsi-Mei, Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol 24, Iss 3, Pp 564-574 (2016), 2016(3): p. 564.
61. Abureesh, M.A., A.A. Oladipo, and M. Gazi, Facile synthesis of glucose-sensitive chitosan–poly(vinyl alcohol) hydrogel: Drug release optimization and swelling properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016. 90: p. 75-80.
62. Martins, A.F., et al., Synthesis, characterization, and cytotoxicity of TMC-graft-poly(vinyl alcohol) copolymers. *Carbohydrate Research*, 2013. 381: p. 153-160.
63. Mohamed, R.R., M.H.A. Elella, and M.W. Sabaa, Cytotoxicity and metal ions removal using antibacterial biodegradable hydrogels based on N-quaternized

chitosan/poly(acrylic acid). *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017. 98: p. 302-313.

64. Locatelli, C., F.B. Filippin-Monteiro, and T.B. Creczynski-Pasa, Alkyl esters of gallic acid as anticancer agents: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2013. 60: p. 233-239.

65. Tang, Y.-F., et al., Rheological characterisation of a novel thermosensitive chitosan/poly(vinyl alcohol) blend hydrogel. *Carbohydrate Polymers*, 2007. 67(4): p. 491-499.

66. Xue, C., et al., Antioxidative Activities of Several Marine Polysaccharides Evaluated in a Phosphatidylcholine-liposomal Suspension and Organic Solvents. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1998. 62(2): p. 206-209.

67. Yang, W., et al., Antioxidant and antibacterial lignin nanoparticles in polyvinyl alcohol/chitosan films for active packaging. *Industrial Crops and Products*, 2016. 94: p. 800-811.

68. Huber, D., et al., Chitosan hydrogel formation using laccase activated phenolics as cross-linkers. *Carbohydrate Polymers*, 2017. 157(Supplement C): p. 814-822.

69. Mallakpour, S. and A. Nezamzadeh Ezhieh, Preparation and characterization of chitosan-poly(vinyl alcohol) nanocomposite films embedded with functionalized multi-walled carbon nanotube. *Carbohydrate Polymers*, 2017. 166(Supplement C): p. 377-386.

70. Liu, J., et al., Synthesis, characterization, bioactivity and potential application of phenolic acid grafted chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*, 2017. 174(Supplement C): p. 999-1017.

71. Perez, J.J. and N.J. Francois, Chitosan-starch beads prepared by ionotropic gelation as potential matrices for controlled release of fertilizers. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 148(Supplement C): p. 134-142.

72. Sakai, S., et al., Horseradish peroxidase-catalyzed formation of hydrogels from chitosan and poly(vinyl alcohol) derivatives both possessing phenolic hydroxyl groups. *Carbohydrate Polymers*, 2014. 111(Supplement C): p. 404-409.

73. Abdel-Mohsen, A.M., et al., Eco-Synthesis of PVA/Chitosan Hydrogels for Biomedical Application. *Journal of Polymers and the Environment*, 2011. 19(4): p. 1005-1012.
74. วารุณี ตานันต์ และ สายันต์ แสงสุวรรณ. (2557). พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก: การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ และ การประยุกต์ใช้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16: 63-81.
75. ข้าวหอมปทุมทิศา. องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าว(ออนไลน์). สืบค้นจาก <https://www.facebook.com/panthikarice/posts/1025996967432936:0>. [3 กันยายน 2560].
76. Monkeytan. ข้าวลิ้มฟัว ลิ้มสนิทหรือเปล่าไม่รู้ แต่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง(ออนไลน์). สืบค้นจาก <https://food.mthai.com/food-inbox/98888.html>. [3 กันยายน 2560].

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวธัญลักษณ์ ัญญะเจริญ
วันเดือนปีเกิด	9 พฤษภาคม 2537
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2558: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ตำแหน่ง	-
ทุนการศึกษา	พ.ศ. 2560: ทุนผู้ช่วยสอน พ.ศ. 2561: ทุนสนับสนุนการวิจัยแผนพัฒนาศักยภาพ บัณฑิตรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ 2561 จากสำนักงาน คณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช)
ผลงานทางวิชาการ	<u>Thanyacharoen, T.</u>, Chuysinuan, P., Techasakul S., Nooeaid, P., and Ummartyotin, S. Development of a gallic acid-loaded chitosan and polyvinyl alcohol hydrogel composite: Release characteristics and antioxidant activity. International Journal Of Biological Macromolecules, 2018.107(Part A):p. 363-370. <u>Thanyacharoen, T.</u>, Chuysinuan, P., Techasakul, S., Na Lampang Noenplab, A., and Ummartyotin, S. The chemical composition and antioxidant and release properties of a black rice (<i>Oryza sativa L.</i>)-loaded chitosan and polyvinyl alcohol composite. Journal Of Molecular Liquids, 2017. 248:p. 1065-1070.
ประสบการณ์ทำงาน	-