

การเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของไคโตซาน
โดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เป็นเจลปิดรักษาบาดแผล



นายอัฒม์ สุวรรณวงศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

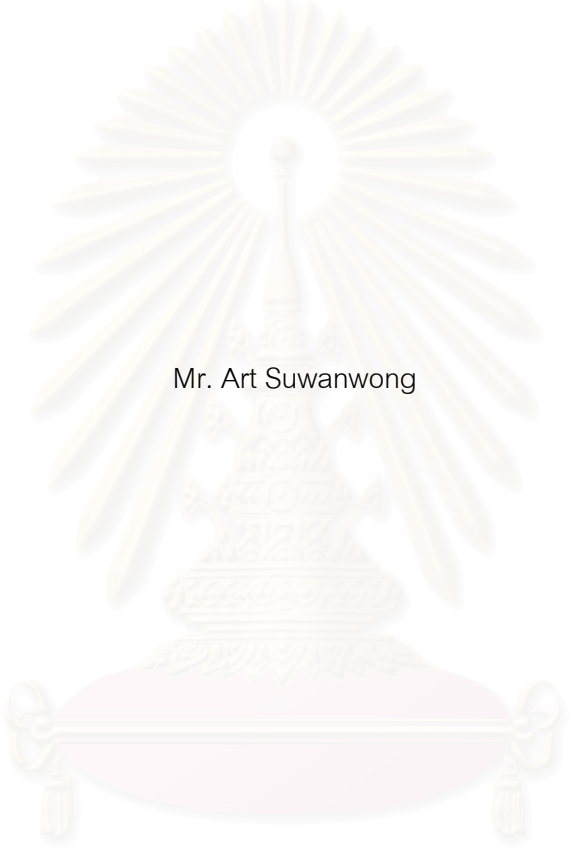
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6639-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF HYDROGEL CONTAINING PVA AND CHITOSAN LAYERS
BY GAMMA IRRADIATION FOR USING AS WOUND DRESSING



Mr. Art Suwanwong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6639-4

อัทธม์ สุวรรณวงศ์ : การเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เป็นเจลปิดรักษาบาดแผล

(PREPARATION OF HYDROGEL CONTAINING PVA AND CHITOSAN LAYERS BY GAMMA IRRADIATION FOR USING AS WOUND DRESSING.) อ. ที่ปรึกษา :
รศ. ชยากริต ศิริอุปลักษณ์, 138 หน้า. ISBN 974-17-6639-4 .

ได้ทดลองเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และชั้นของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เป็นเจลปิดรักษาบาดแผล ชั้นบนของไฮโดรเจลเป็นไคโตซานไฮโดรเจล มีจุดประสงค์เพื่อให้มีความสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ ไฮโดรเจลชั้นล่างเป็นพีวีเอไฮโดรเจล มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มการดูดซับน้ำ ไฮโดรเจลทั้งสองใช้เทคนิคการแช่แข็งและปล่อยให้ละลายก่อนนำไปฉายรังสีแกมมาเพื่อช่วยให้โพลีเมอร์ทั้งสองเกิดการครอสลิงค์ดีขึ้น ในการใช้ไฮโดรเจลนี้ปิดรักษาแผลจะใช้ส่วนที่สัมผัสกับแผลเป็นชั้นของไคโตซานไฮโดรเจล ผลการทดลองได้ส่วนประกอบที่เหมาะสมของไฮโดรเจลจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 ดอลตัน มีความเข้มข้นในกรดอะซิติก 1% เป็น 60% และพีวีเอไฮโดรเจลจาก 30 % (W/V) พีวีเอในน้ำ ที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ ไคโตซานและพีวีเอมีความต้านทานแรงกดของไฮโดรเจลรวมเท่ากับ 1.1 นิวตัน โดยไคโตซานมีความเป็นเจลและมีค่าการบวมในน้ำเท่ากับ 38.8% และ 260% ตามลำดับ ส่วนพีวีเอเท่ากับ 81.5% และ 2748% ตามลำดับ ผลการทดสอบการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยวัดจากจำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli, เชื้อ S.aureus และเชื้อ C.albicans ที่เจริญเติบโตในไฮโดรเจล พบว่าชั้นของไคโตซานมีความสามารถในการต้านทานเชื้อ E.coli, เชื้อ S.aureus และเชื้อ C.albicans ได้ 100 % ส่วนชั้นของพีวีเอมีความสามารถในการต้านทานเชื้อ E.coli, เชื้อ S.aureus และเชื้อ C.albicans เท่ากับ 10.61%, 42.45 % และ 100% ตามลำดับ ไฮโดรเจลที่เตรียมได้มีความนิ่ม มีความสามารถฆ่าเชื้อโรค และดูดซับของเหลวจากแผลได้ดีมาก ในการวิจัยได้ทำการศึกษาโครงสร้างของไคโตซานไฮโดรเจลโดย FT-IR และพบว่าการเกิดครอสลิงค์ในไคโตซานด้วยรังสีแกมมามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดที่หมู่อะเซตตามิเด

ภาควิชา	นิเวศวิทยเทคโนโลยี	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	นิเวศวิทยเทคโนโลยี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2547	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

4570647121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: CHITOSAN / PVA / RADIATION CROSS LINKING / WOUND DRESSING

ART SUWANWONG : PREPARATION OF HYDROGEL CONTAINING PVA AND CHITOSAN LAYERS BY GAMMA IRRADIATION FOR USING AS WOUND DRESSING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, 138 pp. ISBN 974-17-6639-4.

Preparation of hydrogel containing PVA and chitosan layers by gamma irradiation for using as wound dressing was conducted. The top part of hydrogel was chitosan which used its antimicrobial activity. The bottom part of hydrogel was PVA which showed good water absorptivity. The hydrogels were prepared by freezing and thawing technique before gamma irradiation. The results showed that a proper constituent of the top part composed of chitosan with molecular weight of 100 kDa at 60% concentration. The bottom part hydrogel composed of 30% PVA. At radiation dose of 25 kGy, gel strength of both hydrogel was 1.1 N, gel content and swelling of the hydrogels were 38.8% and 260% for chitosan and 81.5% and 2748% for PVA respectively. Antimicrobial activity of each hydrogel was analyzed quantitatively by measuring the number of colonies of E. coli, S. aureus and C. albicans. Chitosan hydrogel samples showed 100% for all and PVA hydrogel samples showed 10.61% for E. coli, 42.45% for S. aureus and 100% for C. albicans. The prepared hydrogel was soft, possessed the power to kill germ and hold up wound exudates. Elucidation of chitosan cross-linking mechanism was done by FT-IR spectrometry with varying degree of deacetylation of chitosan after gamma irradiation at same radiation dose. It was postulated that the cross-linking might be at acetamide group left overed in chitosan.

Department	Nuclear Technology	Student's signature
Field of study	Nuclear Technology	Advisor's signature
Academic year	2004	Co-advisor's signature -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้วัตถุดิบในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และรองศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบ แนะนำเพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากสำนักปรมาณูเพื่อสันติ ได้แก่ คุณมานิตย์ พิอารักษ์ คุณพ่อนิต พิแหม่ม พี่เจ พี่ตา พี่สมเกียรติ พี่ตึก พี่โต้งและพี่โอเล่ โดยเฉพาะพี่อารักษ์และพี่โต้ง หากไม่ได้พวกพี่ก็คงไม่ได้ฉายรังสีและก็ไม่มีวันนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สิริวรรณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ช่วยให้ข้อมูลและให้แนวคิด และอาจารย์ศิริรัตน์และพีธนิศ ภาควิชาจุลชีววิทยา ที่ช่วยทดสอบการเพาะเชื้อจุลินทรีย์และนับจำนวนโคโลนี

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ได้แก่ พี่อุริศ พี่บัญชา พี่บี พี่โอ พี่เต๋ย เอก พี่หนึ่ง พี่ไพ พี่เต๋ พี่นก อ้วน ยู่ย พี่เอ๊ะ แจ่ม ตึก กานต์ พี่เย็น บอล จั๊วะ ตาล ปู๊ป ออม พี่นุช พี่จอย และแทน ทุกคนเป็นคนสนุกสนานมากทำให้ผู้วิจัยมีความสุขมากที่อยู่ภาควิชานี้

ขอขอบคุณทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยสนับสนุน จนเป็นแรงผลักดันให้แก้ไขอุปสรรคผ่านพ้นไปได้

คุณค่าอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณพ่อและแม่ ผู้ให้ชีวิตให้ทุนทรัพย์ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ด้วยความอาลัยต่อพี่โต้ง ผู้ที่มีพระคุณต่ออัศวม์และได้สั่งสอนให้เป็นคนมีน้ำใจ และมีวินัยในชีวิต จนอัศวม์ทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง พี่โต้งเป็นคนเสียสละ กตัญญูต่อมารดาและมีจิตใจเข้มแข็งต่อสู้กับโรคร้ายจนวาระสุดท้าย ซึ่งอัศวม์ขอโน้มนำความเป็นคนของพี่โต้งมาปฏิบัติต่อผู้อื่นที่ต้องการความช่วยเหลือต่อไป ขอให้ดวงวิญญาณของพี่โต้งจงไปสู่สุคติและผลกุศลผลบุญที่พี่โต้งช่วยพี่ ๆ น้อง ๆ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีในการฉายรังสี จงตอบสนองพี่โต้งในภพหน้าสืบไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และไฮโดรเจล	4
2.1.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับไคตินและสมบัติของไคติน	5
2.1.1.1 แหล่งที่พบไคติน	5
2.1.1.2 กระบวนการแยกไคติน	5
2.1.1.3 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติของไคติน	6
2.1.2 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซานและสมบัติของไคโตซาน.....	8
2.1.2.1 กระบวนการเตรียมไคโตซาน	8
2.1.2.2 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติของไคโตซาน	9
2.1.3 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และลักษณะสมบัติของ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.1.3.1	14
2.1.3.2	15
2.1.4	17
2.1.4.1	17
2.1.4.2	17
2.2	18
2.2.1	19
2.2.2	22
2.2.2.1	22
2.2.2.2	23
2.2.2.3	28
2.3	31
2.3.1	32
2.3.2	33
2.3.2.1	33
2.3.2.2	33
2.4	34
2.4.1	34
2.4.2	38
2.4.3	38
2.5	45
2.5.1	45
2.5.2	49
2.5.3	50
2.5.4	50
2.5.4.1	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5.4.2	วัสดุปิดบาดแผล 51
2.5.4.3	เยื่อหุ้มไตเทียม 51
2.5.4.4	ควบคุมการปลดปล่อยยา 52
2.5.4.5	การรักษาบาดแผล 52
3.	วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย 53
3.1	การสลายน้ำหนกโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent..... 53
3.1.1	สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์..... 53
3.1.2	วิธีการดำเนินงานวิจัย 54
3.2	การฉายรังสีสารตัวอย่างโคโตซาน 58
3.2.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 58
3.2.2	วิธีดำเนินงานวิจัย 60
3.3	การทดสอบความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล 61
3.3.1	สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ 61
3.3.2	วิธีดำเนินการวิจัย 62
3.4	การทดสอบความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล 63
3.4.1	สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ 63
3.4.2	วิธีดำเนินการวิจัย 63
3.5	การทดสอบความต้านทานแรงกดของแผ่นไฮโดรเจล 64
3.5.1	สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ 64
3.5.2	วิธีดำเนินการวิจัย 65
3.6	การทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ 65
3.6.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี (AATCC 147-1998) 65
3.6.2	วิธีดำเนินการวิจัย (AATCC 147-1998) 66
3.6.3	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี (FC-TM-19) 66
3.6.2	วิธีดำเนินการวิจัย (FC-TM-19) 67

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.7 การทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของโคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)	68
3.7.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	68
3.7.2 วิธีดำเนินงานวิจัย	69
4. ผลการทดลอง	71
4.1 ผลการสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent	71
4.2 ผลการทดสอบขนาดโมเลกุล ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของโคโตซาน	72
4.3 ผลการทดสอบขนาดโมเลกุล ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซาน	74
4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของไฮโดรเจล	76
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล ...	77
4.6 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของโคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี	78
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	93
5.1 ผลการสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent ที่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุล	93
5.2 ผลของขนาดโมเลกุล ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของโคโตซาน	93
5.3 ผลของรังสีที่มีต่อความสามารถในการดูดน้ำและต้านทานแรงกดของโคโตซานไฮโดรเจล	95
5.4 ผลของเจลปิดบาดแผลที่มีต่อความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ...	96
5.5 ผลของรังสีที่ทำให้หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานไฮโดรเจลเปลี่ยนแปลงไป	96
5.6 เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจล	100
5.7 ข้อเสนอแนะ	100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง	101
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ผลการคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของโคโคซานและไบร็รอง การเปรียบเทียบมาตรฐาน	108
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความเป็นเจล	114
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบความสามารถในการดูดน้ำ	122
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด	130
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบความสามารถต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ...	132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโคโตซานที่ระดับความหนืดต่าง ๆ กัน	11
2.2 ค่าคงที่ K และ a สำหรับสมการ Mark-Houwink สำหรับโคโตซาน	41
3.1 แสดงชนิดของการสั่นและความถี่ของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของ โคโตซาน	69
4.1 เวลาที่ใช้สลายน้ำหนักรีดของโคโตซานที่อุณหภูมิห้องโดย 1% H ₂ O ₂ ที่ pH 9....	71
4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล (AATCC 147-1998).....	77
4.3 ผลเปอร์เซ็นต์ความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล (FC-TM-19)	78
5.1 แสดงผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชัน 80%DDโคโตซานไฮโดรเจล ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน.....	97
5.5 แสดงผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชันที่ %DDโคโตซานไฮโดรเจลต่าง ๆ กัน ที่ปริมาณรังสี 25 kGy	97
5.6 ผลการเทียบเปอร์เซ็นต์เจลที่ %DD ต่าง ๆ ของโคโตซานไฮโดรเจล ที่ปริมาณรังสี 25 kGy	97
ก.1 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโตซาน 85 ชั่วโมง.....	109
ก.2 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโตซาน 75 ชั่วโมง.....	109
ก.3 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโตซาน 60 ชั่วโมง.....	109
ก.4 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโตซาน 48 ชั่วโมง.....	110
ก.5 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโตซาน 36 ชั่วโมง.....	110
ก.6 แสดงผลการหาน้ำหนักรีดของโคโตซานจากสมการ ก.2.....	113
ข.1 ผลการทดลองความเป็นเจลของพีวีเอไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้น 30%.....	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.2 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	114
ข.3 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	115
ข.4 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	115
ข.5 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	116
ข.6 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	116
ข.7 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	117
ข.8 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	117
ข.9 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	118
ข.10 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	118
ข.11 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	119
ข.12 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	119
ข.13 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	120
ข.14 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.15 ผลการทดลองความเป็นเจลของไคโตซานไฮโดรเจล ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 50%	121
ข.16 ผลการทดลองความเป็นเจลของไคโตซานไฮโดรเจล ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 60%	121
ค.1 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของพีวีเอไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้น 30%....	122
ค.2 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 40%	122
ค.3 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 50%	123
ค.4 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 60%	123
ค.5 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 40%	124
ค.6 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 50%	124
ค.7 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 60%	125
ค.8 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 40%	125
ค.9 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 50%	126
ค.10 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 60%	126
ค.11 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 40%	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.12 ผลการทดลองความสามารถในการดูน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	127
ค.13 ผลการทดลองความสามารถในการดูน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	128
ค.14 ผลการทดลองความสามารถในการดูน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 40%.....	128
ค.15 ผลการทดลองความสามารถในการดูน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 50%.....	129
ค.16 ผลการทดลองความสามารถในการดูน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 60%.....	129
ง.1 ผลการทดลองความต้านทานแรงกดที่ระดับความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 40%.....	130
ง.2 ผลการทดลองความต้านทานแรงกดที่ระดับความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 50%.....	130
ง.3 ผลการทดลองความต้านทานแรงกดที่ระดับความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 60%.....	131
จ.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (AATCC 147-1998)	133
จ.2 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Staphylococcus aureus	137
จ.3 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Escherichia coli	137
จ.4 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Candida albicans	137

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	7
2.3	8
2.4	9
2.5	9
2.6	10
2.7	10
2.8	12
2.9	13
2.10	14
2.11	14
2.12	15
2.13	15
2.14	16
2.15	18
2.16	18
2.17	19
2.18	20
2.19	20
2.20	22
2.21	24
2.22	25
2.23	25
2.24	26

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แสดงผลของ XRD สเปกตรัมของโคโตซานที่ฉายรังสี	26
2.26 แสดงผลของ TGA/DTA สเปกตรัมของโคโตซานที่ฉายรังสี	27
2.27 แสดงผลการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (A) โคโตซาน (B) โคโตซานที่ฉายรังสี 75 kGy (C) CR-โคโตซานที่ฉายรังสี 75 kGy	27
2.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Viscosity average molecular weight (Mv) ของ โคโตซานกับปริมาณรังสีที่ฉาย	28
2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประมาณโพลิโคโตซานที่มีค่า DP>8 กับปริมาณรังสีที่ ฉาย	28
2.30 แสดงผลของปริมาณรังสีกับความสามารถในการละลายของโคโตซานในกรดอะซิติก และกรดออกซาลิก	29
2.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสารละลายโคโตซานเนื่องจากการฉายรังสี โคโตซานในสภาวะของแข็ง	29
2.32 แสดงผลน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ฉายรังสี	30
2.33 แสดงสัดส่วนของอัสติฐานและผลึกของโคโตซานที่ฉายรังสี	30
2.34 แสดงผล FT-IR สเปกตรัมของสารละลายโคโตซานในกรดอะซิติก 1%จากการ ฉายรังสี	31
2.35 แสดงผล XRD สเปกตรัมของสารละลายโคโตซานในกรดอะซิติก 1%จากการ ฉายรังสี	31
2.36 แสดงโครงสร้างการครอสลิงค์โคโตซานแบบต่าง ๆ (a) โคโตซานครอสลิงค์ด้วยตัวเอง (b) ครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสม (c) กิ่งครอสลิงค์ตัวเอง (d) โคโตซานครอสลิงค์ด้วยสารเคมีเพื่อเพิ่มประจุ	32
2.37 แสดงโครงสร้างระหว่างผิวของชั้นโคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล (a) วิธีการอบ (b) วิธีแช่แข็งและปล่อยให้ละลาย	34
2.38 แสดงความแตกต่างของ mono-dispersed system และ poly-dispersed system .	37
2.39 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสำหรับ hypothetical polydispersed sample ..	37
2.40 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างโพลีเมอร์ 2 ชนิด ที่มีค่า number average molecular weight (Mn) เท่ากันแต่มีการกระจายตัวต่างกัน	37

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \bar{M}_n$ กับ $\log[\eta]$	40
2.42 แสดง Ubbelohde Viscometer	41
2.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) กับค่า reduced viscosity (η_{red})	43
2.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) และค่า inherent viscosity (η_{inh})	44
2.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) กับ reduced viscosity (η_{red}) และ inherent viscosity (η_{inh})	44
2.46 แสดงความเข้มข้นโคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ น้ำหนักโมเลกุล 1,800	46
2.47 แสดงความเข้มข้นโคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ น้ำหนักโมเลกุล 100,000	46
2.48 แสดงความเข้มข้นโคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ น้ำหนักโมเลกุล 210,000	47
2.49 ผลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตของ <i>E.Coli</i> เป็นสัดส่วนของเวลาที่ใช้ในการบ่ม	48
2.50 ผลของน้ำหนักโมเลกุลที่มีต่อการออกของเมล็ดพืช	48
3.1 Cannon-Ubbelohde Viscometer	54
3.2 แสดงชุดทดลองหาน้ำหนักโมเลกุลโดย Ubbelohde viscometer	55
3.3 แสดง Ubbelohde Viscometer	56
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายโคโตซานและค่า reduced viscosity (η_{red})	57
3.5 ลักษณะของโคโตซานในสภาพของแข็ง	58
3.6 แสดง Water bath	59
3.7 แสดงเครื่องปิดผนึกสุญญากาศถุงพลาสติก	59
3.8 แสดงเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แสดงคู่มือใบอนุญาตภาค	61
3.10 ชุดอุปกรณ์สำหรับหาสัดส่วนเจล	62
3.11 แสดงเครื่อง Materials Testing Machines ของบริษัท LLOYD INSTRUMENTS Ltd., รุ่น LLOYD LRK	64
3.12 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโตซาน (A) โคติน (B) โคโตซาน	68
3.13 แสดงตัวอย่างในการหาความสูงของพีคแต่ละหมู่ฟังก์ชัน	70
4.1 แสดงระยะเวลาที่โคโตซานถูกแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สภาวะของ แข็งจนน้ำหนักโมเลกุลเข้าใกล้ 100 กิโลดอลตัน	72
4.2 แสดงความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์	73
4.3 แสดงความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์	73
4.4 แสดงความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์	74
4.5 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์	75
4.6 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์	75
4.7 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์	76
4.8 แสดงผลความต้านทานแรงกดที่ระดับความเข้มข้นและปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน	77
4.9 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGY	79
4.10 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 15 kGY	80
4.11 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGY	81
4.12 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 30 kGY	82
4.13 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 40 kGY	83
4.14 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 90 kGY	84
4.15 แสดง FT-IR spectrum ของ 65%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGY	85
4.16 แสดง FT-IR spectrum ของ 71%DD โคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGY	86

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 แสดง FT-IR spectrum ของ 75%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGY	87
4.18 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGY	88
4.19 แสดง FT-IR spectrum ของ 65%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGY	89
4.20 แสดง FT-IR spectrum ของ 71%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGY	90
4.21 แสดง FT-IR spectrum ของ 75%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGY	91
4.22 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGY	92
5.1 ผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชัน 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน	98
5.2 ผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชันที่ %DD ไคโตซานไฮโดรเจลต่าง ๆ กัน ที่ปริมาณรังสี 25 kGy	98
5.3 แสดง gel content ที่ 25 kGy ที่ %DD ต่างๆ กัน	99
ก.1 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.1	110
ก.2 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.2	111
ก.3 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.3	111
ก.4 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.4	112
ก.5 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.5	112
จ.1 แสดง Clear zone ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล	133
จ.2 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus aureus บนจานเพาะเชื้อ	134
จ.3 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ Escherichia coli บนจานเพาะเชื้อ	135
จ.4 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ Candida albicans บนจานเพาะเชื้อ	136

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

<u>คำย่อ</u>	<u>คำเต็ม</u>
C. albicans	candida albicans
CMS	carboxy methyl chitosan
CMC	carboxy methyl cellulose
CS	chitosan
Da	dalton
DD	degree of deacetylation
DP	degree of polymerization
E. coli	escherichia coli
LVN	intinsic viscosity
KC	kappa carrageenan
kGy	kilogray
MWD	molecular weight distribution
N	Newton force
M_n	number average molecular weight
PEG	poly(ethylene glycol)
PVA	poly(vinyl alcohol)
PVP	poly(vinyl pyrrolidone)
S. aureus	staphylococcus aureus
M_v	Viscosity average molecular weight
M_w	Weight average molecular weight

<u>สัญลักษณ์</u>	<u>คำเต็ม</u>
Γ	gamma function
η_{inh}	inherent viscosity
[η]	intinsic viscosity
η_{red}	reduced viscosity
η_r	relative viscosity
η_{sp}	specific viscosity

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

แผ่นยาไฮโดรเจล สำหรับรักษาบาดแผลในต่างประเทศนั้นได้มีการวิจัยและพัฒนามานานแล้ว ส่วนในประเทศไทยจะเน้นในการนำเข้าและในด้านการวิจัยยังมีน้อยมากที่ใช้ในทางการแพทย์ ส่วนมากในงานวิจัยใหม่ๆ เกี่ยวกับแผ่นยาไฮโดรเจลจะพบไคโตซานเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคโตซาน มีคุณสมบัติในการรักษาบาดแผลโดยสามารถป้องกันการติดเชื้อของแผลจากภายนอก ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและกระตุ้นให้มีการผลิตและสร้างเซลล์ผิวใหม่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเหนือกว่าพลาสติกปิดแผลทั่วไป ทั้งนี้แผ่นยาไฮโดรเจลเพื่อใช้รักษาบาดแผลมีประสิทธิภาพและสามารถใช้แทนพลาสติกได้ การครอสลิงค์ไคโตซานให้เป็นไฮโดรเจล สามารถจำแนกได้ตามโครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่ ไคโตซานครอสลิงค์ด้วยตัวเอง (Chitosan crosslinked with itself), ครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสม (Hybrid polymer network), กึ่งครอสลิงค์ตัวเอง (Semi-interpenetrating network) และไคโตซานครอสลิงค์แบบไอออนิก (Ionic crosslinking of chitosan) ซึ่งสามารถจัดการครอสลิงค์ไคโตซานได้ 2 ประเภทคือ ใช้สารเคมีและการใช้รังสีในการครอสลิงค์ [1] การใช้รังสีในการครอสลิงค์ควรเป็นสารที่ให้อนุมูลอิสระง่ายเช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ร่วมอยู่ด้วย [2] ในงานวิจัยส่วนใหญ่ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพไฮโดรเจลหรือรูปแบบของไฮโดรเจลให้มีความซับซ้อนขึ้น โดยมีไคโตซานเป็นส่วนประกอบเช่น การสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของโพลิไวนิลไพโรลิโดน โดยไฮโดรเจลสองชั้นมีโครงสร้างแบบโพลียูริเทนมีส่วนประกอบของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์/โพลิไวนิลไพโรลิโดน/กลีเซอรอล/คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน (PVA/PVP/glycerol/CMS) นำมาทำเป็นแผ่นไฮโดรเจลรักษาบาดแผลโดยใช้รังสี ขั้นตอนในการทำมีสองขั้นตอนได้แก่ การใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลายกับการฉายรังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไฮโดรเจลให้ดีขึ้น [3] การนำพวกอนุพันธ์ของเซลลูโลสมาใช้ในการทำไฮโดรเจล เช่น การครอสลิงค์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ความเข้มข้นสูงด้วยวิธีรังสี [4] โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ละลายได้ในน้ำผสมอยู่ด้วยซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อ E. coli ได้แต่ไม่ดีเท่ากับไคโตซาน [5] การสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอกซีเมทิลของแป้งสาคุ ชั้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ชั้นของโพลิไวนิลไพโรลิโดนและชั้นของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานโดยใช้รังสี [6] การรายงานผลการวิจัยครั้งนี้เป็นผล

การเตรียมไฮโดรเจล 2 ชั้น จากการครอสลิงค์ไคโตซานที่ปรับลดขนาดของโมเลกุลลงแล้วและโพลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยรังสีแกมมา

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 หาเงื่อนไขการเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เป็นเจลปิดรักษาบาดแผล

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 หาเปอร์เซ็นต์เจลของไคโตซานไฮโดรเจลโดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของไคโตซานต่างๆ กันตั้งแต่ 40 - 60 %

1.3.2 หาเงื่อนไขการเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของไคโตซานไฮโดรเจลและโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลที่สามารถใช้เป็นเจลปิดรักษาแผลได้

1.3.3 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของเจลปิดรักษาแผล ได้แก่ ความต้านทานแรงกด (Gel strength) ความสามารถในการดูดน้ำที่เปอร์เซ็นต์เจลต่าง ๆ เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฮโดรเจลโดยใช้รังสี

1.4.2 ศึกษาการเชื่อมโยงของไคโตซานไฮโดรเจลที่ความเข้มข้นของไคโตซานต่างๆ โดยใช้รังสีแกมมาปริมาณต่างๆ

1.4.3 เมื่อได้เงื่อนไขการเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของไคโตซานเพื่อนำไปผลิตเจลปิดรักษาบาดแผล

1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของเจลปิดรักษาบาดแผล ได้แก่ ความต้านทานแรงกด (Gel strength) ความสามารถในการดูดน้ำที่เปอร์เซ็นต์เจลต่าง ๆ เป็นต้น

1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

ได้เงื่อนไขการเตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เป็นเจลปิดรักษาบาดแผลซึ่งเป็นการส่งเสริมสนับสนุนการใช้วัสดุดีที่มีในประเทศ

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 J. Berger, M. Reist, J. M. Mayer, O. Felt, N. A. Peppas และ R. Gurny [1] ได้ศึกษาการครอสลิงค์ไคโตซานให้เป็นไฮโดรเจล โดยจำแนกได้ตามโครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่ ไคโตซานครอสลิงค์ด้วยตัวเอง (Chitosan crosslinked with itself) , ครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสม (Hybrid polymer network), กึ่งครอสลิงค์ตัวเอง (Semi-interpenetrating network) และไคโตซานครอสลิงค์แบบไอออนิก (Ionic crosslinking of chitosan) ซึ่งสามารถจัดการครอสลิงค์ไคโตซานได้ 2 ประเภทคือ ใช้สารเคมีและการใช้รังสีในการครอสลิงค์

1.6.2 S. P. RAMNANI, C. V. CHAUDHARI, N. D. PATIL และ S. SABHARWAL [2] ได้ศึกษาการใช้รังสีในการครอสลิงค์ซึ่งใช้สารที่ให้อนุมูลอิสระง่ายเช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ร่วมอยู่ด้วยในสารละลายไคโตซาน จากการฉายรังสีพบว่าเกิดการครอสลิงค์โดยมีอะตอมของคลอรีนร่วมอยู่ในร่างแหไคโตซาน

1.6.3 Kyoung Ran Park และ Young Chang Nho [3] ได้ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพไฮโดรเจลหรือรูปแบบของไฮโดรเจลให้มีความซับซ้อนขึ้น โดยมีไคโตซานเป็นส่วนประกอบเช่น การสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของโพลีไวนิลไพโรลิโดน โดยไฮโดรเจลสองชั้นมีโครงสร้างแบบโพลียูรีเทนมีส่วนประกอบของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์/โพลีไวนิลไพโรลิโดน/กลีเซอรอล/คาร์บอกซิลเมทิลไคโตซาน (PVA/PVP/glycerol/CMS) นำมาทำเป็นแผ่นไฮโดรเจลรักษาบาดแผลโดยใช้รังสี ขั้นตอนในการทำมีสองขั้นตอนได้แก่ การใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลาย กับการฉายรังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไฮโดรเจลให้ดีขึ้น

1.6.4 Radolaw A. Wach, H.Mitomo, F. Yoshii และ T. Kume [4] ได้ศึกษาการครอสลิงค์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูงด้วยวิธีรังสี พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูงครอสลิงค์ได้ดี

1.6.5 Chyagrit Siri-Upathum และ Manit Sonsuk [5] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่ละลายได้ในน้ำผสมอยู่ด้วย ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อ E. coli ได้แต่ไม่ดีเท่ากับไคโตซาน

1.6.6 K. Z. Dahlan [6] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอกซีเมทิลของแป้งสาคุ ชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ชั้นของโพลีไวนิลไพโรลิโดนและชั้นของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานโดยใช้รังสี

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และไฮโดรเจล

ไคติน-ไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพ ที่ได้มาจากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมส่งออกกุ้งแช่แข็งของไทย ไคติน-ไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ซึ่งเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งเนื่องจากลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ที่ทำให้ไคติน-ไคโตซานสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายหลายด้าน ไคตินเริ่มมีการค้นพบจากงานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ 1799 ซึ่งเป็นงานวิจัยของนักวิจัยชาวอังกฤษ [7] แต่ยังไม่ได้ค้นพบอย่างชัดเจน การทำวิจัยมีเรื่อยมาจนถึงปี ค.ศ.1823 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ A.Odier สามารถแยกไคตินได้เป็นครั้งแรก ปี ค.ศ. 1859 C.Rouget นักวิจัยชาวอังกฤษ สามารถสกัดไคโตซานได้โดยให้ชื่อว่า "modified chitin" ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1894 F.Hoppe-Seyler ได้ตั้งชื่อใหม่เป็น "ไคโตซาน"

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เกิดจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของโพลีไวนิลอะซิเตต ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้อาจเป็นเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้จะตะไลส์โดยกรดแก่หรือเบสแก่ก็ได้ การใช้งานของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์แบ่งกว้างๆ ได้เป็นสองลักษณะ ลักษณะแรกอาศัยสมบัติการละลายได้ในน้ำของโพลิเมอร์นี้ ลักษณะที่สองอาศัยความไม่สามารถละลายในน้ำของโพลิเมอร์ [8]

ไฮโดรเจลคือ โพลิเมอร์ที่ครอสลิงค์ในตัวกลางที่เป็นน้ำและมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดีมีลักษณะคล้ายกับเยลลี่ ไฮโดรเจลชอบน้ำเพราะมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และคาร์บอกซิล (COOH) และโครงสร้างที่มีการครอสลิงค์เป็นตาข่ายจึงช่วยในการจับน้ำและดูดซึมน้ำเก็บเอาไว้ การสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยใช้วิธีการทางรังสีนั้น ต้องทำให้โพลิเมอร์อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง การใช้รังสีเป็นตัวทำให้เกิดการครอสลิงค์ระหว่างโมเลกุลเรียกว่า "cross linkage reaction" ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้โพลิเมอร์เกิดการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในโครงสร้างร่างแหสามมิติในตัวกลางที่เป็นน้ำ การเกิดไฮโดรเจลทำให้การละลายน้ำลดลงและจุดหลอมเหลวสูงขึ้น

2.1.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับไคตินและสมบัติของไคติน

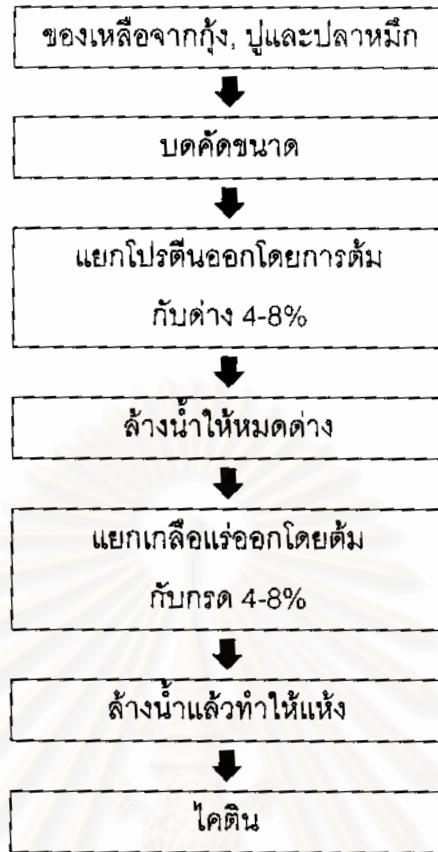
2.1.1.1 แหล่งที่พบไคติน

ไคตินเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่เป็นโพลีแซคคาไรด์พบอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ โดยจะพบไคตินอยู่ร่วมกับโปรตีน (mucopolysaccharide) ไคตินจัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากเป็นอันดับสองของโลก [9] รองจากเซลลูโลส ในปี ค.ศ. 1969 Rudall รายงานว่าพบไคตินที่ผนังเซลล์ของพืช โดยอยู่แทนที่เซลลูโลสหรืออยู่ร่วมกับเซลลูโลสและพบมากในเปลือกของสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (marine invertebrates) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ซึ่งจะพบไคตินมากบริเวณโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton) ของสัตว์ในไฟลัม Arthropoda ซึ่งพบถึงร้อยละ 85 โดยเฉพาะใน Class Crustacean เช่น กุ้ง กั้ง และ ปู ตลอดจนใน Class Insecta ได้แก่ มด ผึ้ง แมลงสาบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบใน เห็ด ราและยีสต์ อีกด้วย ไคตินที่พบในแหล่งต่าง ๆ ข้างต้นจะพบในปริมาณที่ต่างกัน [9]

แหล่งสำคัญของไคตินที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมคือ เปลือกกุ้งและปูเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล โดยพบว่าจะมีไคตินในปริมาณร้อยละ 10-15 [10] เมื่อคิดเป็นปริมาณต่อปีของสิ่งเหลือทิ้งจากการผลิตและแปรรูปกุ้งและปูทั้งโลกจะให้ไคตินถึง 150 ล้านกิโลกรัม [9]

2.1.1.2 กระบวนการแยกไคติน

การสกัดไคตินโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (deminceralization) และขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (deproteinization) ทั้งสองขั้นตอนทำอย่างไรก่อนก็ได้ แสดงในรูปที่ 2.1 โดยในขั้นตอนการสกัดแร่ธาตุจะเป็นการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง อาจมีความเข้มข้นถึงร้อยละ 10 เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมคลอไรด์ ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [11] คุณภาพของไคตินจะมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน ซึ่ง Bough และคณะ [12] รายงานว่าสมบัติของไคตินที่ถูกกำจัดหมู่ Acetyl ได้แก่ ขนาดอนุภาคของไคติน (Particle size) และความหนาแน่น (density) ของไคติน โดยทั่วไปสมบัติและคุณภาพของไคตินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 อย่างคือ แหล่งของไคตินหรือวัตถุดิบที่นำมาแยกไคตินและกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกไคติน



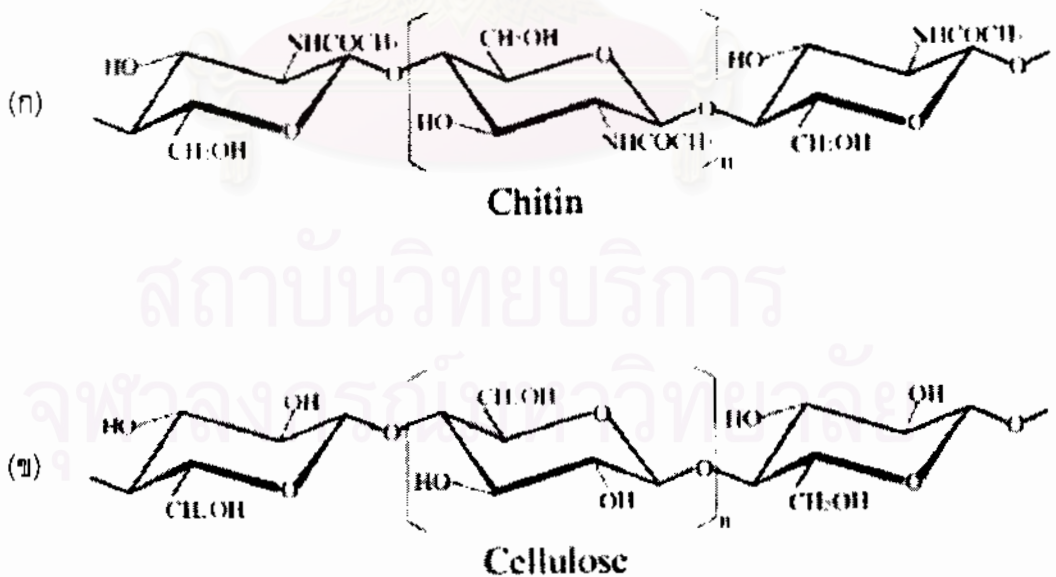
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการแยกไคติน

2.1.1.3 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติของไคติน

ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- β -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose มีสูตรโครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 2.2 [13] ไคตินมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลสแต่ต่างกันในคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวนน้ำตาลของเซลลูโลสเป็นหมู่ hydroxyl (-OH) ในขณะที่ไคตินเป็นหมู่ acetamide (-NHCOCH₃) ไคตินจึงเป็นโพลิเมอร์ของ N-acetylglucosamines นับพันหน่วย [14] เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1,4) อย่างไรก็ตาม ไคตินในธรรมชาติจะมีบางหน่วยที่ไม่มีหมู่ acetyl (-COCH₃) ซึ่ง Muzzarelli [15] รายงานว่าโดยเฉลี่ยมีประมาณร้อยละ 10 ในสายโพลิเมอร์

สูตรอย่างง่ายของไคตินคือ (C₈H₁₃O₅N)_n โดยที่ n มักจะมีค่าอยู่ในช่วง 100-10,000 [10] ไคตินประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 [16] องค์ประกอบของไนโตรเจนในไคตินสามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วง 5-8 เปอร์เซ็นต์ [17] ไคตินจากเปลือกกุ้งมีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวแข็งและไม่ยืดหยุ่น

ไคตินเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ที่สูงมาก [18] จึงไม่สามารถละลายน้ำ ไม่ว่าจะเป็กรตเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ ทั้งนี้ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) แต่สามารถละลายได้ในกรตแก่เช่น กรตไฮโดรคลอริก กรตซัลฟูริก กรตฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 85 กรตไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 และกรตฟอสฟอริกปราศจากน้ำ [16, 18] และสารละลายฟลูออโรแอลกอฮอล์ [9, 19] ซึ่ง Knorr [9] Austin และคณะ [19] รายงานว่าตัวทำละลายเหล่านี้มีผลทำให้โมเลกุลของไคตินเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย (degradation) ได้รวมทั้งการนำตัวทำละลายเหล่านี้ไปใช้งานก็ค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งต่อมา Austin [10, 19] ได้ค้นพบตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับไคตินคือ N,N-dimethylacetamide และ N-methylpyrrolidone หรือของผสมของตัวทำละลายทั้งสองที่กล่าวมาพร้อมกับ Lithium Chloride (LiCl) ปริมาณเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรทำให้สามารถนำไคตินไป extrude ในแอลกอฮอล์หรืออะซิโตนได้เป็นเส้นใยที่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าตัวทำละลายดังกล่าวสามารถปรับสภาพของไคตินที่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) ไปแล้วให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ โดยมีการทดลองวัดค่า specific rotation ของไคตินก่อนและหลังละลายใน N,N-dimethylacetamide และ LiCl แล้วพบว่าสามารถเปลี่ยนค่า specific rotation ของไคตินให้กลับสู่ค่าเดิมได้

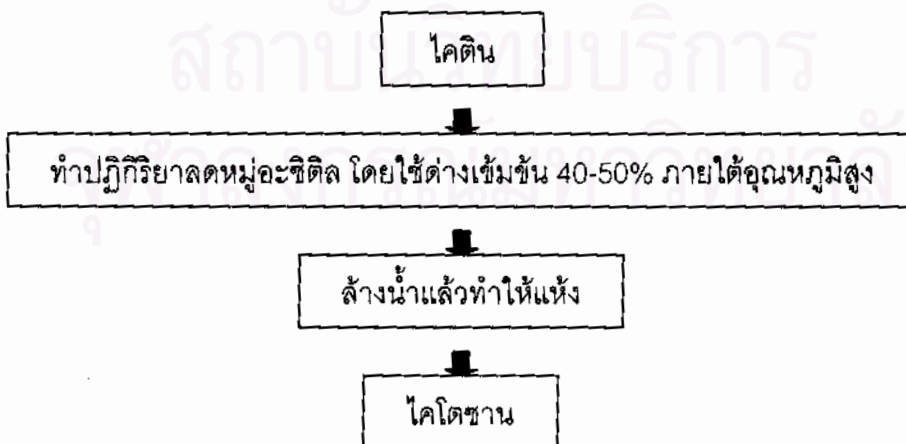


รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ (ก) ไคติน (ข) เซลลูโลส [2]

2.1.2 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซานและสมบัติของไคโตซาน

2.1.2.1 กระบวนการเตรียมไคโตซาน

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เตรียมได้จากการตัดแปรรูปไคตินด้วยวิธีการขจัดหมู่อะซิติก ($-\text{CO}-\text{CH}_3$) หรือกระบวนการดีอะเซทิลเลชัน (Deacetylation) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของพิวราโนสในไคตินเหลือเป็นหมู่เอมิโนอิสระ ($-\text{NH}_2$) สารละลายต่างร้อนภายใต้สภาวะที่กำหนดทำให้ไคตินเกิดการขจัดหมู่อะซิติก (Degree of Deacetylation, DD) เท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ไคโตซานว่า "Deacetylated Chitin" โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์คือการขจัดหมู่อะซิติกจะไม่เกิดขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ (Fully deacetylated chitosan) [15, 17] โดยทั่วไปถ้าหมู่อะซิติกถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 ไคตินจะถูกเรียกว่าไคโตซาน [15] ซึ่ง Shahidi และ Synowiecki [20] พบว่าร้อยละของผลผลิตไคโตซานที่เตรียมได้จากไคตินจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 72.25 ถึง 77.00 การเตรียมไคโตซานมีหลายวิธีด้วยกันซึ่งจะทำให้ได้ค่าร้อยละการขจัดหมู่อะซิติกต่าง ๆ กันขึ้นกับชนิดของสารละลายต่างที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายต่าง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ โดยทั่วไปสารละลายต่างที่นิยมใช้ในการขจัดหมู่อะซิติกคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [21] และสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ [22] ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 40-60 โดยน้ำหนัก สำหรับผลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณหมู่เอมิโนอิสระของไคโตซานพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขจัดหมู่อะซิติกคือ ช่วง 90-110 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเมื่อเวลาในการขจัดหมู่อะซิติกมากขึ้นส่งผลให้หมู่เอมิโนเพิ่มขึ้นภายหลัง 5 ชั่วโมง [23] ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการผลิตไคโตซาน แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการผลิตไคโตซาน

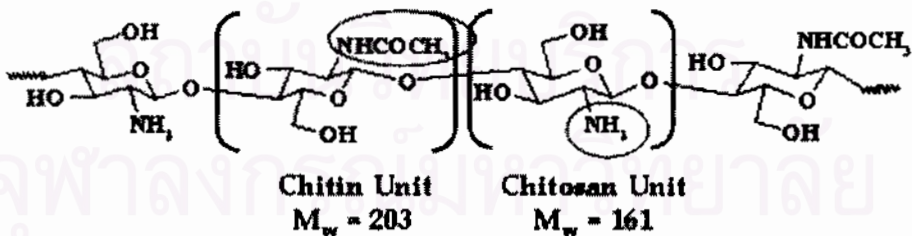
2.1.2.2 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า Poly- β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งมีลักษณะเป็น Linear Polyamine โดยจะเห็นว่าไคโตซานต่างจากไคตินคือ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของพิราโนสไคโตซานเป็นหมู่ amino ($-NH_2$) แต่ไคตินเป็นหมู่ acetamide ($-NHCOCH_3$) [20] และสูตรอย่างง่ายของไคโตซานคือ $(C_6H_{11}O_4N)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 44.7 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.8 และไนโตรเจนร้อยละ 8.7 [24] ไคโตซานมีหมู่ amino ($-NH_2$) ตรงบริเวณที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ที่ไวต่อปฏิกิริยา ไคโตซานมีสมบัติที่แตกต่างจาก โพลีแซคคาไรด์ หรือสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอื่นๆ คือ ไคโตซานมีสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดเจือจางเช่น กรดอะซิติก (acetic) และกรดฟอร์มิก (formic) เป็นต้น [17]



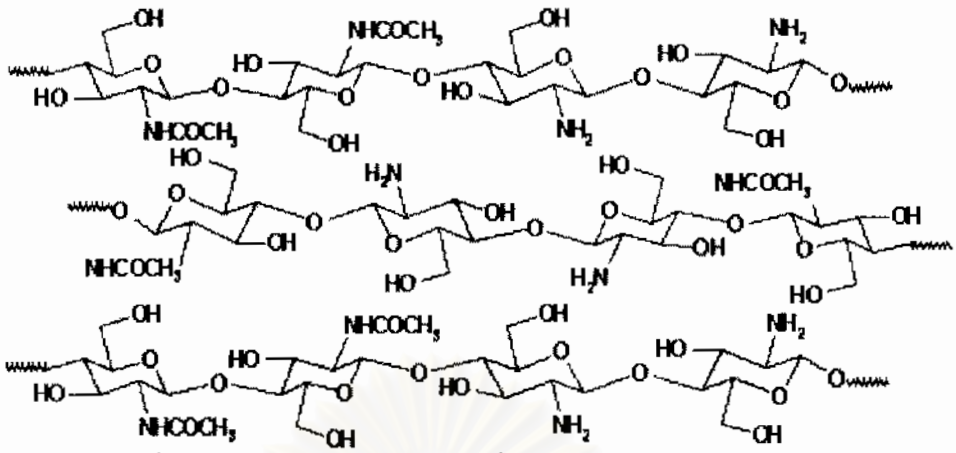
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [2]

ไคติน-ไคโตซานเป็นโคโพลิแซคคาไรด์ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 1 หน่วยของไคตินเท่ากับ 203 และน้ำหนักโมเลกุล 1 หน่วยของไคโตซานเท่ากับ 161 แสดงดังรูปที่ 2.5



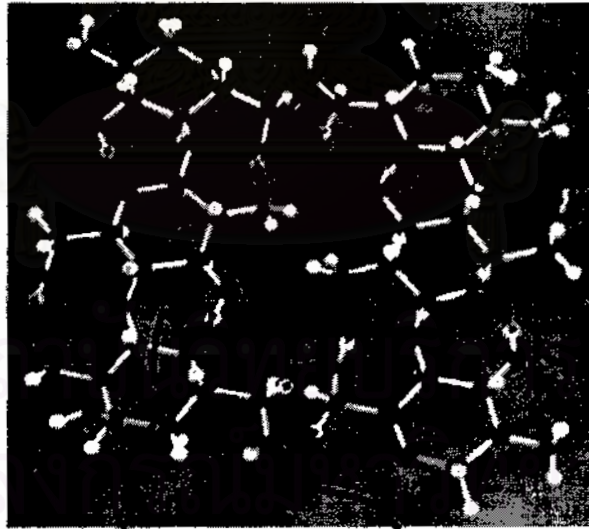
รูปที่ 2.5 แสดงน้ำหนักโมเลกุล 1 หน่วย ของไคติน-ไคโตซาน [25]

และจากรูป 2.5 เมื่อนำไคติน-ไคโตซาน มาอธิบายจะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไคติน-ไคโตซานมาต่อกันจะได้โครงสร้างที่แน่นแต่มีช่องว่างมากดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงช่องว่างโครงสร้างที่แน่นของไคติน-ไคโตซาน [25]

ข้อจำกัดหลายอย่างของไคติน-ไคโตซานเกิดมาจากโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลที่มาก โดยน้ำหนักโมเลกุลไคติน-ไคโตซานยิ่งมากจะส่งผลต่อความเป็นผลึกสูงซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตำแหน่งไฮโดรเจนบอนด์ภายนอกและภายในโมเลกุล โมเดลโครงสร้างโมเลกุลไคติน-ไคโตซานแสดงดังรูปที่ 2.7 จากข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลให้สภาพในการละลายของไคติน-ไคโตซานค่อนข้างต่ำและเกิดปฏิกิริยาไม่ดี จนท้ายที่สุดทำให้เกิดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางเคมี



**Intramolecular
H-Bond**

**Intermolecular
H-Bond**

รูปที่ 2.7 แสดงโมเดลโครงสร้างโมเลกุลไคติน-ไคโตซาน [25]

สำหรับกรดไฮโดรคลอริกสามารถละลายไคโตซานได้เมื่อมีการให้ความร้อนและการกวน [18] สารละลายกรดอ่อนชนิดอื่น ๆ ที่ไคโตซานสามารถละลายได้มีดังนี้ กรดโพรพิโอนิก (propionic)

กรดมาโลนิค (malonic) กรดซัคซินิก (succinic) กรดอะดิพิค (adipic) กรดแลคติก (lactic) กรดไพรูวิก (pyruvic) กรดมาลิก (malic) กรดทาร์ทริก (tartaric) และกรดซิตริก (citric) [26] ซึ่ง Knorr [9] รายงานว่าตัวทำละลายที่ดีของโคโตซาน คือ สารละลายกรดฟอร์มิกความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2-100 โดยปริมาตร นอกจากนี้โคโตซานยังสามารถละลายได้ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง สารละลายกรดไนตริกเจือจางและละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร โคโตซานไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเช่น dimethylformamide และ dimethyl sulfoxide รวมทั้งสารละลายกรดซัลฟูริกไม่ว่าที่ความเข้มข้นใดที่อุณหภูมิห้อง [9] และไม่ละลายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) สูงกว่า 6.5 [27] เมื่อละลายโคโตซานในสารละลายกรดอ่อนจะทำให้ได้สารละลายโคโตซานความหนืดต่าง ๆ กันขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล ซึ่ง Filar and Wirick [26] แบ่งความหนืด (viscosity) ของสารละลายโคโตซานไว้ 3 ระดับ คือ

ความหนืดสูงมีค่าความหนืดมากกว่าหรือเท่ากับ 1000 เซนติพอยส์ วัดจากสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1

ความหนืดปานกลางมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 100-250 เซนติพอยส์ วัดจากสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1

ความหนืดต่ำมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 25-70 เซนติพอยส์ วัดจากสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2

ตัวอย่างของโคโตซานที่มีค่าความหนืดต่างกันจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน แสดงในตารางที่ 2.1

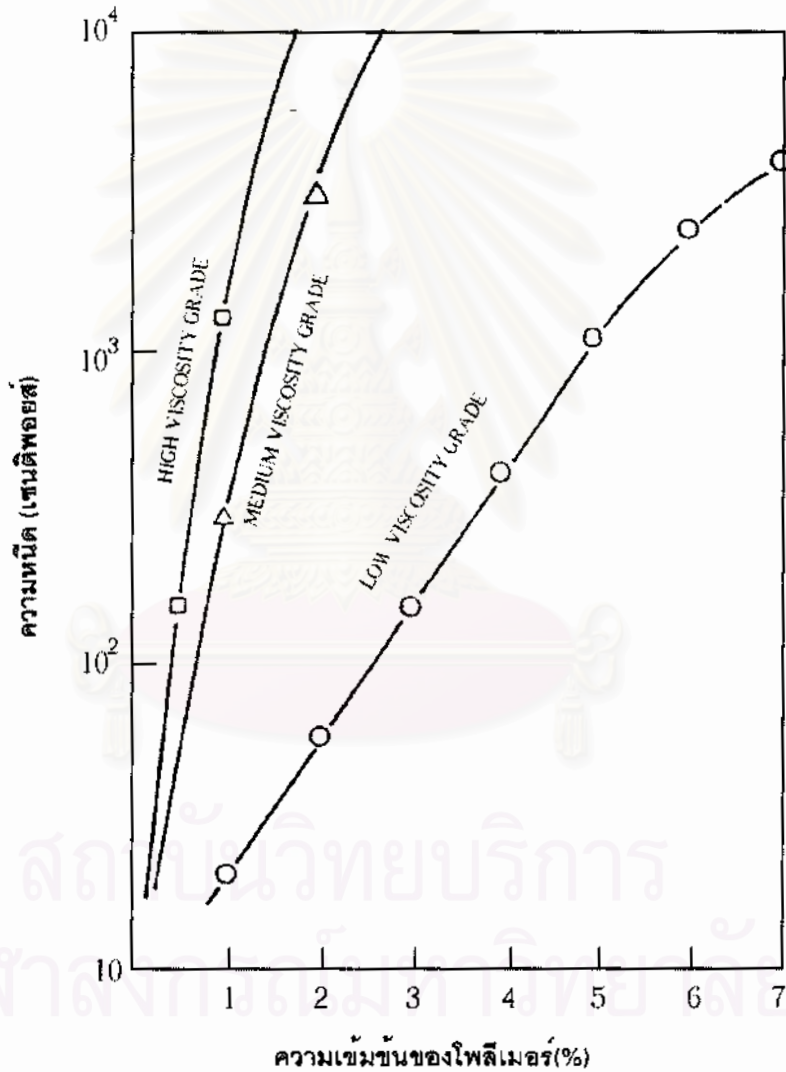
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโคโตซานที่ระดับความหนืดต่าง ๆ [26]

องค์ประกอบทางเคมี	ชนิดของโคโตซาน		
	ความหนืดสูง	ปานกลาง	ความหนืดต่ำ
ปริมาณความชื้น (%)	9.8	2.3	8.1
ปริมาณไนโตรเจน (%)	8.17	7.79	8.41
ปริมาณกำมะถัน (%)	1.9	0.81	1.2
ปริมาณหมู่อะมิโน (%)	7.34	7.76	8.13
ปริมาณหมู่อะซิดิล (%)	4.66	-	3.89
ร้อยละการจับหมู่อะซิดิล (%)	79.5	82.5	86.0
ความหนืด (เซนติพอยส์)	2780 ^a	180 ^a	50 ^b

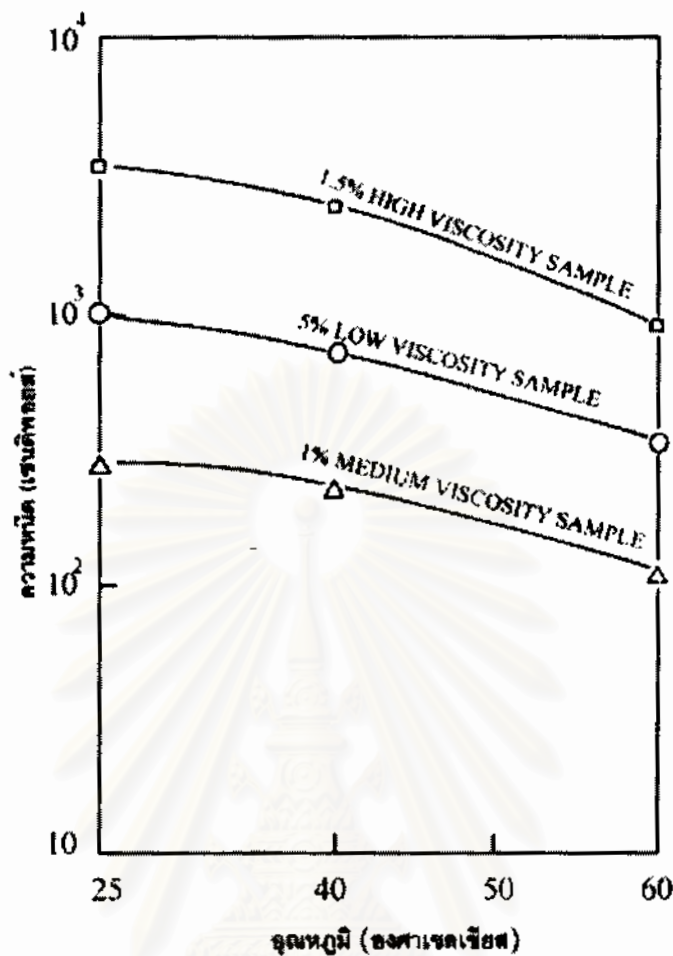
^a 1% โคโตซานในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1

^b 2% โคโตซานในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2

ค่าความหนืดของโคโคซานทั้ง 3 ชนิด เป็นค่าที่ขึ้นกับความเข้มข้นของโพลิเมอร์ และอุณหภูมิ ซึ่ง Filar and Wirick [26] เสนอผลของความเข้มข้นของโพลิเมอร์และอุณหภูมิต่อค่าความหนืด แสดงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความหนืดของสารละลายโคโคซานจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นและความหนืดของสารละลายโคโคซานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในโคโคซานทั้ง 3 ชนิด ค่าความหนืดสามารถปรับให้เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ โดยการควบคุมตัวแปรเพื่อใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของค่าความหนืดจะอยู่ในช่วง 10-5,000 เซนติพอยส์ [28]



รูปที่ 2.8 ผลของความเข้มข้นของโพลิเมอร์ต่อค่าความหนืดของสารละลายโคโคซาน 3 ชนิด ที่มีพีเอชเท่ากับ 4 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [26]



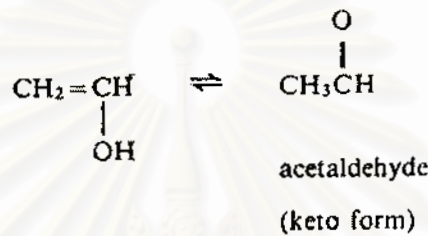
รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของสารละลายไคโตซาน 3 ชนิด ที่มีพีเอชเท่ากับ 4 และละลายในกรดอะซิติก [26]

สำหรับคุณสมบัติความเป็นประจุบวกของไคโตซานซึ่งมีคุณสมบัติความเป็นประจุบวกโดยธรรมชาติในสารละลายกรดแตกต่างกันกับโพลีเมอร์อื่น ๆ ซึ่งโดยปกติจะมีสภาพเป็นกลางหรือมีประจุเป็นลบ ไคโตซานสามารถนำไปใช้สำหรับงานด้านการบำบัดน้ำเสียได้จากประจุบวกของไคโตซานมีปฏิสัมพันธ์กับของแข็งอินทรีย์และผิวของของแข็งซึ่งปกติเป็นประจุลบ ความเป็นประจุบวกยังช่วยในการควบคุมความสามารถในการละลาย การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะพิจารณาจากตัวแปรหลักในเรื่องการละลายน้ำ การควบคุมความสามารถของการละลายจึงมีความสำคัญในอันดับแรกในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของ heteroglucans ได้รับอิทธิพลจากประจุและขนาดของโมโนเมอร์ การกระจายของโมโนเมอร์ในสายโซ่ ความยืดหยุ่นของสายโซ่ ความเป็นกึ่งก้านสาขาของสายโซ่ ความหนาแน่นของประจุและน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

2.1.3 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และลักษณะสมบัติของโพลิไวนิล-แอลกอฮอล์ [8]

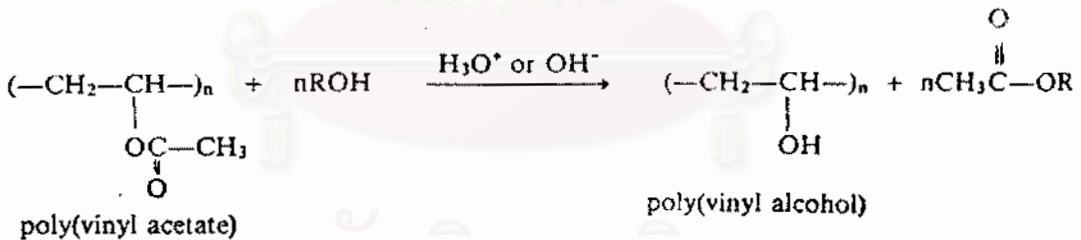
2.1.3.1 กระบวนการเตรียมโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวอย่างหนึ่งของโพลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาของโพลิเมอร์เพราะไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถสกัดออกมาจากปฏิกิริยาได้ เมื่อเกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นคีโต เทาโทเมอร์ (keto tautomer) ที่เสถียรกว่า ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดคีโต เทาโทเมอร์ [8]

ดังนั้นโพลิเมอร์นี้จึงเตรียมจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของโพลิไวนิลอะซิเตต แสดงดังรูปที่ 2.11

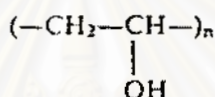


รูปที่ 2.11 แสดงปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของโพลิไวนิลอะซิเตต [8]

ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้ อาจเป็นเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้อาจจะตะลึงโดยกรดแก่หรือเบสแก่ก็ได้ แต่คะตะลิซิสโดยเบสแก่เกิดขึ้นโดยรวดเร็วกว่า ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปการเตรียมทำโดยละลายโพลิไวนิลอะซิเตตในแอลกอฮอล์แล้วเติมตัวเร่ง (กรดแก่หรือเบสแก่) และให้ความร้อนโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย

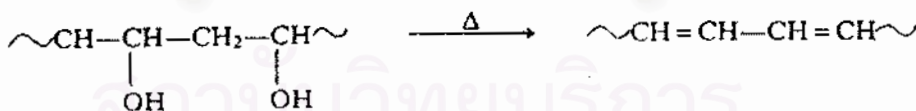
2.1.3.2 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ [8]

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 และมีสมบัติทางกายภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของแอลกอฮอล์ลิซีส โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ $-OH$ 100% มีแรงเทนไซล์สูงกว่าและสามารถทนทานต่อการฉีกขาดได้ดีกว่าโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ $-OH$ ไม่ถึง 100% เพราะโพลิเมอร์ที่มีหมู่ $-OH$ 100% มีความเป็นผลึกสูงกว่าและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมากกว่า นอกจากนี้แล้วสมบัติทางกายภาพยังขึ้นกับความชื้นของสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับโพลิเมอร์นี้เช่น เมื่ออากาศมีความชื้น 50% แรงเทนไซล์ของโพลิเมอร์นี้จะลดลงแต่ความสามารถในการยึดตัวออกจะเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับโพลิเมอร์ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ [8]

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสลายตัวลงก่อนอุณหภูมิหลอมตัว เมื่อให้ความร้อนกับโพลิเมอร์นี้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C จะเริ่มสูญเสีย $-H$ และ $-OH$ จากหมู่ $-CH_2$ และ $-CH$ ที่อยู่เคียงข้างกันในโมเลกุลก่อให้เกิดความไม่อิ่มตัวขึ้น ถ้ามีพันธะคู่เกิดขึ้นมากโพลิไวนิลแอลกอฮอล์จะเกิดมีสีขึ้นได้ดังรูปที่ 2.13

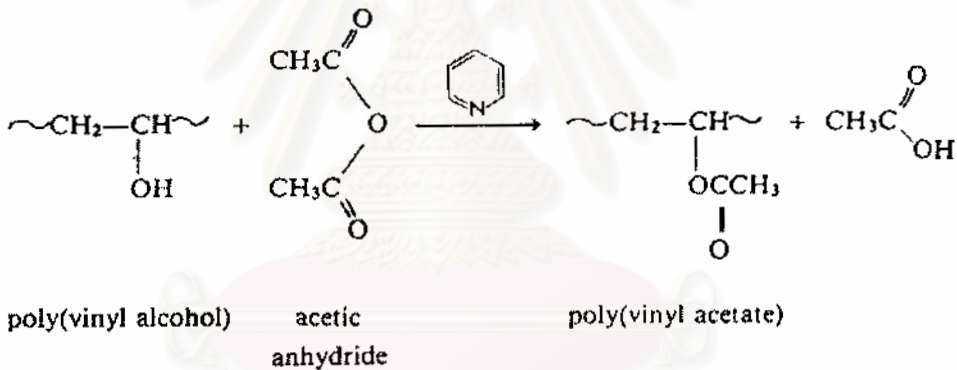


รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดความไม่อิ่มตัวขึ้นในโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ [8]

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ โพลิเมอร์นี้สามารถละลายน้ำได้โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็นแต่จะละลายเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C ความสามารถในการละลายน้ำของแอลกอฮอล์ก็ขึ้นกับปริมาณของหมู่ $-OH$ ในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่จะสามารถละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ $-OH$ 88% ในโมเลกุลแต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ $-OH$ สูงกว่านี้ความสามารถในการละลายกับลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถต้านทานตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปเป็นอย่างดี และความสามารถในการต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามองศาของหมู่ -OH ในโมเลกุลของโพลิเมอร์ โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณของหมู่ -OH สูงไม่ละลายในอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน คลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนมาก (R-OH ซึ่ง R เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ยาว) เอสเตอร์ อีเทอร์และคีโตนทั่วไป อย่างไรก็ตามโพลิเมอร์นี้สามารถละลายในตัวทำละลายที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของโพลิเมอร์นี้ได้เช่น เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) และกลีเซอรอล (glycerol) และจำพวกอะไมด์เช่นฟอร์มามาไมด์ (formamide) อะเซตตามาไมด์ (acetamide) สารจำพวกเอมีนก็สามารถละลายโพลิเมอร์นี้เช่นกัน

หมู่ -OH ในโพลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนเป็นหมู่อะซิเตตได้โดยให้ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ในพีริดีน (pyridine) และให้ความร้อน แต่โพลิไวนิลอะซิเตตที่ได้อาจมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างออกไปจากโพลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ [8]

การใช้งานของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์แบ่งกว้างๆ ได้เป็นสองลักษณะ ลักษณะแรกอาศัยสมบัติการละลายได้ในน้ำของโพลิเมอร์นี้เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชันและแขวนลอยต่างๆ ขึ้นชั้น (เรียกว่าใช้เป็น thickening agent) และใช้เป็น adhesives ลักษณะที่สองอาศัยความไม่สามารถละลายในน้ำของอนุพันธ์โพลิเมอร์นี้หลังจากเปลี่ยนโพลิเมอร์นี้ไปเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้โดยปฏิกิริยาทางเคมี

2.1.4 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับไฮโดรเจลและลักษณะสมบัติของไฮโดรเจล

2.1.4.1 กระบวนการเตรียมไฮโดรเจล [29]

โพลิเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ให้เกิดไฮโดรเจลต้องละลายได้ในน้ำเช่น poly(vinyl alcohol) [PVA], poly(vinyl pyrrolidone) [PVP], poly(ethylene oxide) [PEO], polyacrylamide [PAAM], poly(acrylic acid) [PAA] และ poly(vinyl methyl ether) [PVME] ซึ่งคุณสมบัติในการเลือกนำมาสังเคราะห์ เช่น ต้องมี PH ที่เหมาะสม , ionic strength ของ PAA และอุณหภูมิของ PVME เป็นต้น การฉายรังสีในการทำให้เกิดไฮโดรเจลต้องฉายในโพลิเมอร์ที่อยู่ในสภาพสารละลายเนื้อเดียวกันและไม่ให้มีออกซิเจนซึ่งถ้ามีจะเกิดปฏิกิริยาเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (Rosiak et al., 1995b) ซึ่งขัดขวางในการครอสลิงค์

2.1.4.2 คุณสมบัติของไฮโดรเจล

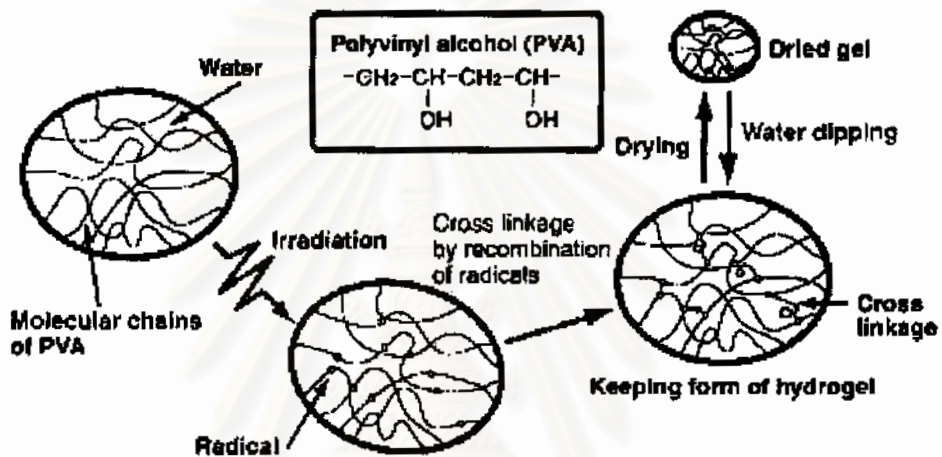
ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดไฮโดรเจลมี 2 อย่างขึ้นไปคือ มีโครงสร้างของไฮโดรเจลที่มีการครอสลิงค์แบบสามมิติและมีส่วนของน้ำซึ่งจะเข้าไปอยู่ระหว่างในช่องว่างของโพลิเมอร์โมเลกุลแน่นจึงทำให้เกิดไฮโดรเจล คุณสมบัติของโพลิเมอร์ที่นำมาใช้ควรเป็นโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน เพราะโครงสร้างอสัณฐานมีช่องว่างในโครงสร้างมากจึงทำให้น้ำเข้าไปแทรกได้ดีซึ่งจะทำให้โพลิเมอร์นั้นเกิดการบวมและขยายตัวมาเป็นเจลเป็ยกซึ่งสัดส่วนของน้ำจะมากกว่าโพลิเมอร์ ไฮโดรเจลโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยประเภทแรกเป็นไฮโดรเจลที่ได้จากกระบวนการทางฟิสิกส์หรือเรียกว่า "เจลเทียม" ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะ โดยพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลจะเข้ามาจับกับอีกโมเลกุลหนึ่ง เจลที่ได้นี้มักมีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนประเภทที่สองได้จากกระบวนการทางเคมีซึ่งมักจะใส่สารที่ทำให้เกิดการครอสลิงค์ลงไป [29]

ไฮโดรเจลคือ โพลิเมอร์ที่ครอสลิงค์ในตัวกลางที่เป็นน้ำและมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดีมีลักษณะคล้ายกับเยลลี่ ไฮโดรเจลชอบน้ำเพราะมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และคาร์บอกซิล (COOH) และโครงสร้างที่มีการครอสลิงค์เป็นตาข่ายจึงช่วยในการจับน้ำและดูดซึมน้ำเก็บเอาไว้ การสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยใช้วิธีการทางรังสีนั้น ต้องทำให้โพลิเมอร์อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง โพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์, โพลีเอทิลีนออกไซด์และโพลีไวนิลไพโรลิโดน เป็นต้น การใช้รังสีเป็นตัวให้เกิดการครอสลิงค์ระหว่างโมเลกุลเรียกว่า "cross linkage reaction" ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้โพลิเมอร์เกิดการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในโครงสร้างร่างแหสามมิติ

ในตัวอย่างที่เป็นน้ำ การเกิดไฮโดรเจลทำให้ความสามารถในการละลายลดลงและจุดหลอมเหลวสูงขึ้น

ยกตัวอย่าง การใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลทำโดยขั้นแรกเตรียมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ในรูปสารละลายความเข้มข้นสูง จากนั้นนำสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมไปฉายรังสีเพื่อให้รังสีช่วยเหนียวน้ำให้เกิดการครอสลิงค์ระหว่างสายโซ่ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ดังรูปที่ 2.15

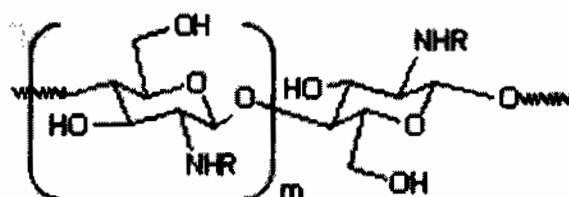
Concept of PVA Hydrogel



รูปที่ 2.15 แสดงการเกิดไฮโดรเจลของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

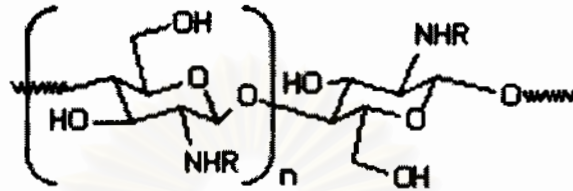
2.2 การย่อยสลายไคติน-ไคโตซาน

ไคติน-ไคโตซานเป็นโคโพลิแซคคาไรด์ ต่างกันที่ตรงที่ไคตินมีหมู่อะซิติกในพีราโนสและไคโตซานมีหมู่อะมิโนที่พีราโนสซึ่งถูกเชื่อมต่อกันด้วยหมู่ออกซี การสลายน้ำหนักโมเลกุลจะส่งผลต่อจำนวน m หน่วยของไคติน แสดงดังรูปที่ 2.16 โดยในส่วนของ m หน่วย R เป็นหมู่อะซิติกและ R ส่วนอื่นเป็นไฮโดรเจน วิธีการย่อยสลายที่พบมากมี 3 วิธีคือ การใช้ปฏิกิริยาเอนไซม์ การใช้ปฏิกิริยาเคมีและการใช้ปฏิกิริยาทางรังสี



รูปที่ 2.16 แสดงสูตรโครงสร้างของไคติน m หน่วย [25]

โดยทั้ง 3 วิธีจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวน n หน่วยของโคโตซานแสดงดังรูปที่ 2.17 โดยใน ส่วนของ n หน่วย R เป็นเป็นไฮโดรเจนและ R ส่วนอื่นเป็นหมู่อะซิติล เมื่อจำนวน n น้อยกว่า m มาก ๆ จะส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานต่ำลง (Low Molecular Weight Chitin-Chitosan ,LMCS)

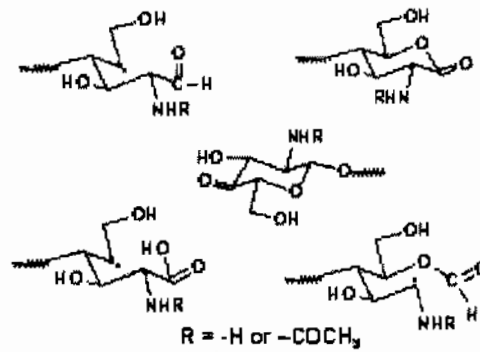


รูปที่ 2.17 แสดงสูตรโครงสร้างของโคโตซาน n หน่วย [25]

ผลของการที่น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานต่ำลงช่วยเพิ่มสภาพการละลายและปฏิกิริยาทางเคมี อีกทั้งยังช่วยในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วย ในด้านปฏิกิริยาทางรังสีจะใช้กระบวนการเดียวและการใช้รังสีจะไม่มีสารเคมีตกค้าง

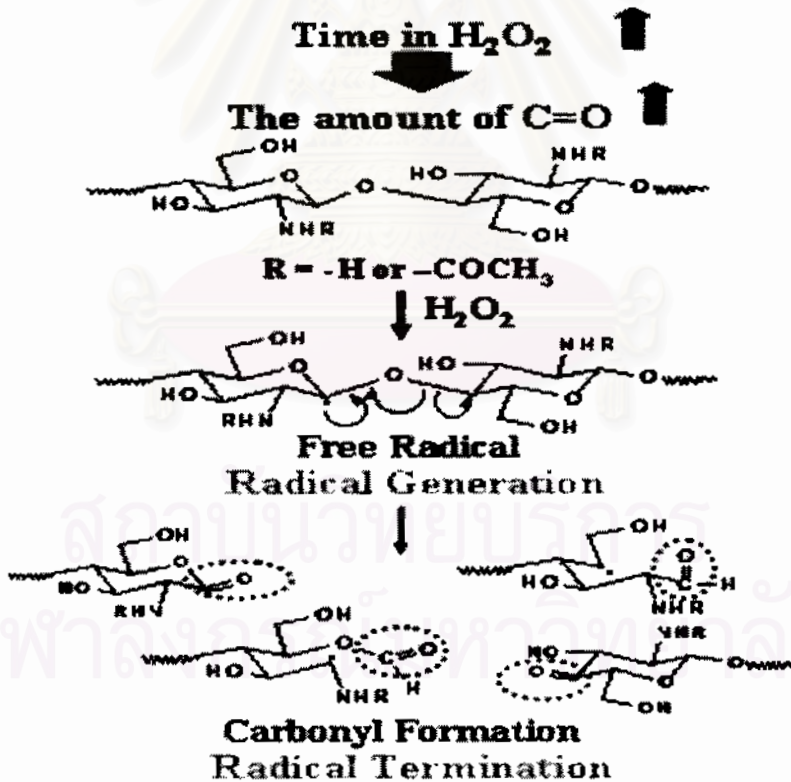
2.2.1 การย่อยโคติน-โคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent

เนื่องจากโคโตซานเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ต่อกันเป็นสายโซ่ที่ยาว ส่งผลให้โคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับการนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ การทำให้เกิดการเสื่อมสลาย (Degradation) ของโคโตซานเป็นหนทางที่จะทำได้ โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำรวมทั้งเป็นการเตรียมโอลิโกโคโตซาน (Oligochitosan) ซึ่งเป็นโคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีหน่วยของ glucosamine หรือค่า degree of polymerization (DP) = 8 -16 [13] กระบวนการย่อยน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น Oxidative agent ทำโดยนำโคโตซานมาแช่ในด่างที่มี pH เท่ากับ 9 ในสารละลาย H_2O_2 1% น้ำหนักโมเลกุลจะต่ำลงขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่ในสารละลาย ซึ่งคล้ายกับทางรังสี การย่อยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีผลต่อโครงสร้างโคติน-โคโตซานคือทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิลบนพีราโนส แสดงดังรูปที่ 2.18 โดย R เป็นไฮโดรเจนหรือเป็นหมู่อะซิติล



รูปที่ 2.18 แสดงการย่อยโครงสร้างไคติน-ไคโตซานจนเกิดหมู่คาร์บอนิลในพีราโนส [25]

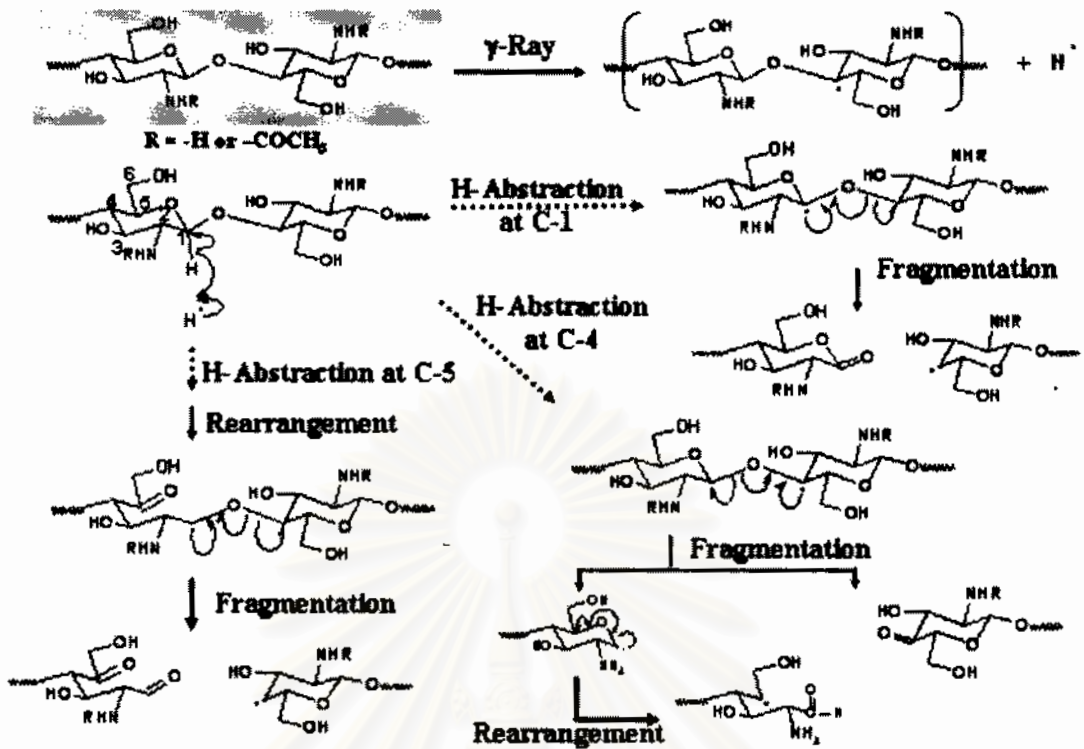
การแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเวลานานจะส่งผลให้จำนวนหมู่คาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าสลายหมู่ออกซิที่เชื่อมระหว่างไคตินและไคโตซานจนทำให้พันธะออกซิเจนเกิดความไม่เสถียรจึงทำให้พันธะแตกและเกิดหมู่คาร์บอนิลอิสระขึ้นมาแสดงดังรูปที่ 2.19 ซึ่งในทางรังสีก็เช่นกัน



รูปที่ 2.19 แสดงผลของการแช่ไคโตซานในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [25]

การคาดการณ์การกลไกการสลายตัวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นแรติคัลอินดิเคเตอร์ซึ่งคล้ายกับวิธีการทางรังสี พบว่าเมื่อนำโคติน-โคโตซานมาแช่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้ามาลดแรงยึดเหนี่ยวหมู่ออกซิเจนระหว่างโคตินและโคโตซาน 1 หน่วย จนทำให้พันธะออกซิเจนเกิดแตกซึ่งทำให้เกิดความไม่เสถียรในพันธะจึงกลับเข้าไปจับในโมเลกุลของโคติน-โคโตซานหรือไปจับไฮโดรเจนซึ่งเป็นอนุมูลอิสระภายในสารละลาย อนุมูลอิสระไฮโดรเจนสามารถเข้าไปเกาะที่ตำแหน่งคาร์บอน 1-6 จนทำให้กลูโคซิติกบอนด์ขาด ตำแหน่งคาร์บอนที่คาดการณ์ว่าเริ่มหลุดจากแรงยึดเหนี่ยวคือตำแหน่งที่ 1 , 4 และ 5 ตำแหน่งคาร์บอนที่ 1 พันธะไฮโดรเจนในพีรานอสระหว่างโคตินและโคโตซานหมดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้พันธะไฮโดรเจนไปรวมกับอีกหน่วยกลายเป็นหมู่คาร์บอนิลของอีกพีรานอสจนแบ่งแยกเป็นส่วนของพีรานอสที่มีหมู่คาร์บอนิลและส่วนที่พีรานอสที่ไม่เสถียร ตำแหน่งคาร์บอนที่ 4 พันธะไฮโดรเจนเกิดหมดแรงยึดเหนี่ยวจึงไปรวมอีกหน่วยของโคติน-โคโตซานจนแบ่งแยกเป็นส่วนของพีรานอสที่มีหมู่คาร์บอนิลและส่วนที่พีรานอสโคโตซานที่ไม่เสถียร ส่วนพีรานอสโคโตซานที่ไม่เสถียรตรงตำแหน่งพันธะออกซิเจนเกิดแตกและกลับเข้าหาตำแหน่งคาร์บอนจนกลายเป็นหมู่คาร์บอนิลตำแหน่งนั้นสามารถจัดเป็นโครงสร้างของพีรานอสโคโตซานที่แตกและไม่เสถียรและมีหมู่คาร์บอนิลในตำแหน่งคาร์บอนที่ไกลออกซิเจนในตำแหน่งคาร์บอนที่ 5 เกิดหมู่คาร์บอนิล เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่ยึดเหนี่ยวตำแหน่งคาร์บอนที่ 1 เกิดการแตกออกจึงกลับไปรวมที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 5 และพันธะไฮโดรเจนระหว่างหน่วยของโคติน-โคโตซานเกิดหมดแรงยึดเหนี่ยวจึงเข้าไปตำแหน่งคาร์บอนที่ 1 จนเกิดหมู่คาร์บอนิล สามารถแบ่งแยกเป็นส่วนของพีรานอสที่แตกที่มีหมู่คาร์บอนิลตำแหน่งคาร์บอนที่ 1 และ 5 และส่วนของพีรานอสโคติน-โคโตซานที่ไม่เสถียร แสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งในทางรังสีก็เช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.20 แสดงการคาดการณ์กลไกการสลายโมเลกุลไคติน-ไคโตซาน
โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [25]

2.2.2 การสลายน้ำหนักโมเลกุลของไคติน-ไคโตซานด้วยวิธีรังสี

2.2.2.1 ต้นกำเนิดรังสี

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้สำหรับงานวิจัยในด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของโพลีเมอร์มีหลายแบบได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 (Co-60) ซึ่งได้จากการกระตุ้นโคบอลต์-59 (Co-59) ด้วยนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ โคบอลต์-60 สลายตัวให้รังสีแกมมา 2 พลังงาน คือ 1.33 และ 1.17 MeV ซีเซียม-137 (Cs-137) ซึ่งได้ผลจากปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์ ซีเซียม-137 สลายตัวให้พลังงานรังสีแกมมา 0.662 MeV ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์, Electron Beam จาก Electron Accelerators เป็นต้น สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสีที่นิยมใช้สำหรับงานทางด้านปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ เนื่องจากมีพลังงานและอำนาจในการทะลุทะลวงสูง [30]

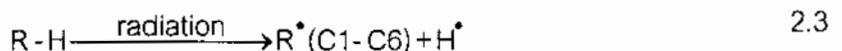
2.2.2.2 ผลของรังสีกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

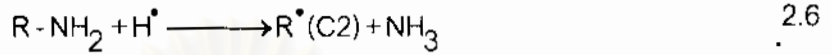
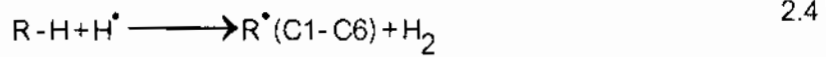
เมื่อฉายรังสีไคโตซานในสภาวะของแข็ง กลไกทางกายภาพมีลักษณะเหมือนกับโมเลกุลอินทรีย์อย่างง่ายทั่วไปคือ เกิดแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และเกิดสภาวะกระตุ้น (excitation) ของโมเลกุลโพลีเมอร์ซึ่งเกิดขึ้นโดยตรง (direct effect) เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่ำกว่า 10^{-2} วินาที ทั้งไอออนและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสภาวะกระตุ้นจะทำให้เกิดกลไกการตัดขาดของสายโซ่ (scission) ของพันธะเคมีภายในระยะเวลาสั้น ๆ คือ 10^6 วินาที ผลทำให้เกิดอะตอมของไฮโดรเจน และอนุมูลอิสระที่คาร์บอนตำแหน่งกลาง ปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ ธรรมชาติของโพลีเมอร์ สภาวะแวดล้อมและสภาวะของการฉายรังสี เช่น อัตราปริมาณรังสี โดยปกติการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญเนื่องจากการเหนี่ยวนำโดยรังสีคือ การเกิดโครงร่างแหสามมิติ (crosslinking) และการเกิดการตัดของสายโซ่หลัก (main chain scission) หรือ degradation ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ [31]

การเกิด degradation โดยการฉายรังสีทำให้เกิดการตัดของสายโซ่แบบสุ่มทำให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลงจากการแตกออกของสายโซ่ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสลายโดยทั่วไปของโพลีเมอร์และทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในบริเวณโครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนไปเป็นเปอร์ออกไซด์ได้อย่างช้า ๆ จากการรวมตัวของออกซิเจนกับอนุมูลอิสระของโพลีเมอร์ ดังปฏิริยาที่ 2.1 และ 2.2



ทำให้เกิดปฏิริยาของการเสื่อมสลายขึ้น ดังนั้นการเกิดการเสื่อมสลายของโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นในบริเวณที่มี crystalline สูง ที่อัตราปริมาณรังสีต่ำ โดยฉายรังสีในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือในอากาศ [31] การเสื่อมสลายของโพลีเมอร์ในสภาพของแข็งเกิดขึ้นเนื่องจาก direct และ indirect effect ของปฏิริยา oxidation การเสื่อมสลายของไคโตซานจะกำหนดโดย direct effect ของรังสีมากกว่า indirect effect ของปฏิริยา oxidation [32] กลไกการเสื่อมสลายของ ไคโตซานที่ฉายรังสีในสภาวะของแข็ง สามารถแสดงได้ดังนี้ [33]





R-H และ R-NH₂ คือ chitosan macromolecule

R[•] (Cn) คือ chitosan macroradical ที่ตำแหน่งอะตอมคาร์บอน Cn

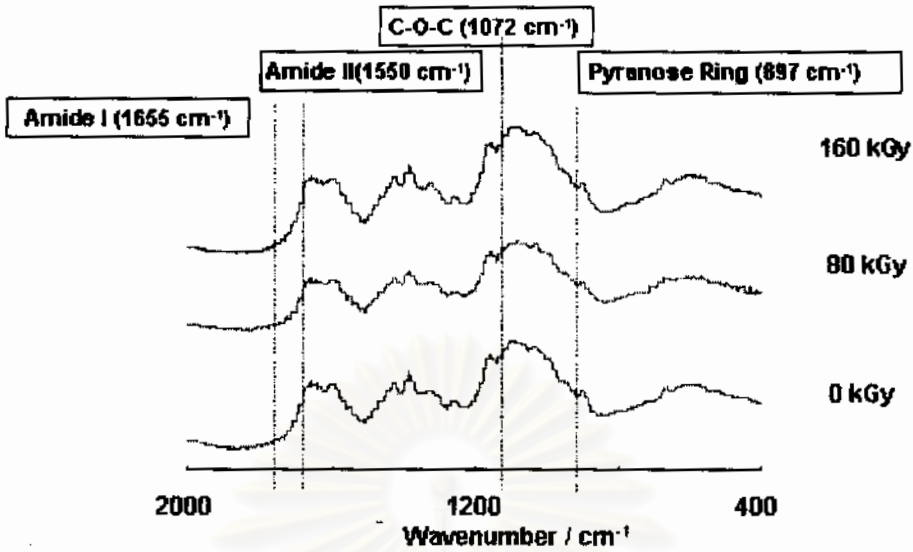
F₁[•], F₂[•] คือ fragments ของสายโซ่หลัก หลังจากเกิด scission

จากกลไกดังกล่าวมีเพียงส่วนของ macroradical (อยู่ที่ตำแหน่ง C1 และ C4) ที่จะเปลี่ยนรูปและนำไปสู่การเกิดการตัดของสายโซ่ที่ตำแหน่ง 1-4 glycosidic bond ซึ่งเป็นการตัดของสายโซ่ที่สมดุล ปฏิกริยาของ macroradical อื่นๆ เช่น การหลุดออกของหมู่อะมิโนในปฏิกิริยาที่ 6 จะไม่นำไปสู่การเกิดการตัดของสายโซ่ การตัดของสายโซ่จะเกิดขึ้นที่พันธะ 1-4 glycosidic bond ของไคติน-ไคโตซาน แสดงดังรูปที่ 2.21 [33]



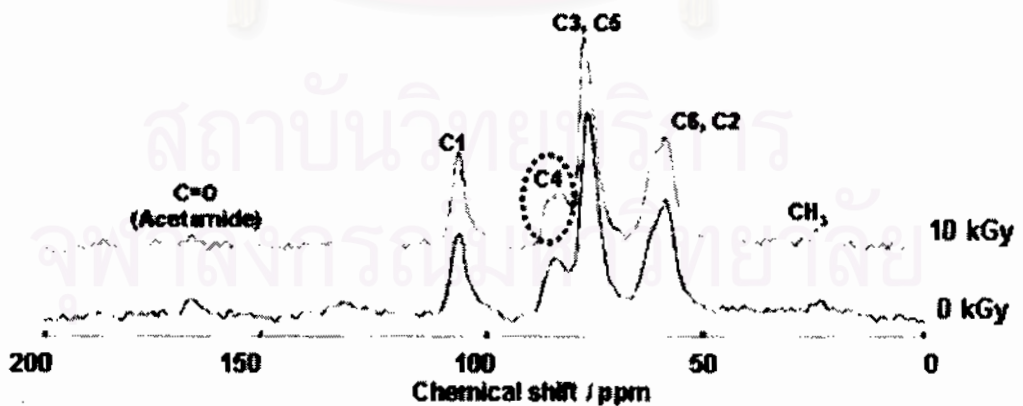
รูปที่ 2.21 แสดงกลไกการเกิดการตัดของสายโซ่หลักของไคติน-ไคโตซาน

ผลของรังสีที่มีต่อโครงสร้างทางเคมีในไคโตซาน 90%DD ในสถานะของแข็ง จากการทดสอบด้วย FT-IR โดยนำไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณ 0, 80 และ 160 kGy ไปวิเคราะห์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันในแต่ละพีคแต่ละปริมาณรังสียังเป็นโมเลกุลของไคโตซานอยู่ในรูปที่ 2.22 แสดงสเปกตรัมหลักๆ ของไคโตซานได้แก่ที่ตำแหน่ง 895, 1087, 1598, 1653 และ 3439 cm⁻¹ คือ หมู่ฟังก์ชัน pyranose ring, glucoside, amino, acetamide และ hydroxyl ตามลำดับ ที่ปริมาณรังสี 160 kGy โครงสร้างยังไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกราฟของไคโตซานที่ไม่ฉายรังสีซึ่งแสดงถึงโครงสร้างหรือหมู่ของไคโตซานไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจนถึง 160 kGy แสดงดังรูปที่ 2.22



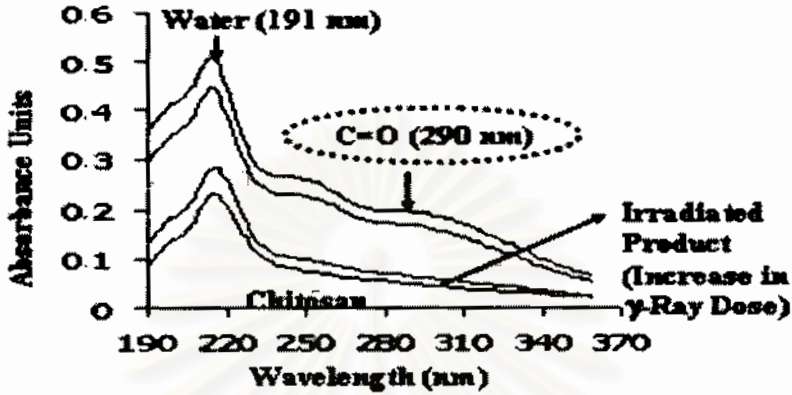
รูปที่ 2.22 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตซานที่ฉายรังสี [25]

ผลของรังสีที่มีต่อโครงสร้างทางเคมีในไคโตซาน 90%DD ในสถานะของแข็ง จากการทดสอบ ^{13}C CP/MAS NMR ผลแสดงดังรูปที่ 2.23 พบว่าสเปกตรัมของคาร์บอนของแต่ละตำแหน่งมีดังนี้ คือ ช่วงเฮกโซซามีน, หมู่เมทิลและคาร์บอนิลอะเซตาไมด์ที่ตำแหน่ง 58.4-105.4, 23.5 และ 166.5 ppm ตามลำดับ สเปกตรัมไคโตซานที่ปริมาณรังสี 10 kGy เกิดพีคแยกที่ C4 ตรงตำแหน่ง 83.7 ppm ซึ่งแสดงว่าที่ C4 เกิดการเปลี่ยนแปลงจากรังสี สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้การทดสอบด้วย FT-IR และ NMR ซึ่งพบว่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจากการตัดโมเลกุลที่ C1-O หรือ C4-O จน C-O-C ไซหลักขาดดังรูปที่ 2.20



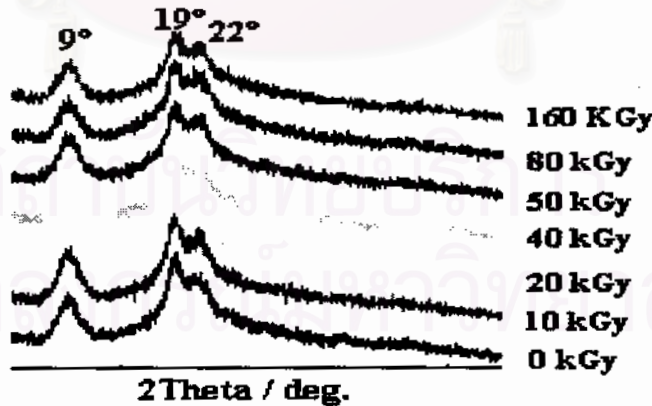
รูปที่ 2.23 แสดงผลของ ^{13}C CP/MAS NMR ของไคโตซานที่ฉายรังสี [25]

ผลของรังสีที่มีต่อโครงสร้างทางเคมีในไคโตซาน 90%DD ในสถานะของแข็ง เมื่อทดสอบด้วย UV Spectroscopy พบว่าสเปกตรัมที่เป็นพีกคือ น้ำ และสันพีกเป็นหมู่คาร์บอนิล เมื่อนำไคโตซานไปฉายรังสี จะเห็นว่าพีกของน้ำลดลงและหมู่คาร์บอนิลลดลง แสดงดังรูปที่ 2.24



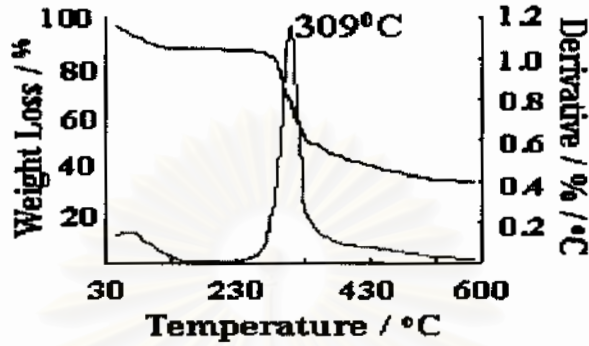
รูปที่ 2.24 แสดงผลของ UV Spectroscopy ของไคโตซานที่ฉายรังสี [25]

ผลของรังสีที่มีต่อโครงสร้างผลึกในไคโตซาน 90%DD ในสถานะของแข็ง เมื่อทดสอบด้วย XRD พบว่าการเสื่อมสลายโดยวิธีทางรังสีไม่ทำให้ความเป็นผลึกของไคโตซานเปลี่ยนไป โดยทั่วไปพีกมุมผลึกของไคโตซาน 2 theta/deg. อยู่ที่ 9° , 19° และ 22° ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กันให้พีกมุมผลึกแสดงดังรูปที่ 2.25 ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกของไคโตซานไม่เปลี่ยนแปลงแต่รังสีมีผลต่อการเสื่อมสลายส่วนอสัณฐานของไคโตซาน



รูปที่ 2.25 แสดง XRD สเปกตรัมของไคโตซานที่ฉายรังสี [25]

ผลของรังสีที่มีต่อการทนความร้อนของโคโตซาน 90%DD ในสถานะของแข็ง เมื่อทดสอบด้วย TGA/DTA พบว่าการใช้รังสีไม่มีผลต่อ TGA/DTA สเปกตรัมซึ่งการเปลี่ยนน้ำหนักจะมีที่อุณหภูมิคงที่ที่ 309 °C แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดง TGA/DTA สเปกตรัมของโคโตซานที่ฉายรังสี 0 kGy [25]

ในการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผลการสแกนแสดงดังรูปที่ 2.27 ซึ่งพบว่าในรูปที่ 2.27 (A) โครงสร้างโคโตซานแน่นมีช่องว่างน้อย ส่วนรูปที่ 2.27 (B) โครงสร้างโคโตซานหลวมมีช่องว่างขนาดใหญ่ เนื่องจากสายไซของโคโตซานถูกเชื่อมต่อกับพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงเมื่อได้รับปริมาณรังสีทำให้เกิดการสลายตัวซึ่งทำให้สายไซโมเลกุลโคโตซานขาดจึงทำให้มีโครงสร้างที่ไม่แน่นเหมือนเดิม ในรูปที่ 2.27 (C) โครงสร้างโคโตซานเกิดการเชื่อมต่อย่างมากจากการฉายรังสีในสารละลายที่มีอัตราส่วนของเมทานอล, น้ำและคาร์บอนเตตระคลอไรด์เท่ากับ 65:30:5 [2]



(A)

(B)

(C)

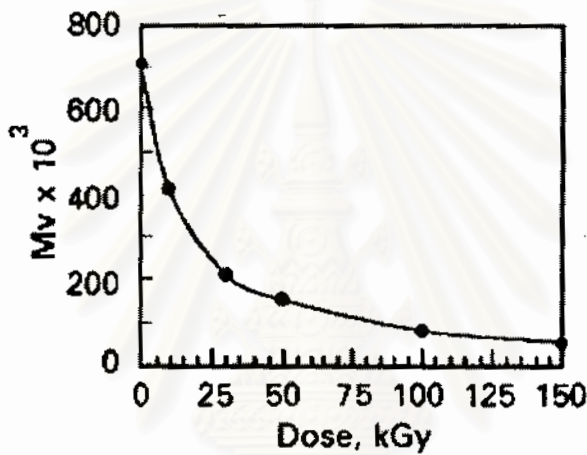
รูปที่ 2.27 แสดงผลการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน [2]

(A) โคโตซาน (B) โคโตซานที่ฉายรังสี 75 kGy

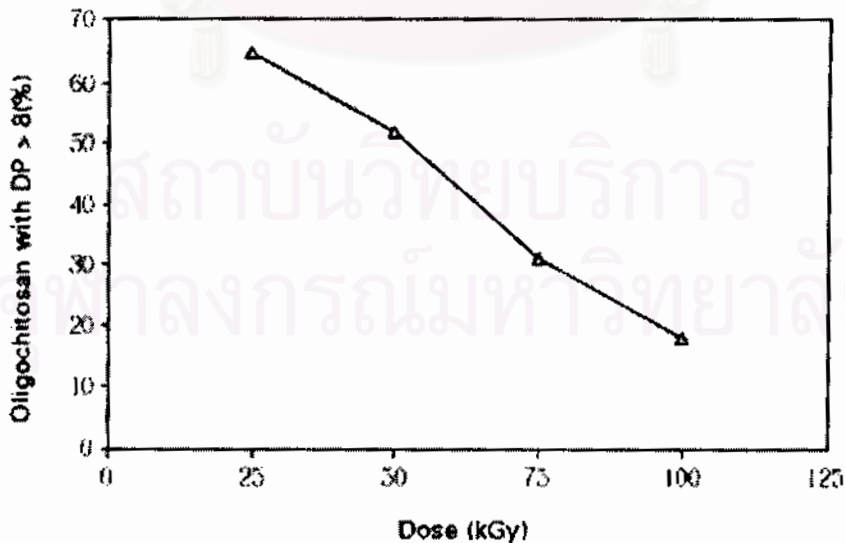
(C) CR-โคโตซานที่ฉายรังสี 75 kGy

2.2.2.3 ผลของรังสีที่มีต่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

การเกิดกลไกการเสื่อมสลายด้วยวิธีทางรังสีทำให้เกิดแตกหักของสายโซ่หลักของไคโตซานมีลักษณะการเกิดเป็นแบบสุ่มทำให้สายโซ่ของไคโตซานสั้นลงส่งผลให้น้ำหนักของโมเลกุลลดลง จากการฉายรังสีไคโตซานที่มี %DD เท่ากับ 80% และ Viscosity average molecular weight (M_v) เริ่มต้นเท่ากับ 710,000 ดอลตัน โดยการฉายรังสีสารละลายไคโตซาน 10%(w/v) ในสารละลายกรดอะซิติก 5%(w/v) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลงแสดงดังรูปที่ 2.28 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอลิโกไคโตซานที่มี DP มากกว่า 8 กับ ปริมาณรังสีที่ฉาย แสดงดังรูปที่ 2.29 [34]

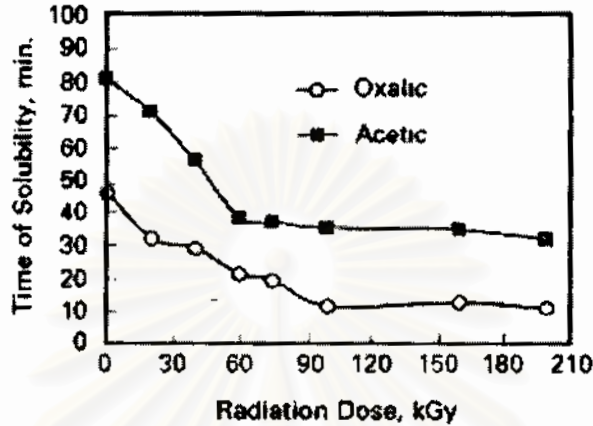


รูปที่ 2.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Viscosity average molecular weight (M_v) ของไคโตซานกับปริมาณรังสีที่ฉาย [34]

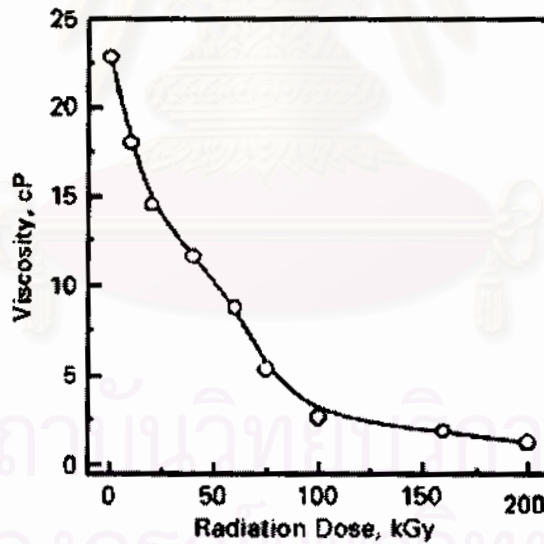


รูปที่ 2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอลิโกไคโตซานที่มีค่า DP>8 กับปริมาณรังสีที่ฉาย [34]

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานลดลงส่งผลให้คุณสมบัติการละลายสูงขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการละลายโคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกและกรดออกซาลิกลดลง [35] แสดงดังรูปที่ 2.30 นอกจากนี้ปริมาณรังสีที่ฉายยังมีผลต่อความหนืดของสารละลายโคโตซานจากการทดสอบโคโตซาน 0.75% ในสารละลายกรดอะซิติก 0.0625 โมลาร์ [35] แสดงดังรูปที่ 2.31

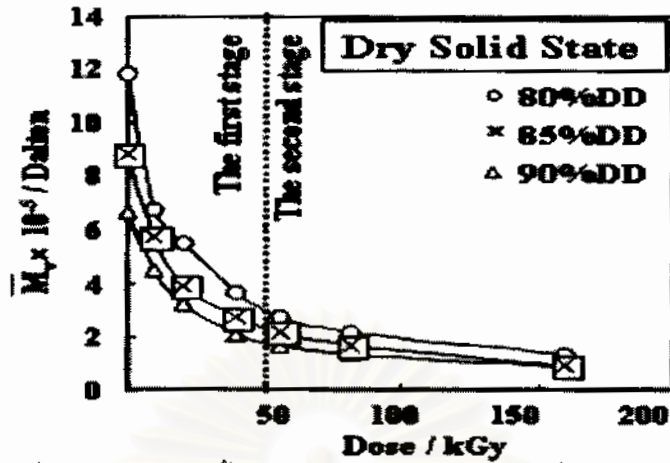


รูปที่ 2.30 แสดงผลของปริมาณรังสีกับความสามารถในการละลายของโคโตซานในกรดอะซิติกและกรดออกซาลิก [35]



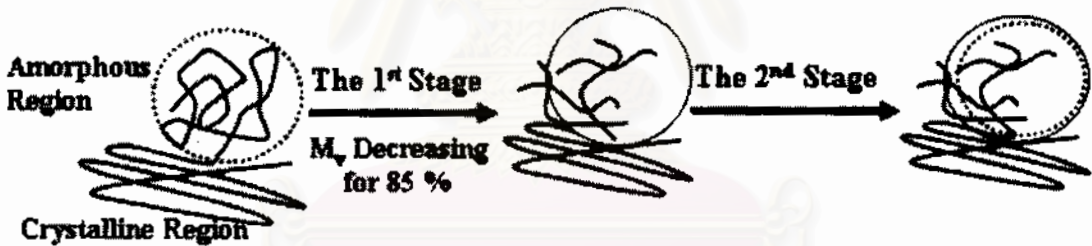
รูปที่ 2.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสารละลายโคโตซานเนื่องจากการฉายรังสีโคโตซานในสถานะของแข็ง [35]

ผลของรังสีที่มีต่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานในสถานะของแข็งที่ %DDต่าง ๆ จากการทดสอบด้วย Ubbelohde Viscosimeter พบว่าปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงผลน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ฉายรังสี [25]

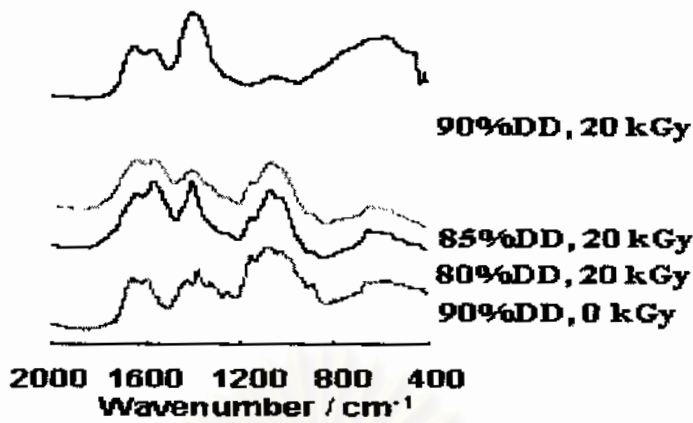
และจากรูปที่ 2.32 พบว่าการฉายปริมาณรังสีระดับที่ 1 ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดไป 85% และระดับที่ 2 ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายถึงส่วนของอสังฐานง่ายต่อการสลายตัวด้วยรังสีและส่วนของผลึกไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงด้วยรังสี แสดงดังรูปที่ 2.33 โดยการสลายตัวจะหยุดอยู่ที่น้ำหนักโมเลกุล 100,000



รูปที่ 2.33 แสดงสัดส่วนของอสังฐานและผลึกของโคโตซานที่ฉายรังสี [25]

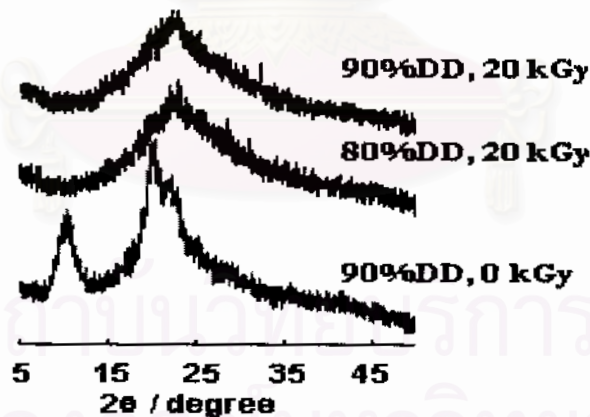
2.2.2.4 ผลของรังสีที่มีต่อโคโตซานที่อยู่ในรูปสารละลาย

ผลของรังสีที่มีต่อสารละลายโคโตซานในกรดอะซิติก 1% จากการทดสอบด้วย FT-IR พบว่าสเปกตรัมโครงสร้างของโคโตซาน 90%DD ที่ตำแหน่ง 890 cm^{-1} ไม่พบช่วงพีราโนสที่ตำแหน่ง 1655 , 1550 และ $1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ คือ หมู่เอไมด์ 1, เอไมด์ 2 และแซกคาไรด์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดง FT-IR สเปกตรัมของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 1% จากการฉายรังสี[25]

ผลของรังสีที่มีต่อสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 1% เมื่อทดสอบด้วย XRD ไคโตซานที่ 80 และ 90%DD มีพีคเดียวและช่วงฐานพีคกว้างเทียบกับไคโตซานที่ไม่ฉายรังสีพบว่ารังสีทำให้โครงสร้างไคโตซานเกิดสัดส่วนความเป็นผลึกมากขึ้น เนื่องจากรังสีเปลี่ยนโครงสร้างในส่วนของฐาน จากการคาดการณ์เกิดจากไฮดรอกซิลอิสระที่ได้จากอะซิเตตไอออนจากการฉายรังสี และรังสียังทำให้เกิดโมเลกุลเล็กเป็นจำนวนมากทำให้ค่าพีคเปลี่ยนด้วย แสดงดังรูปที่ 2.35

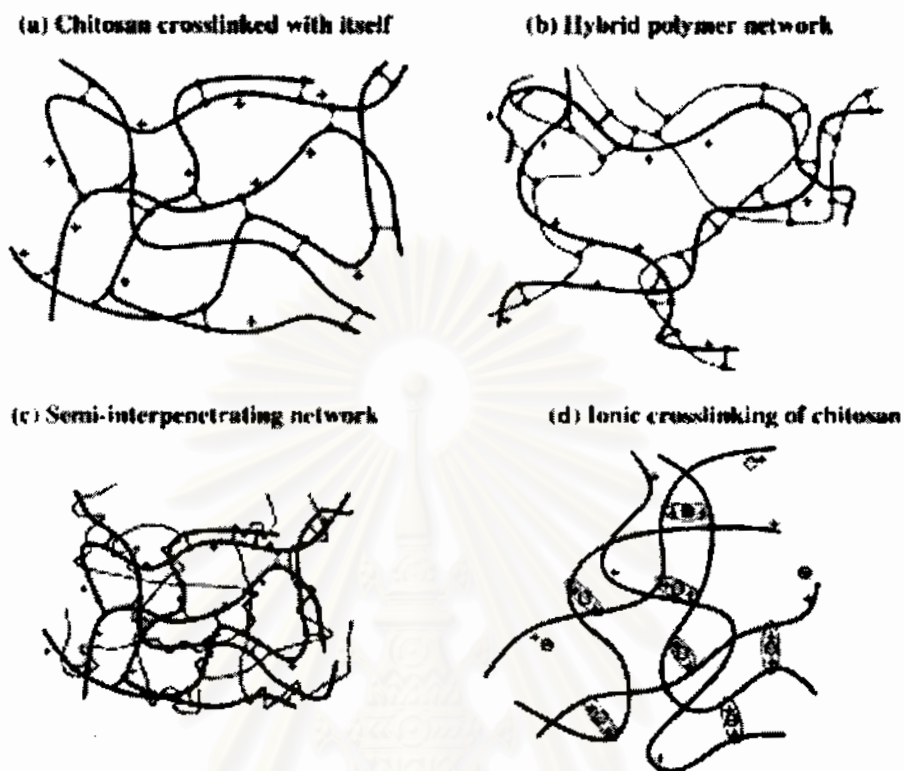


รูปที่ 2.35 แสดง XRD สเปกตรัมของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 1% หลังการฉายรังสีเปรียบเทียบกับที่ไม่ฉายรังสี [25]

2.3 การครอสลิงค์ไคโตซานให้เป็นไฮโดรเจล [1]

การครอสลิงค์ไคโตซานให้เป็นไฮโดรเจลสามารถจำแนกได้ตามโครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่ ไคโตซานครอสลิงค์ด้วยตัวเอง, ครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสม, กิ่งครอส-

ลิงค์ตัวเองและโคโตซานครอสลิงค์แบบไอออนนิค แสดงดังรูปที่ 2.36 ซึ่งสามารถจัดการครอสลิงค์โคโตซานได้ 2 ประเภท คือ ใช้สารเคมีและการใช้รังสีในการครอสลิงค์



รูปที่ 2.36 แสดงโครงสร้างการครอสลิงค์โคโตซานแบบต่าง ๆ [1]

- (a) โคโตซานครอสลิงค์ด้วยตัวเอง
- (b) ครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสม
- (c) กึ่งครอสลิงค์ตัวเอง
- (d) โคโตซานครอสลิงค์แบบไอออนนิค

2.3.1 หลักการครอสลิงค์โคโตซานให้เป็นไฮโดรเจล [1]

ไฮโดรเจลที่ได้จากการเตรียมจะถูกครอสลิงค์ที่พันธะโคเวเลนต์ในสารละลาย โดยทั่วไปเป็นน้ำส่วนใหญ่ มีบางส่วนหรือการใช้สารบางตัวที่เติมไปในสารละลายแล้วช่วยให้เกิดการครอสลิงค์ซึ่งลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโคโตซานที่เป็นได้คือ แบบครอสลิงค์ชนิดโครงสร้างผสมหรือโคโตซานครอสลิงค์แบบไอออนนิค

การเกิดการครอสลิงค์จะเกิดระหว่างโมเลกุล ซึ่งอาจจะเกิดการครอสลิงค์มากกว่า 2 หมู่ฟังก์ชันใน 1 โมเลกุล ซึ่งการครอสลิงค์ในสายโซ่โมเลกุลจะคล้ายกับสะพานที่เชื่อมต่อกับอีกฝั่ง ในปัจจุบันนี้การครอสลิงค์โคโตซานมักจะใช้โคโตซานเปลี่ยนเป็นไดอัลดีไฮด์ในไกลซิซอลและไกลตาราลดีไฮด์ การครอสลิงค์โคโตซานที่หมู่อัลดีไฮด์ที่เกิดจากพันธะเอมีนกับหมู่อะมิโนในโคโต-

ขานคล้ายการต่อพันธะคู่เอทิลีนในปฏิกิริยา Schiff แม้ว่า การครอสลิงค์ที่หมู่ไฮดรอกซิลยังไม่สามารถสรุปได้ แต่ในไดอัลดีไฮด์ในสารละลายเป็นปฏิกิริยาที่เกิดการครอสลิงค์โดยไม่ต้องเติมสารอื่นลงไป เช่น ริตวเซอร์

การครอสลิงค์ที่อาศัยความเป็นประจุของพันธะโคเวเลนต์มีบ้างในปัจจุบัน มีงานวิจัยเกี่ยวกับผิวคอนไดริติน, คอลลาเจน, poly(acrylic) หรือไฮเลน รวมถึงการครอสลิงค์ระหว่างชั้นไคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ การกราฟต์ไคโตซานกับ poly (N-isopropylacrylamide), ฟรุคโตส หรือใช้ N,O-carboxymethyl ไคโตซานในการครอสลิงค์ทุกงานวิจัยที่กล่าวมาเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างวัสดุ ปัจจัยหลักในทำให้การครอสลิงค์คือ ความเข้มข้นซึ่งเป็นตัวบอกว่าปฏิกิริยาที่ได้จะสามารถเกิดไฮโดรเจลได้ดีเพียงใด

2.3.2 ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นไคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ [36]

การสังเคราะห์ชั้นไคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลโดยอาศัยความเป็นประจุ, ความมีประจุมีผลต่อโครงสร้าง, คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน

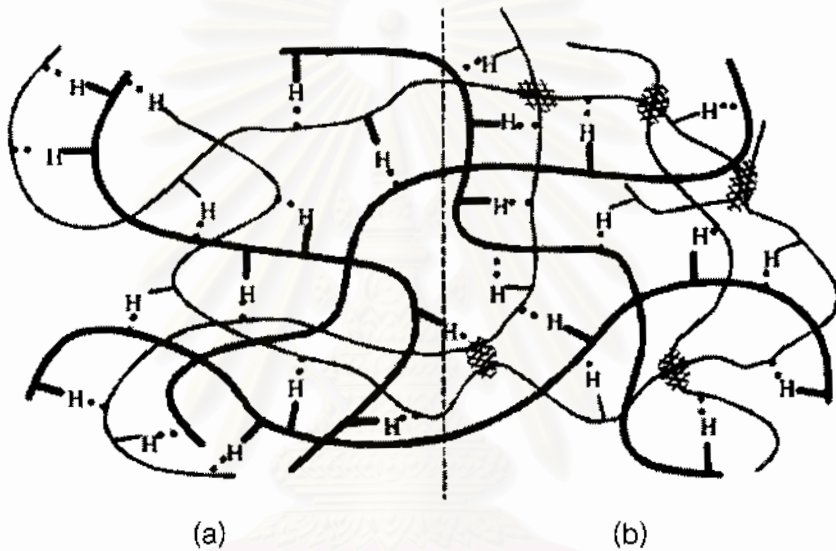
2.3.2.1 โครงสร้างและการทำปฏิกิริยา

ชั้นไคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้ 2 วิธี ในวิธีแรกทำได้โดยการอบและวิธีที่สองทำได้โดยใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลาย การทำปฏิกิริยาในวิธีแรกเกิดผลทางโครงสร้างในรูป 2.37(a) เป็นการทำปฏิกิริยาหลักๆ ระหว่างไฮโดรเจนบอนด์ระหว่างผิวโพลีเมอร์ทั้งสองที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และหมู่อะมิโนของชั้นไคโตซาน ปฏิกิริยาในวิธีที่สองเกิดผลทางโครงสร้างในรูป 2.37(b) มีโครงสร้างปฏิกิริยาต่างจากวิธีแรกคือ โครงสร้างผลึกในแต่ละสายโซ่เกิดการครอสลิงค์กันเอง ในส่วนของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลมี 2 ใน 3 ของสายโซ่ประมาณ 42-120 ส่วน มีการครอสลิงค์แต่ในไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเพียงเล็กน้อย [36]

2.3.2.2 การสังเคราะห์ชั้นไคโตซานและโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล

การเตรียมชั้นไคโตซานและชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลโดยอาศัยความเป็นประจุซึ่งอาจจะไม่มีส่วนของโมเลกุลหรือมีส่วนที่ครอสลิงค์ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยของ 1,3 ไกลคอล และเปอร์เซนต์หน่วยของ 1,3 ไกลคอลต่ำ ในส่วนไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้และเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติ ไคโตซานถูก

นำมาใช้มากในทางการแพทย์เช่น เป็นส่วนประกอบของเลนส์สายตา การเตรียมชั้นโคโตะซานและชั้นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลต้องมีกระบวนการที่ง่ายและนำไปใช้กับคนได้ซึ่งอยู่ในรูปแบบของไฮโดรเจล การเตรียมไฮโดรเจลทำได้โดยการผสมด้วยวิธีต่างๆ โดยการนำไปอบทั้งโคโตะซานและโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อยู่ในรูปสารละลายซึ่งวิธีนี้จะให้ความยืดหยุ่นของเจลสูง ในส่วนของวิธีแช่แข็งและปล่อยให้ละลายต้องนำโคโตะซานและโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อยู่ในรูปสารละลายมาทำตามวงจรการแช่แข็งและปล่อยให้ละลายจนครบรอบ อัตราส่วนของโพลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำปฏิกิริยา ในวิธีนี้การที่ความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์สูงขึ้นจะทำให้อัตราการละลายต่ำลง [36]



รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างระหว่างผิวของชั้นโคโตะซาน(———)
และชั้นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล(—————) [36]

(a) วิธีการอบ

(b) วิธีแช่แข็งและปล่อยให้ละลาย

2.4 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) ของโคโตะซาน

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์ [37, 38]

น้ำหนักโมเลกุลของสารอินทรีย์ทั่วไป สามารถกำหนดเป็นค่าน้ำหนักโมเลกุลเดี่ยว แต่สำหรับโพลิเมอร์นั้นไม่สามารถบอกน้ำหนักโมเลกุลเป็นค่าเดียวได้ น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์แสดงได้ในลักษณะเชิงสถิติซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Distribution, MWD)

ขนาดโมเลกุลของโพลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยที่ซ้ำๆ กันแสดงค่าในรูปของ ดีกรีของโพลิเมอไรเซชัน (Degree of Polymerization , DP) เช่น หน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน 1,000 หน่วย ในโมเลกุลโพลิเมอร์ทำให้ค่า DP เท่ากับ 1,000 หรือค่า DP จะเป็นค่าที่สัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์คือ

$$M = DP \times m \quad 2.7$$

เมื่อ M = น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์

DP = Degree of Polymerization

m = น้ำหนักโมเลกุลของโมโนเมอร์

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลมี 2 วิธีคือ วิธีจำนวนเฉลี่ย (Number average) และวิธีน้ำหนักเฉลี่ย (Weight average) โดยพิจารณาจาก

(1) โพลิเมอร์โมเลกุลเดียวมีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันคือ i หน่วยในสายโซ่ ซึ่งเรียกว่าค่า DP เท่ากับ i น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสายโซ่เท่ากับ M_i

(2) จำนวนโมเลกุลรวมที่มีน้ำหนักโมเลกุลเป็น M_i ตัวอย่างของโพลิเมอร์กำหนดให้เป็น N_i และ number fraction ของโมเลกุลเรียกว่า n_i ($n_i = N_i / \sum N_i$)

(3) มวลรวมของโมเลกุลขนาด i ในตัวอย่างให้เป็น W_i และ w_i คือ weight fraction ของโมเลกุลนี้ ($w_i = W_i / \sum W_i$)

(4) ข้อจำกัดของผลรวมทุกค่าคือ $\sum n_i = 1$ และ $\sum w_i = 1$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์คิดในรูปของจำนวน (Number average molecular weight, M_n) แสดงดังสมการ

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad 2.8$$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์คิดในรูปของน้ำหนัก (Weight average molecular weight, M_w) แสดงดังสมการ

$$M_w = \frac{\sum W_i M_i}{\sum W_i} \quad 2.9$$

เมื่อ

$$W_i = \frac{\sum N_i M_i}{6.02 \times 10^{23}} \quad 2.10$$

จะได้

$$M_w = \frac{\sum (N_i M_i) M_i}{\sum N_i M_i} \quad 2.11$$

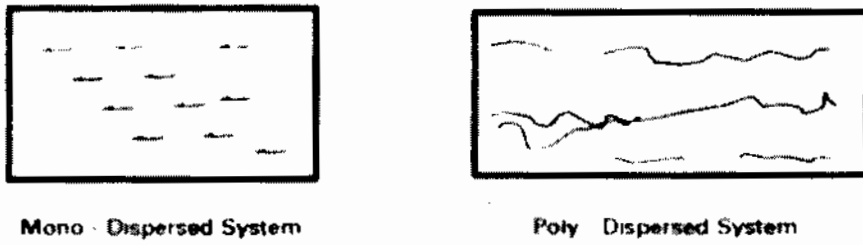
และจะได้

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} \quad 2.12$$

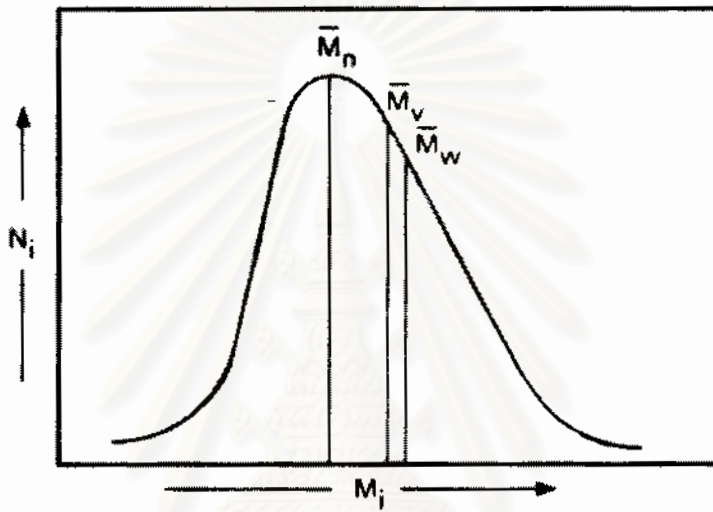
นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์สามารถหาได้จากค่าความหนืดเฉลี่ยซึ่งเป็นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์คิดในรูปของความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) แสดงดังสมการ [39]

$$M_v = \left[\frac{\sum N_i M_i^{3/2}}{\sum N_i M_i} \right]^{2/3} \quad 2.13$$

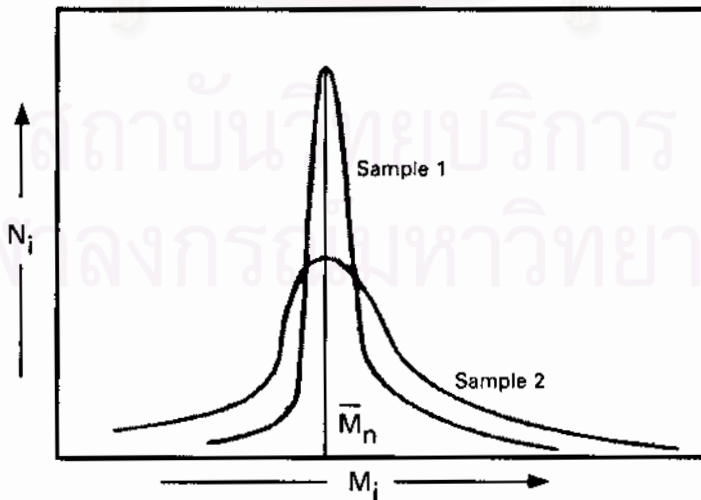
สารประกอบทางเคมีอย่างง่ายโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลเป็นค่าเดียวเรียกว่า mono-dispersed system และโพลิเมอร์เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลหลายค่ารวมกันอยู่เรียกว่า poly-dispersed system แสดงดังรูปที่ 2.38 รูปแบบของการกระจายตัวเป็นความเข้าใจพื้นฐานของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ตัวอย่างน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 40,000 ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลอาจอยู่ในช่วง 30,000-50,000 หรืออยู่ในช่วง 1,000-100,000 การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลเป็นตัวบอกค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของน้ำหนักโมเลกุล การหาการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลหาได้จากค่า M_w และ M_n ที่มาจากวิธีที่ต่างกัน 2 วิธี แล้วคำนวณหา M_w/M_n อัตราส่วนเป็น Polydispersity index เป็นปัจจัยที่บอกความกว้างของการกระจายตัวคือ น้ำหนักโมเลกุลที่มีการกระจายกว้าง ค่า M_w/M_n จะเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.39 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของน้ำหนักโมเลกุลในแนวแกน x และจำนวนโมเลกุลในแนวแกน y จะเห็นว่า M_w มีค่ามากกว่า M_n และ M_v และ M_v มีค่าอยู่ในช่วงของ M_w และ M_n ซึ่งใกล้เคียงกับ M_w มากกว่า M_n ($M_n < M_v \leq M_w$) และในรูปที่ 2.40 แสดงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลในตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ที่มี M_n เท่ากันแต่การกระจายตัวต่างกัน ค่า M_w/M_n เท่ากับ 2 แสดงว่าโพลิเมอร์มีการกระจายตัวแบบปกติ ถ้า M_w/M_n มีค่าน้อยกว่า 2 แสดงว่า โพลิเมอร์มีการกระจายตัวแคบ ถ้า M_w/M_n มีค่ามากกว่า 2 แสดงว่าโพลิเมอร์มีการกระจายตัวกว้าง [37]



รูปที่ 2.38 แสดงความแตกต่างของ mono-dispersed system และ poly-dispersed system



รูปที่ 2.39 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสำหรับ hypothetical polydispersed sample



รูปที่ 2.40 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างโพลีเมอร์ 2 ชนิดที่มีค่า number average molecular weight (M_n) เท่ากันแต่มีการกระจายตัวต่างกัน

2.4.2 ความหนืด (Viscosity) ของสารละลายโพลิเมอร์

ในสารละลายโพลิเมอร์จะมีความหนืดจากการที่อนุภาคโมเลกุลโพลิเมอร์เคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ซึ่งช้ามากกว่าโมเลกุลของตัวทำละลาย แต่การเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ของอนุภาคโมเลกุลโพลิเมอร์ทำให้สารละลายทั้งหมดเคลื่อนที่ช้าตามไปด้วยส่งผลให้สารละลายมีความหนืดมากขึ้น ยกตัวอย่างอธิบายได้คือ เราขับรถอย่างช้าในช่องทางขวาของถนนทางหลวงทำให้การจราจรทั้งหมดบนถนนเคลื่อนที่ช้าลงไปด้วยเหมือนกับการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ของอนุภาคโมเลกุลโพลิเมอร์ในทิศทางการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของตัวทำละลายที่มีการไหล ดังนั้นสารละลายทั้งหมดจะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และทำให้เกิดความหนืด การที่โพลิเมอร์ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายดังกล่าวแล้วโพลิเมอร์ทำให้เกิดแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular forces) ต่ำลงไปด้วย การที่มีอันตรกิริยาเกิดขึ้นในระดับทุติยภูมิ (secondary interaction) ระหว่างโพลิเมอร์และโมเลกุลตัวทำละลายทำให้โมเลกุลเล็กๆ ของตัวทำละลายไปติดรุ่มกับสารโพลิเมอร์จึงทำให้ตัวทำละลายจะเคลื่อนที่ไปกับสารโพลิเมอร์ด้วยความเร็วที่ช้าลงเท่ากันซึ่งเปรียบเทียบกับดาวเคราะห์น้อยที่วิ่งหรือพุ่งผ่านอวกาศและถูกจับไว้โดยแรงโน้มถ่วงของดาวเคราะห์ดวงใหญ่ ๆ และกลายเป็นบริวารของดาวเคราะห์ดวงใหญ่

ความข้นหรือความหนืดของสารละลายนี้สามารถช่วยในการประมาณค่าน้ำหนักโมเลกุลได้ โดยน้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ความหนืดของโพลิเมอร์สูงเพราะโพลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้โพลิเมอร์มี hydrodynamic volume ใหญ่ขึ้นซึ่งปริมาตรของโพลิเมอร์ที่ขดม้วนตัวอยู่ในสารละลายใหญ่ขึ้นจะมี secondary force ที่แข็งแรงทำให้สามารถดึงโมเลกุลตัวทำละลายเข้ามารวมกับโพลิเมอร์ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวทำละลายช้าลง ดังนั้นการตรวจวัดความหนืดของสารละลายทำให้เราสามารถหาค่าน้ำหนักโมเลกุลได้

2.4.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของโคโคซานโดยวิธี Dilute Solution Viscosity

น้ำหนักโมเลกุลเป็นสมบัติที่สำคัญในการบอกคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของโคโคซาน การหาน้ำหนักโมเลกุลสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การศึกษาสมบัติการกระเจิงของแสง การศึกษาสมบัติความหนืด การใช้วิธีทางโครมาโตกราฟีและการศึกษาวิธีการวัดความหนืดเป็นเทคนิคที่ทำได้ค่อนข้างง่ายและสะดวกที่สุด ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงและให้ผลเป็นที่ยอมรับได้ [40, 41] แม้ว่าจะมีข้อเสียคือ ให้ผลที่ไม่สมบูรณ์จากที่ต้องคำนวณหาค่าคงที่โดยผ่านความสัมพันธ์ร่วมกับค่า LVN หรือค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ และค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ตรวจวัดจากวิธีที่สมบูรณ์และสมการที่ใช้ซึ่งสัมพันธ์กับค่า LVN คือ สมการ Mark-Houwink ดังนี้

$$[\eta] = KM_v^a \quad 2.14$$

เมื่อ M_v คือ Viscosity average molecular weight ค่า $[\eta]$ คือ intrinsic viscosity ส่วนค่า K และ a เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ ตัวทำละลาย อุณหภูมิและในกรณีที่เป็นสารละลาย polyelectrolytes จะขึ้นกับความสามารถของตัวเองและความเข้มข้นของ electrolyte ที่มีโมเลกุลต่ำเติมลงไป ค่าคงที่ประเมินจากการเขียนกราฟของ $\text{Log} [\eta]$ กับ $\text{Log} M_w$

Robert และ Domszy [42] ได้ใช้เทคนิคหนึ่งซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก Charlesby [43] เพื่อหาค่า a และพบว่าสามารถคำนวณหาค่า K ซึ่ง Sharples และ Major เป็นผู้ประยุกต์วิธีการโดยใช้ cellulose acetate [44] วิธีการนี้ได้พิจารณาจากคุณสมบัติของการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่เป็นผลจากการเสื่อมสลายแบบสุ่ม (random degradation) ของสายโซ่โพลิเมอร์ และสมการของ Mark-Houwink

$$\bar{M}_v = K'[\eta]^{1/a} \quad 2.15$$

เมื่อ

$$K' = \frac{1}{K_m^{1/a}} \quad 2.16$$

พิจารณาการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ที่เป็นผลจากการสลายตัวแบบสุ่มจะได้

$$\bar{M}_v = \bar{M}_n [\Gamma(2+a)] \quad 2.17$$

เมื่อ Γ = gamma function

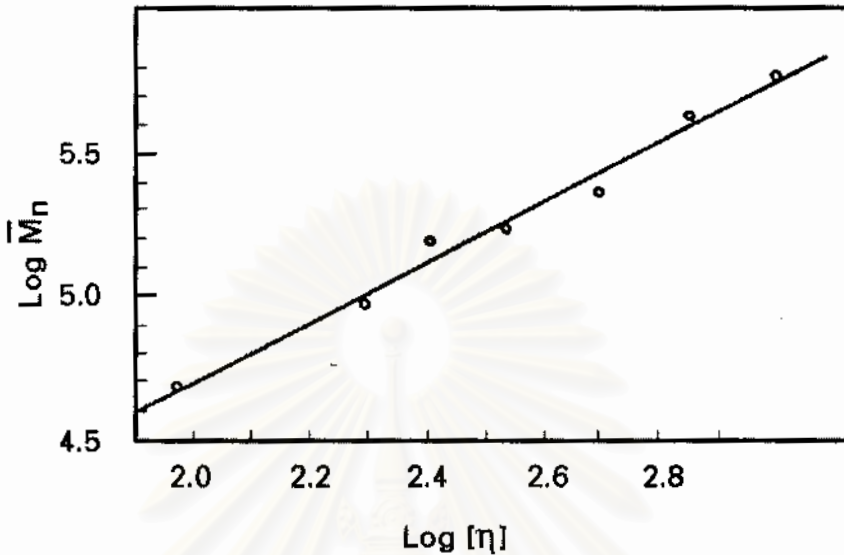
เมื่อรวมสมการ 2.15 และ 2.17 จะได้

$$\bar{M}_n = \frac{K'[\eta]^{1/a}}{[\Gamma(2+a)]^{1/a}} \quad 2.18$$

แสดงในรูปลอการิทึมจะได้

$$\log \bar{M}_n = (1/a) \log [\eta] + \log K' - (1/a) \log [\Gamma(2+a)] \quad 2.19$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log \bar{M}_n$ กับ $\log[\eta]$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(1/a)$ และมาตัดกับแกน y ที่ $\log K' - (1/a)\log[\Gamma(2+a)]$ ดังรูปที่ 2.41



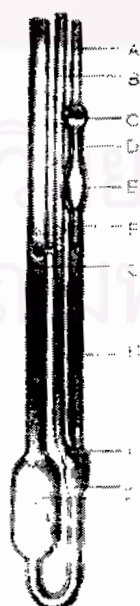
รูปที่ 2.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \bar{M}_n$ กับ $\log[\eta]$

การสลายตัวแบบสุ่มของโคโตซานจากการทำ homogenous hydrolysis ในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1.67 โมลาร์ ซึ่งค่า \bar{M}_n หาโดยการวิเคราะห์แบบ UV/visible spectroscopic ของ phenylhydrazone derivative ที่เตรียมโดยปฏิกิริยาการลดหน่วยปลายในแต่ละสายโซ่ โดยใช้ phenylhydrazine ค่า K และ a ที่ได้มาโดยวิธีนี้เหมือนกับกรายงาน [45-47] ที่มีความสัมพันธ์กับใน β -(1, 4)-linked ionic polysaccharide คู่ของค่าคงที่ K และ a สำหรับโคโตซานที่ใช้ในสมการ Mark-Houwink จากตารางที่ 2.2 พบว่ามีเพียงคู่ที่ 3 เท่านั้นที่ให้ค่า \overline{DP}_v อยู่ระหว่าง \overline{DP}_n และ \overline{DP}_w ซึ่งตรงกับทฤษฎีคือ $\overline{DP}_n < \overline{DP}_v \leq \overline{DP}_w$ และลงมติว่าค่าคงที่มีความเที่ยงตรงและสามารถใช้ได้กับสมการ Mark-Houwink คือ $K = 1.81 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$. และ $a = 0.93$ [40] ซึ่ง Robert และ Domszy ได้คำนวณขึ้นสำหรับโคโตซานในระบบตัวทำละลายของสารละลายกรดอะซิติก 0.1 โมลาร์ และโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคการเชื่อมสลายแบบสุ่ม [37] ดังกล่าวข้างต้น การสนับสนุนวิจัยจากการทดลองของ Rinaudo และ Domard [47] ซึ่งค่า \bar{M}_v ที่ได้โดยใช้ค่าคงที่ K และ a มีเพียงคู่เดียวดังกล่าวที่ทำให้ค่า \bar{M}_v อยู่ระหว่างค่า \bar{M}_n และค่า \bar{M}_w จากชุดการทดลองที่เตรียมตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบที่มีช่วงของค่า MWD แคบมากซึ่งค่า K และ a หลายชุดมีในเอกสารอ้างอิงต่างๆ ให้ใช้ สำหรับโคโตซานในระบบตัวทำละลายต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ K และ a สำหรับสมการ Mark-Houwink สำหรับไคโตซาน [40]

Solvent system	K (cm ³ /g)	a	Molecular Weight range (10 ⁵)
1. 0.2M HOAc-0.1M NaCl-4M urea	8.93×10^{-2}	0.71	1.13-4.92
2. 0.167M HOAc-0.47M NaCl	111.5	0.147	0.13-1.7
3. 0.1M HOAc-0.2M NaCl	1.81×10^{-3}	0.93	0.48-6.3
4. 0.33M HOAc-0.3M NaCl	3.41×10^{-3}	1.02	0.13-1.35
5. 0.33M HOAc-0.2M NaOAc- 0.67M Cl ₂ CH ₂ COOH	1.28×10^{-2}	0.85	0.61-1.60
6. 0.50M HOAc-0.50M NaOAc	1.99×10^{-1}	0.59	1.15-15.90

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี Intrinsic viscosity หรือวิธี Dilute solution viscosity เป็นที่รู้จักมาก่อนปี 1930 เป็นวิธีตรวจวัดขนาดและการกระจายขนาดของโมเลกุลโพลิเมอร์ซึ่งวิธีการนี้มีความสัมพันธ์เฉพาะโพลิเมอร์เชิงเส้นเท่านั้น การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีนี้อาศัยหลักการความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายและขนาดโดยเฉลี่ยหรือน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์ โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดความหนืดของสารละลายมีลักษณะเป็นหลอด เรียกว่า Ubbelohde Viscometer แสดงดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 แสดง Ubbelohde Viscometer

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีนี้จะให้สารละลายโพลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านหลอดรูตีบ แล้วทำการจับเวลาที่สารละลายโพลิเมอร์เคลื่อนที่จากตำแหน่ง D ไปถึงตำแหน่ง F แสดงดังรูปที่ 2.42 ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเรียกว่า efflux time การหาค่า efflux time ไม่ได้หาแค่เพียงค่าของสารละลายโพลิเมอร์แต่ต้องหาค่า efflux time ของระบบตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่ไม่มีโมเลกุลโพลิเมอร์ละลายอยู่ เพื่อให้ทำการเปรียบเทียบในการคำนวณ โดยจะให้ efflux time ของตัวทำละลายเป็น t_0 และ efflux time ของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ให้เป็น t จึงสามารถหาค่าความหนืดสัมพัทธ์หรือ relative viscosity (η_r) ได้ดังนี้ [41, 48]

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} \quad 2.20$$

เมื่อ t คือ ค่า efflux time ของสารละลายตัวอย่าง

t_0 คือ ค่า efflux time ของตัวทำละลาย

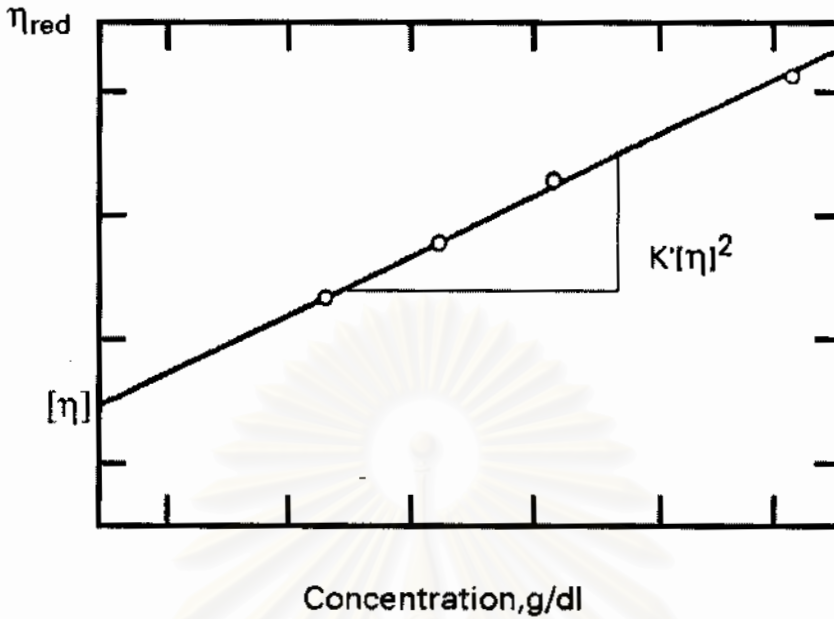
เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่า efflux time ของสารละลายโพลิเมอร์กับค่า efflux time ของตัวทำละลายโดยการหักค่า ค่า efflux time ของตัวทำละลาย (t_0) ออกจากค่า efflux time ของสารละลายโพลิเมอร์ (t) ซึ่งได้ค่าความหนืดเฉพาะหรือ specific viscosity (η_{sp}) ดังสมการ

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0} \quad 2.21$$

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลาย (C) ไปหารค่า specific viscosity (η_{sp}) จะได้ค่า reduced viscosity (η_{red}) ดังสมการ

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} \quad 2.22$$

ทำให้ได้ค่า η_{red} ที่แตกต่างกันตามความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ซึ่งปกติจะแสดงหน่วยเป็นกรัมต่อปริมาตรสารละลาย 100 มิลลิลิตร (g/100ml หรือ g/dl) ในการทดลองจะต้องทำการวัดหาค่า η_{red} ที่ความเข้มข้นหลายค่า เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่า η_{red} โดยให้ C เป็นแกน x และ η_{red} เป็นแกน y ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) กับค่า reduced viscosity (η_{red})

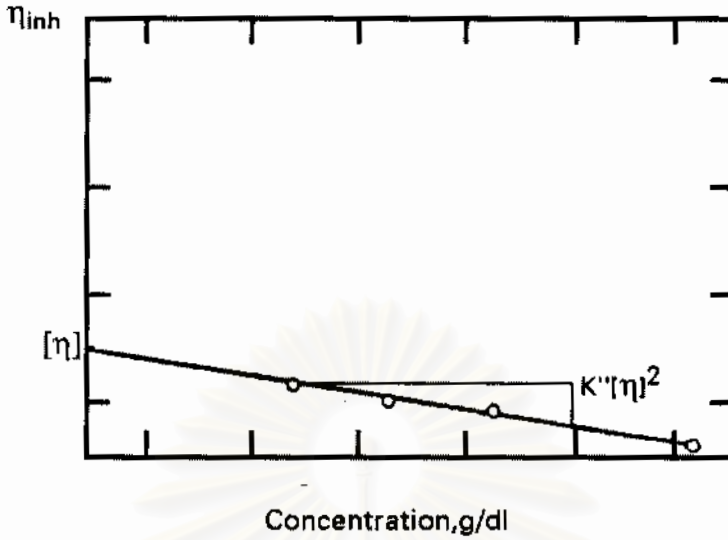
เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ (C) กับค่า reduced viscosity (η_{red}) ที่คำนวณจะได้กราฟเส้นตรงและทำการ extrapolate กลับไปที่ความเข้มข้นเท่ากับศูนย์ เส้นกราฟไปตัดที่แกน y (y-intercept) คือ intrinsic viscosity หรือ $[\eta]$ ซึ่งเป็นค่าที่มาจากการสมมติความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับศูนย์ ($C=0$) จากกราฟความสัมพันธ์จะได้สมการเส้นตรงคือ

$$\eta_{red} = k'[\eta]^2 C + [\eta] \quad 2.23$$

ค่า $k'[\eta]^2$ คือ ค่าความชันของเส้นกราฟและค่า $[\eta]$ คือจุดตัดแกน y ซึ่งค่า intrinsic viscosity เป็นค่าที่นำไปใช้คำนวณหาหน้าหนักของโมเลกุลของสมการของ Mark-Houwink ค่า intrinsic viscosity สามารถหาได้อีกวิธีคือ ใสลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) กับค่า relative viscosity และหารด้วยความเข้มข้นจะได้ค่า inherent viscosity (η_{inh}) ดังสมการ

$$\eta_{inh} = \frac{\ln \eta_r}{C} \quad 2.24$$

และนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์เหมือนกันกับ reduced viscosity โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย (C) ในแนวแกน x และค่า inherent viscosity (η_{inh}) ในแนวแกน y จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 2.44 [49]

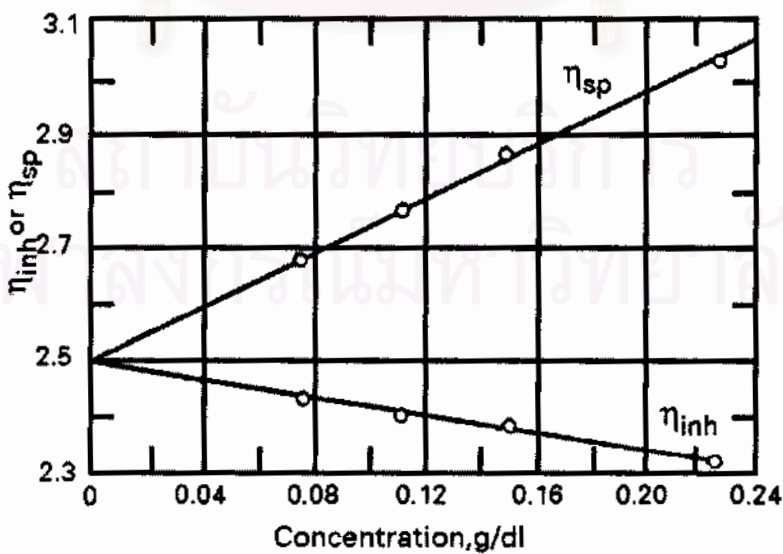


รูปที่ 2.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (C) และค่า inherent viscosity (η_{inh})

จากรูปที่ 2.45 ได้ความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงคือ

$$\eta_{inh} = k''[\eta]^2 C + [\eta] \quad 2.25$$

ค่า $k''[\eta]^2$ คือ ค่าความชันกราฟเส้นตรงและค่า $[\eta]$ คือ จุดตัดแกน y หรือ intrinsic viscosity ซึ่งค่า $k' - k'' = 1/2$ สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของทั้ง reduced viscosity และ inherent viscosity กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (C) กับ reduced viscosity (η_{red}) และ inherent viscosity (η_{inh})

เมื่อคำนวณหาค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ จะนำไปคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลโดยแทนค่าในสมการของ Mark-Houwink ตามสมการที่ 2.14 สำหรับค่าคงที่ K และ a ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์และระบบตัวทำละลายที่ใช้เมื่อแทนค่า $[\eta]$, K และ a ลงในสมการที่ 2.14 จะได้ค่า viscosity average molecular weight (\bar{M}_v)

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีนี้ต้องใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำเพื่อลดแรงกระทำระหว่างอนุภาคของโพลิเมอร์ กรณีสารละลายมีความเข้มข้นมากเกินไปทำให้โมเลกุลโพลิเมอร์เข้าใกล้กันมากจึงทำให้เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงขึ้นซึ่งสมการของ Mark-Houwink มีความผิดพลาดสูงในกรณีนี้ นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงไปลดโอกาสการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจากโพลิเมอร์ติดข้างหลอดเครื่องมือ ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการหาน้ำหนักโมเลกุลแบบ dilute solution viscosity

2.5 การแปรสภาพโคโตซานและการนำไปใช้ประโยชน์

2.5.1 การสลายน้ำหนักโมเลกุลโคโตซาน

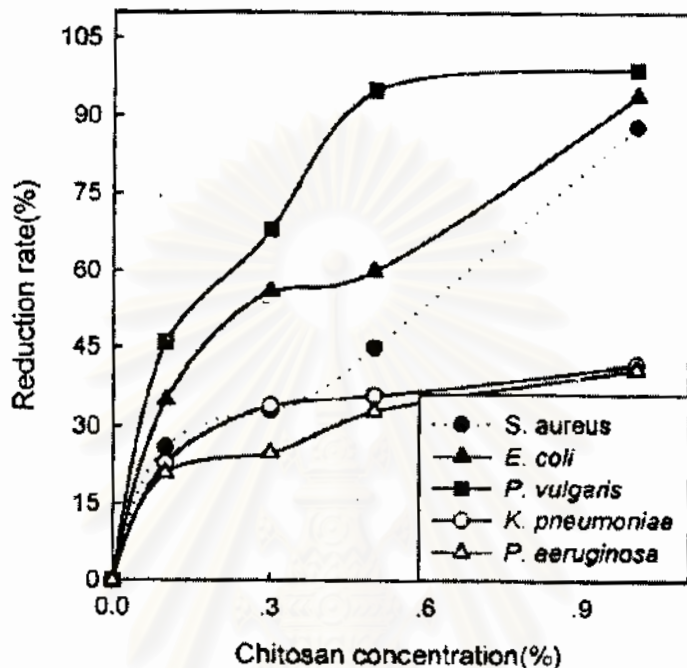
มีรายงานผลการวิจัย พบว่าการสลายโมเลกุลของโคโตซานและอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของโคโตซานทางรังสี เพื่อใช้ในด้านสุขอนามัยและโคโตซานเจลาตินได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัย โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและคาร์บอกซีเมทิลโคโตซานถูกใช้ในงานวิจัยด้านความต้านทานเชื้อจุลินทรีย์เช่น เป็นส่วนประกอบในเส้นใยวิสโคสเรยอน ความต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของโคโตซานและคาร์บอกซีเมทิลโคโตซานได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยและเปรียบเทียบผลลัพธ์ในความสามารถของมันอย่างแพร่หลาย [50]

Tariq Yasin [50] ศึกษาการสลายน้ำหนักโมเลกุลโคโตซานโดยเฉลี่ยให้อยู่ในช่วง 3.6×10^5 ถึง $2.48-3.13 \times 10^5$ ที่ปริมาณรังสี 150 kGy-25 kGy พบว่าโคโตซานสามารถดูดซับอนุภาคโลหะหนักและใช้เคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยให้คงความสดไว้ได้นาน

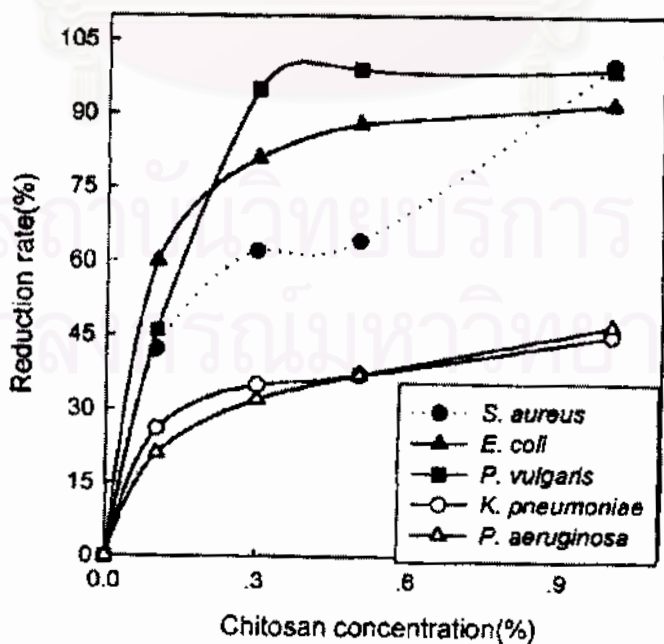
S.P. Ramnani [50] ศึกษาการใช้โซเดียมเปอร์บอเรตสลายโมเลกุลและนำไปฉายรังสี X-rays ในสารละลายอะซิติกจนได้โพลิโคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 2×10^4 พบว่าสามารถใช้ในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อ E. coli และ S.aureus

Y. SHIN, D.I YOO และ J. JANG [51] ศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานว่ามีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน 3 ช่วงนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ 1800, 100,000 และ 210,000 และมีดีอะเซทิลเลชัน 86-89% ในการศึกษาจะนำสารละลายโคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ และที่ความเข้มข้นต่างกัน มาทาบ

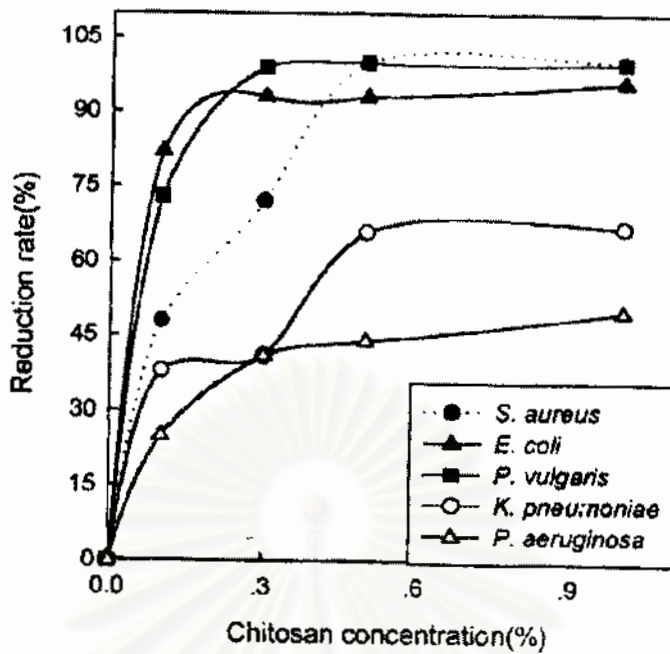
ผ้าฝ้าย จากผลการศึกษพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่าง ๆ มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus, Escherichia, Proteus vulgaris ,Klebsiella pneumoniae และ Pseudomonas aeruginosa แสดงดังรูปที่ 2.46 , 2.47 และ 2.48



รูปที่ 2.46 แสดงความเข้มข้นไคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่น้ำหนักโมเลกุล 1,800 [51]



รูปที่ 2.47 แสดงความเข้มข้นไคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่น้ำหนักโมเลกุล 100,000 [51]



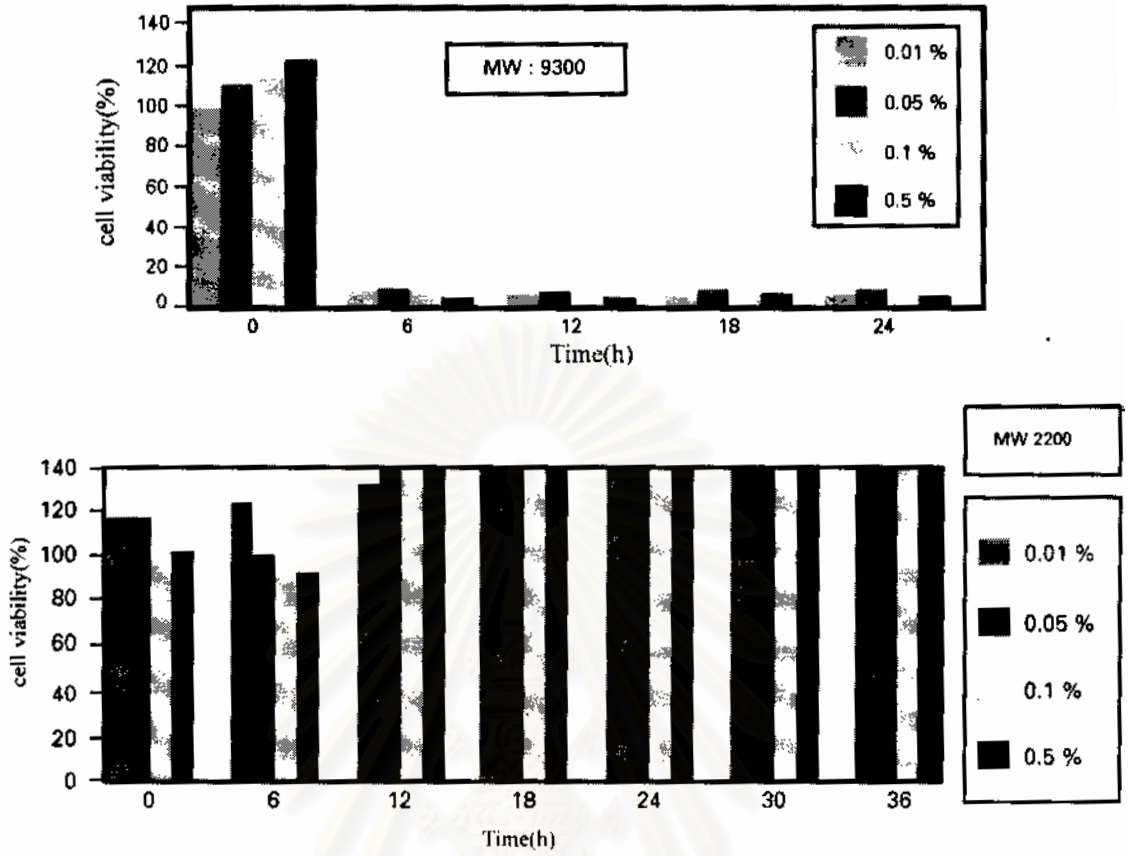
รูปที่ 2.48 แสดงความเข้มข้นไคโตซานมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่น้ำหนักโมเลกุล 210,000 [51]

Jeon และ Kim [52] ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและการเจริญเติบโตของ *E. coli* โดยเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโอลิโกไคโตซานคือ 10 kDa, 5 kDa และ 1 kDa พบว่าโอลิโกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงคือ 10 kDa มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli*. และเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ สูงที่สุด

Nguyen Anh Dzong [53] ศึกษาการใช้ Oligoglucosamine ที่มี DP = 8-16 เร่งการเจริญเติบโตของถั่วลิสงและยับยั้งเชื้อราได้ รวมทั้งยังเพิ่มปริมาณส่วนที่ตรงในโตรเจนสูงขึ้นด้วย

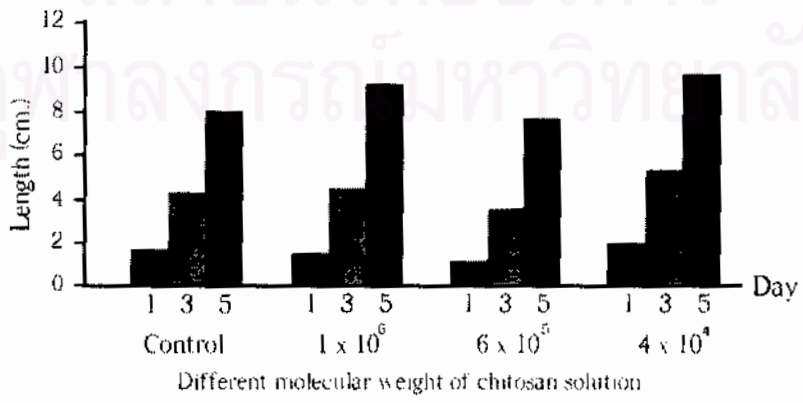
มีการศึกษาพบว่าโอลิโกไคโตซานที่มีค่า DP อยู่ในช่วง 7-14 โมโนเมอร์ มีสมบัติเป็น phytoalexin inducer ซึ่งสามารถป้องกันการติดเชื้อราหลายชนิดในพืช [45, 54, 55]

การศึกษาวิจัยว่าไคโตซานสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน [56] แสดงดังรูปที่ 2.49 จากการทดลองเปรียบเทียบโอลิโกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 9,000 Da และโอลิโกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 2,000 Da พบว่าโอลิโกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 9,000 Da สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้เกือบสมบูรณ์ [32]



รูปที่ 2.49 แสดงผลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* ที่เวลาที่ใช้ในการบ่มต่างๆ

Suwalee [57] ศึกษาการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมากมายซึ่งไคโตซานที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 5,000 ถึง 80,000 Da รวมทั้งทำการทดลองผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่มีต่อการงอกของเมล็ดพืชพบว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40,000 Da มีการงอกของเมล็ดดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 ผลของน้ำหนักโมเลกุลที่มีต่อการงอกของเมล็ดพืช

2.5.2 การครอสลิงค์ไคโตซาน

Fumio Yoshii [50] ศึกษาการครอสลิงค์คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานโดยใช้รังสีจากอิเล็กตรอนบีมพบว่าเกิดการพอร์มเจลที่ปริมาณรังสี 20 kGy คาร์บอกซีเมทิลไคโตซานที่มีดีอะเซทิลเลชันสูงจะให้ความเป็นเจลต่ำและคาร์บอกซีไฮโดรเจลที่ได้มีความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli*

Kamaruddin Hashim [50] ศึกษาการพัฒนาแผ่นเจลปิดรักษาบาดแผลที่มีหลายชั้นประกอบด้วยชั้นของคาร์บอกซีเมทิลของแป้งสาคู ชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ชั้นของโพลีนิลไพโรลิโดนและชั้นของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน โดยใช้รังสีจากอิเล็กตรอนบีมที่ปรับลดขนาดโมเลกุลลงแล้วซึ่งได้ไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงของบริษัท Jose&Jose Co.

Young Chang Nho [50] ศึกษาการเตรียม PVA-PVP-วุ้นหางจระเข้เพื่อทำไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25-50 kGy ผลการวิจัยพบว่าเกิดการครอสลิงค์ระหว่างชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นโพลีไวนิลไพโรลิโดน ให้ความเป็นเจล 18-50% ซึ่งน้อยกว่าการใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลายซึ่งได้ความเป็นเจล 23-50% ไฮโดรเจลที่มีส่วนประกอบของชั้น PVA/PVP /วุ้นหางจระเข้ได้นำมาทดสอบใช้กับหนูทดลองซึ่งให้ผลการทดลองที่ค่อนข้างที่จะดีกว่าไม่ใช้แผ่นเจลรักษาแผลและพวกโพลียูรีเทนที่ใช้เวลารักษาอย่างต่ำ 15 วัน ในงานวิจัยนี้ใช้วุ้นหางจระเข้ 0.4-1.2%

Doan Binh [50] ศึกษาการเตรียม PVA/CMC ไฮโดรเจลโดยใช้รังสีในการครอสลิงค์ในสารละลายที่ปริมาณรังสี 25 kGy พบว่าที่อัตราส่วนของ PVA/CMC ที่ 60/40 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B.subtilis*

Alumanda M. Dela Rosa [50] ศึกษาเกี่ยวกับการนำ KC มาครอสลิงค์ด้วยรังสีร่วมกับโพลีไวนิลไพโรลิโดน

ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ และมานิตย์ ช้อนสุข [5] ศึกษาและพัฒนาแผ่นปิดรักษาแผล 2 ชั้น โดยชั้นแรกทำหน้าที่ในการดูดของเหลวและชั้นที่สองทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ชั้นบนของไฮโดรเจลที่ประกอบด้วย PVA ,KC และ CMS ทำให้เกิดความนิ่มและยับยั้งจุลินทรีย์ ส่วนชั้นล่างประกอบด้วย PVP และKC ในการใช้ปิดบาดแผลจะใช้ส่วนบนของไฮโดรเจลติดกับแผลซึ่งประกอบด้วย 8%PVA/2.6%KC/0.4%CMS ที่ปริมาณรังสี 24 kGy เกิดเป็นเจล 9.4% ,ความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 145 กรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการบวมในน้ำเท่ากับ 250% ไฮโดรเจลชั้นล่างประกอบด้วย 7%PVP/3.0%KC ที่ปริมาณรังสี 24 kGy เกิดเป็นเจล 36.7% ,ความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 588 กรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการบวมในน้ำเท่ากับ 476%

Kyoung Ran Park และ Young Chang Nho [3] ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และชั้นของโพลีไวนิลไพโรลิโดน โดยไฮโดรเจลสองชั้นมีโครงสร้างแบบโพลียูรีเทนมีส่วนประกอบของ PVA/PVP/glycerol/CMS นำมาทำเป็นแผ่นปิดรักษาแผล ไฮโดรเจลดังกล่าวต้องผ่านการขึ้นรูปก่อนการฉายรังสี ขั้นตอนในการทำมี 2 ขั้นตอนได้แก่การใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลายกับการฉายรังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไฮโดรเจลให้ดีขึ้น

2.5.3 การกราฟต์โคโตซาน

Alumande DE LA ROSA [50] ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากโพลีไวนิลไพโรลิโดนและคัปปะคาร์ราจีแนน โดยอยู่ในรูปแบบเป็ยกผสมน้ำนำไปฉายรังสีที่ dose rate เท่ากับ 5.71 kGy/h คัปปะคาร์ราจีแนนกราฟต์กับโพลีไวนิลไพโรลิโดนในรูปเจล ผลที่ได้พบว่าการใช้รังสีมีผลต่อคัปปะคาร์ราจีแนนซึ่งความเข้มข้นของคัปปะคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงขึ้นและยังทำให้เกิดการครอสลิงค์ในตัว PVP เพิ่มขึ้นด้วย

Fumio Yoshii [50] ศึกษาการกราฟต์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับคาร์บอกซีเมทิลโคโตซานในสารละลายโดยการฉายรังสี คาร์บอกซีเมทิลโคโตซานบางส่วนกราฟต์กับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในรูปสารละลายพบว่าความแข็งแรงของเจลดีขึ้น

2.5.4 การนำเอาโคตินและโคโตซานมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์

โคโตซานมีสมบัติเฉพาะตัวที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ [58] คือประการแรกโคโตซานสามารถทำเป็นแผ่นเยื่อบางได้และสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ประการที่สองโคโตซานสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างช้า ๆ และไม่เป็นพิษ ประการที่สามโคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มักพบในแผลไฟไหม้ได้ ประการสุดท้ายโคโตซานยังมีความสามารถในการกระตุ้นกระบวนการหยุดไหลของเลือดได้ จากสมบัติเหล่านี้จึงได้มีการประยุกต์นำไปใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น นำไปเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผล [59, 60] เยื่อหุ้มไตเทียม [60, 61] ครีมสำหรับใส่แผล [60] โหนที่ใช้ในการผ่าตัด [60] คอนแทคเลนส์ [60] วัสดุปิดบาดแผล [62, 63] ควบคุมการปลดปล่อยยา [62, 64] รักษาบาดแผล [65, 66] และนำไปใช้ทางด้านออร์โธปิดิกส์ [60] เป็นต้น

การนำเอาโคตินและโคโตซานมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ มีดังนี้

2.5.4.1 วัสดุตกแต่งบาดแผล

วัสดุตกแต่งบาดแผลซึ่งผลิตมาจากโคตินและโคโตซาน สามารถเร่งการสมานบาดแผลเพิ่มขึ้นถึง 75% [59] แสดงให้เห็นถึงสมบัติในการรักษาบาดแผลของโคตินและโคโตซาน นอกจากนี้โคตินและโคโตซานยังเข้ากันได้ดีกับสิ่งมีชีวิต สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และยังเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ ที่สำคัญโคตินและโคโตซานเมื่อใช้กับบาดแผลของผู้ป่วย จะมีสมบัติฮีโมสแตติก (Hemostatic) ทำให้เกิดแผลเป็นน้อยลง

2.5.4.2 วัสดุปิดบาดแผล

Jack Winterowd และคณะศัลยแพทย์ ของมหาวิทยาลัย Washington Medical Center [63] ได้ทำการทดลองพัฒนาวัสดุปิดบาดแผลซึ่งประกอบด้วยแผ่นฟิล์มบางของโคโตซานกับอีพิเดอร์มอล โกรท แฟคเตอร์ (Epidermal Growth Factor, EGF) ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในหนู คาดว่าจะสามารถช่วยเร่งการเกิดผิวหนังของผู้ป่วยที่ได้รับแผลไฟไหม้ได้ วัสดุปิดบาดแผลนี้สามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยเอนไซม์ที่มีชื่อว่าไลโซไซม์ (Lysozymes) ซึ่งพบอยู่ในบริเวณบาดแผลมากที่สุด และจะสลายตัวทางชีวภาพได้ภายในไม่กี่วัน โดยไม่ต้องขูดเอาผิวหนังออกจากบาดแผล จึงไม่รบกวนต่อกระบวนการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ นอกจากนี้โคโตซานช่วยกระตุ้นการผลิตของโมโนไซต์ (Monocytes) ซึ่งก็คือ เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดหนึ่งที่ดักจับอนุภาคแปลกปลอม และยังช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อที่เรียกว่ามีการติดเชือลดลง จึงสามารถนำเอาวัสดุปิดบาดแผลนี้ไปใช้ได้ในกรณีผิวหนังถูกไหม้อย่างรุนแรงและสำหรับผู้ป่วยที่ได้รับบาดแผลไฟไหม้ในระดับที่ 2 และ 3 วัสดุปิดบาดแผลนี้จะทำให้การเสี่ยงของการติดเชือลดลงและยังช่วยให้ร่างกายสร้างผิวหนังใหม่ ซึ่งไม่เพียงแต่ป้องกันบาดแผลหรือตกแต่งบาดแผลเหมือนที่เคยมีมา

2.5.4.3 เยื่อหุ้มไตเทียม

แผ่นเยื่อบางโคโตซานสามารถใช้เป็นเยื่อหุ้มไตเทียม [61] เพราะมีความแข็งแรงทางเชิงกลสูง นอกจากนี้ยังสามารถให้ยูเรีย และครีเอทีน (Creatine) ซึมผ่านแต่ไม่ให้ซีรัมโปรตีน (Serum protein) ซึมผ่าน จากการทดลองของ Mima, Yoshikawa และ Maya ในปี 1975 ใช้โคโตซานผสมกับโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้เยื่อบางโคโตซานหนา 30 ไมครอน ซึ่งแผ่นเยื่อบางนี้ดูดซับ

น้ำได้ 102% และได้ค่าความแข็งแรงทางเชิงกล ค่าการดึงยึดทางยาวและประสิทธิภาพในการให้ยูเรียซึมผ่าน เป็นที่น่าพอใจ

2.5.4.4 ความคุมการปลดปล่อยยา

M. M. Bonvin และ M. M. De Bertorollo [64] ทำการศึกษาแผ่นโคโตซานฟิล์มในการปลดปล่อยโซเดียมซาลิไซเลต (Sodium salicylate) โดยใช้โคโตซานจากกระดองปู มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืดเท่ากับ 5.9×10^5 จากนั้นนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มแล้วนำมาทดสอบกับโซเดียมซาลิไซเลตผ่านแผ่นฟิล์มโคโตซานซึ่งอยู่ในน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 0.5 องศาเซลเซียส จากนั้นตรวจวัดปริมาณของโซเดียมซาลิไซเลตที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับ 7.4×10^{-2} มิลลิกรัมต่อนาที และได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมซาลิไซเลต (มิลลิกรัม) กับเวลา (นาที) เป็นไปตามสมการอัตราของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

2.5.4.5 การรักษาบาดแผล

F. F. Bartone และ E. D. Adickes [65] ศึกษาผลของโคโตซานบนบาดแผลของสุนัขเพศผู้ จำนวน 14 ตัว ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 40-50 ปอนด์ โดยใช้โคโตซานซึ่งสกัดมาจากกระดองปู ที่มี %DD เท่ากับ 85 น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 6.0×10^5 และ 8.0×10^5 โดยทำการรักษาบาดแผลซึ่งอยู่บริเวณบาดแผลที่ทำการรักษาและมีการลดลงของไฟโบรซิส (Fibrosis) ในบาดแผล

G. Biagini และคณะ [66] ศึกษาการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดด้วยแผ่นฟรีสดรายด์ เอ็น-คาร์บอกซีบิวทิลโคโตซาน (Freeze-dried N-carboxybutyl chitosan) ขนาด $10 \times 20 \times 0.5 \text{ cm}^3$ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักเท่ากับ 7.2×10^5 เพื่อจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นมาใหม่ พบว่าสามารถทำให้เกิดเนื้อเยื่อผิวหนังแท้ (Cutaneous) และลดอะนอมาร์ส ฮีลลิง (Anomalous healing)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent

3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 สารตัวอย่างโคโตซานมาตรฐานซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล (M_v) เท่ากับ 7.1×10^5 มีค่าร้อยละของดีกรีออกฟิเคชันเซททิลเลชัน (%DD) เท่ากับ 80 Code No. KB-001 Lot.No PI,9-N จากบริษัทคาโตคิชิ จำกัด (KATOKICHI Co.,Ltd.)

3.1.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR-grade

3.1.1.3 สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) AR-grade

3.1.1.4 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) AR-grade

3.1.1.5 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) AR-grade

3.1.1.6 ปีกเกอร์ขนาด 100, 600 และ 1,000 มิลลิลิตร

3.1.1.7 แท่งแก้วกวนสาร

3.1.1.8 Cannon Ubbelohde Viscometer No.C361 และ C356 Size 0 มีค่า Approximate Constant เท่ากับ $0.001 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ (cSt/s) และค่า Kinematic Viscosity Range อยู่ในช่วง $0.3-1 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) จากบริษัท Cannon Instrument Company แสดงดังรูปที่ 3.1 สำหรับใบรับรองการปรับเทียบมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ก

3.1.1.9 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3 ตำแหน่ง

3.1.1.10 น้ำกลั่น

3.1.1.11 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก

3.1.1.12 Water bath ใส ขนาด 13×27 เซนติเมตร

3.1.1.13 Water bath สำหรับแช่สารตัวอย่าง

3.1.1.14 แท่งพลาสติกสำหรับยึดจับ Viscometer

3.1.1.15 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.1.16 ขาตั้งพร้อมที่จับเทอร์โมมิเตอร์

3.1.1.17 ปิเปต ขนาด 0.2 และ 1 มิลลิลิตร

3.1.1.18 บิวเรต

3.1.1.19 จุกยางสำหรับดูดสาร

3.1.1.20 สารละลายทำความสะอาด Viscometer (Conc. H_2SO_4 + $K_2Cr_2O_7$)



รูปที่ 3.1 Cannon Ubbelohde Viscometer

3.1.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.2.1 เตรียมสารละลายประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1%(v/v) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1%(w/v) ให้ได้ pH เท่ากับ 9

3.1.2.2 นำโคโตซานไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อหา ช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่อยู่ประมาณ 100,000 ดอลตัน

3.1.2.3 เมื่อครบเวลาแช่แล้วนำโคโตซานมาล้างน้ำจนสะอาดไม่มีสารละลายติด มาด้วย

3.1.2.4 นำโคโตซานที่ล้างน้ำจนสะอาดดีแล้วนำมาเข้าตู้อบจนแห้ง แล้วนำมา เข้ากระบวนการหาน้ำหนักโมเลกุล

3.1.2.5 เตรียมอุปกรณ์ทำ Stock solution ของโคโตซาน

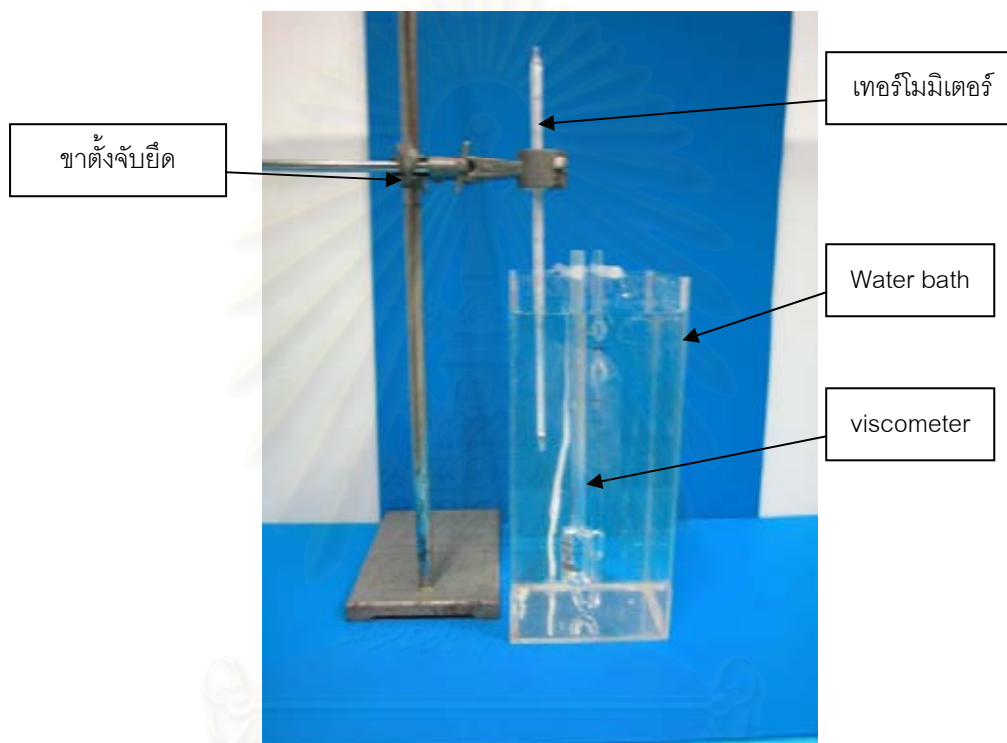
3.1.2.6 เตรียมสารละลายประกอบด้วยของผสมกรดอะซิติก 0.1 M และโซเดียม-คลอไรด์ 0.2 M

3.1.2.7 เตรียม stock solution ของโคโตซานเข้มข้น 7.6×10^{-4} g/mL ปริมาตร 50 mL (C_1) โดยการชั่งผงโคโตซานมา 0.038 กรัม ละลายใน acetic acid 1 M 10 mL เติมน้ำกลั่น 30

mL แล้วคนด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นเติม NaCl 1 M 10 mL แล้วปรับปริมาตรรวมให้เป็น 50 mL แล้วคนต่อไปอีกเป็นเวลา 1 คืน

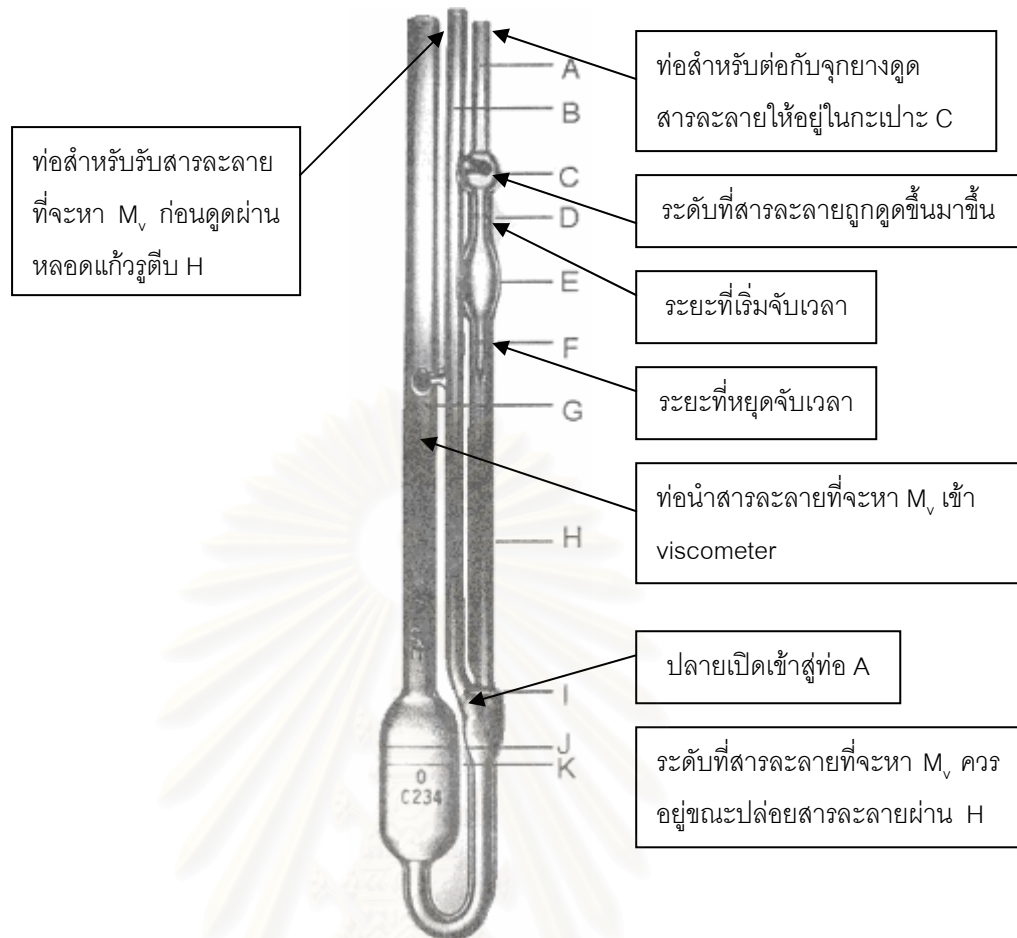
3.1.2.8 นำ stock solution มาทำการเจือจางด้วยตัวทำละลายผสมในข้อแรกให้ได้ความเข้มข้น 2.17×10^{-4} g/mL (C_4) โดยเปิด stock solution มา 10 mL เติมตัวทำละลายผสมในข้อ 3.1.2.6 ปริมาตร 25 mL (ปริมาตรรวมเป็น 35 mL)

3.1.2.9 เตรียมอุปกรณ์ในการหาความหนืดแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงชุดทดลองหาน้ำหนักโมเลกุลโดย Ubbelohde viscometer

3.1.2.10 ไซตัวทำละลายผสมจากบิวเทรตมา 10 mL เติมลงใน viscometer ตรงปลายด้าน G (รูปที่ 3.3) (C_0) ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ใช้นิ้วอุดตรงหลอด B และใช้จุกยางดูดสารละลายขึ้นมาให้อยู่เหนือจุด C เล็กน้อยแล้วปล่อยจุกยางบันทึกเวลาที่สารละลายเคลื่อนที่จากจุด D ถึง F 3 ครั้ง จากนั้นนำช่วงเวลา 2 ครั้งที่ได้ใกล้เคียงกันที่สุดมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.3 แสดง Ubbelohde Viscometer

3.1.2.11 ไซสารละลาย (C_1) จากบิวเรตมา 10 mL ลงใน viscometer ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ $25\text{ }^\circ\text{C}$ แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

3.1.2.12 ไซตัวทำละลายผสมจากบิวเรต 2 mL ลงใน viscometer ที่บรรจ (C_1) ทำการเขย่า จะได้สารละลาย (C_2) แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

3.1.2.13 ไซตัวทำละลายผสมจากบิวเรต 2 mL ลงใน viscometer ที่บรรจ (C_2) ทำการเขย่า จะได้สารละลาย (C_3) แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

3.1.2.14 ไซสารละลาย (C_4) จากบิวเรตมา 10 mL ลงใน viscometer ที่ล้างและทำให้แห้งแล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

3.1.2.15 ไซตัวทำละลายผสมจากบิวเรต 2 mL ลงใน viscometer ที่บรรจ (C_4) ทำการเขย่า จะได้สารละลาย (C_5) แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

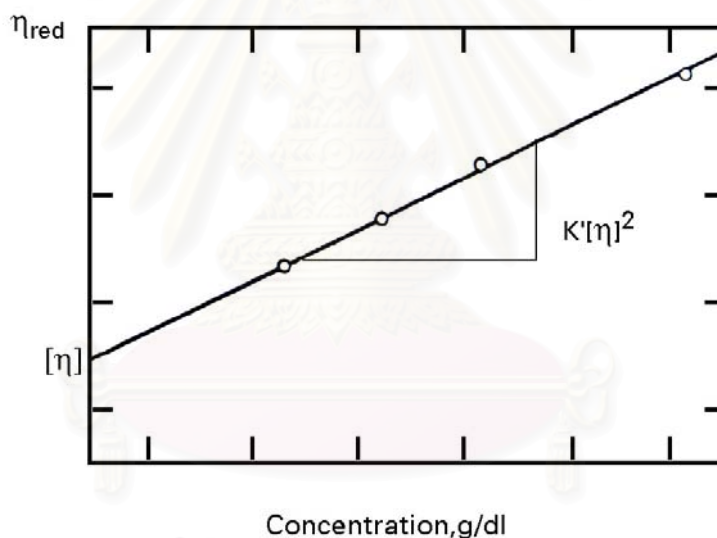
3.1.2.16 ไซตัวทำละลายผสมจากบิวเรต 2 mL ลงใน viscometer ที่บรรจ (C_5) ทำการเขย่า จะได้สารละลาย (C_6) แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1.2.10

3.1.2.17 นำ Efflux time จากข้อมูลที่บ้านที่ทำการทดลองนำมาคำนวณหาค่า specific viscosity (η_{sp}) และคำนวณหาค่า η_{sp}/C หรือค่า reduced viscosity (η_{red}) ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0} \quad 3.1$$

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} \quad 3.2$$

3.1.2.18 ค่า reduced viscosity (η_{red}) ที่ได้จากการคำนวณนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสารละลายโคโตะซาน (C) ตัวอย่างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายโคโตะซานและค่า reduced viscosity (η_{red})

3.1.2.19 จากกราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (C) กับค่า reduced viscosity (η_{red}) หาจุดตัดแกน y (y-intercept) ค่าจุดตัดที่ได้คือค่า intrinsic viscosity $[\eta]$

3.1.2.20 ค่า $[\eta]$ ที่ได้จากกราฟนำมาคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของโคโตะซาน จากสมการของ Mark-Houwink ดังสมการที่ 3.3

$$[\eta] = KM_v^a \quad 3.3$$

เมื่อ K และ a เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของระบบตัวทำละลายที่เลือกใช้คือกรดอะซิติก 0.1 โมลาร์ กับโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลาร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8×10^{-3} (100 ml/g) และ 0.93 ตามลำดับ แทนค่า $[\eta]$, K และ a ที่ได้ลงในสมการที่ 3.3 สามารถคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุล (Mv) หรือ Viscosity average molecular weight ได้

3.2 การฉายรังสีสารตัวอย่างโคโตซาน

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1.1 สารตัวอย่างโคโตซาน มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ช่วงประมาณ 100,000 ดอลตัน มีค่าร้อยละของการดีอะเซททิลเลชัน (%DD) เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ผลิตจากบริษัทเออนแลป (A.N.Lab) จ.สมุทรสาคร สารตัวอย่างโคโตซานแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของโคโตซานในสภาพเกล็ดแข็ง

3.2.1.2 สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH)

3.2.1.3 น้ำกลั่น

3.2.1.4 ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.1.5 กระบอกลอย 100 มิลลิลิตร

3.2.1.6 แท่งแก้ว

3.2.1.7 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1.8 ชุดท่อก๊าซไนโตรเจนพร้อมวาล์วชุดทำงาน

3.2.1.8 Water bath แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดง Water bath

3.2.1.9 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศสูงโพลีเอทิลีนจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งสารละลายโคโคซานบรรจุอยู่ในถุงสำหรับฉายรังสี แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องปิดผนึกสุญญากาศสูงพลาสติก

3.2.1.10 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ รุ่น Gammacell 220 Excel แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel

3.2.1.11 ตู้อุ่น

3.2.1.12 น้ำแข็งแห้ง

3.2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.2.1 นำโคโตซาน 10% ไปละลายในกรดอะซิติก 1%(v/v) คนให้โคโตซานละลายทั้งหมดแล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.2.2 คำนวณปริมาณสารความเข้มข้นของโคโตซาน โดยคำนวณที่ 40, 50 และ 60%

3.2.2.3 นำสารละลายโคโตซานจากข้อ 3.2.2.1 แบ่งใส่ตามอัตราส่วนในข้อ 3.2.2.2 ลงใน 3 ปีกเกอร์

3.2.2.4 นำปีกเกอร์ทั้งสามมาใส่ water bath ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 80 องศาเซลเซียส รอจนน้ำแห้งได้ตามข้อ 3.2.2.2 จึงเอาออก

3.2.2.5 นำโคโตซานออกจากปีกเกอร์ทั้งสามแล้วนำไปใส่ถุงโพลีเอทิลีนพร้อมติดป้ายชื่อความเข้มข้นต่าง ๆ

3.2.2.6 นำก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศในถุงโพลีเอทิลีนทั้งสามใบเพื่อไม่ให้ออกซิเจนตกค้างอยู่

3.2.2.7 นำโคโตะซานที่ไล่ออกซิเจน แล้วนำไปทำสุญญากาศแล้วปิดผนึกโดยใช้ความดันในการทำสุญญากาศ 2 บาร์ เป็นเวลา 5 วินาที และเวลาในการปิดผนึก 5 วินาที

3.2.2.8 นำโคโตะซานจากข้อ 3.2.2.7 ไปแช่แข็งในตู้เย็น โดยวางอยู่บนน้ำแข็งแห้ง

3.2.2.9 นำโคโตะซานที่ได้จากข้อ 3.2.2.7 ไปฉายรังสีที่ตำแหน่ง 0.235 kGy/hr จนได้ตามปริมาณรังสีตั้งแต่ 10 จนถึง 140 kGy

3.3 การทดสอบความเป็นเจลของโคโตะซานไฮโดรเจล [5]

ติดตั้งเครื่องมือทำการทดสอบตาม ASTM Standards : D2765 Test Methods for Determination of Gel Content and Swell Ratio of Crosslinked Ethylene Plastics

3.3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.3.1.1 ขวดก้นกลม (Round bottom flask) ขนาด 2000 มิลลิลิตร

3.3.1.2 ท่อควบแน่น (Reflux condenser)

3.3.1.3 เครื่องให้ความร้อน (Heating mantle)

3.3.1.4 ตัวจับยึดอุปกรณ์ (Ring stand and Appropriate clamps)

3.3.1.5 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Analytical balance)

3.3.1.6 ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงตู้อบสุญญากาศ

3.3.1.7 sieve ขนาด 200 และ 250 mesh

3.3.1.8 ปีกเกอร์ขนาด 1000 mL

3.3.1.9 สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH)

3.3.1.10 น้ำกลั่น

3.3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

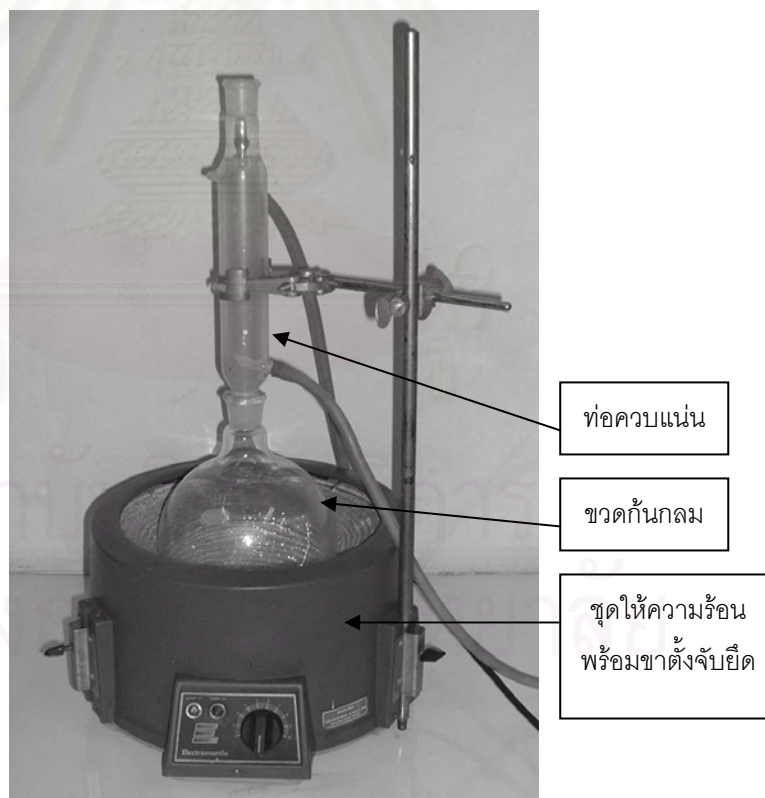
3.3.2.1 เตรียมมกล่อง sieve 15 ชั้น ซึ่งเท่ากับทุกจุดปริมาณรังสีที่ฉายต่อหนึ่งความเข้มข้นซึ่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่าที่ได้

3.3.2.2 นำสารละลายโคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีมาซึ่งให้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม ต่อมกล่อง sieve

3.3.2.3 นำโคโตซานจากข้อ 3.3.2.2 บรรจุลงในมกล่อง sieve แล้วบันทึกค่าน้ำหนักเจลเริ่มต้นที่ยังไม่หักน้ำหนักมกล่อง sieve

3.3.2.4 เตรียมสารละลายอะซิติก 10%(v/v) ประมาณให้ท่วมมกล่อง sieve เล็กน้อย

3.3.2.5 ประกอบชุดหาสัดส่วนเจลดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ชุดอุปกรณ์สำหรับหาสัดส่วนเจล

3.3.2.6 นำโคโตซานจากข้อ 3.3.2.3 ใส่ในขวดกั้นกลมแล้วปรับอุณหภูมิความร้อนให้ได้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3.3.2.7 พอร้อนได้ระดับหนึ่งแล้วเปิดน้ำเข้าที่ควบแน่นและจับเวลา 36 ชั่วโมง จึงปิดสวิทซ์ทำความร้อน

3.3.2.8 นำกล่อง sieve ออกจากขวดกั้นกลมแล้วทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

3.3.2.9 นำกล่อง sieve ไปใส่ในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2.10 นำกล่อง sieve ไปชั่งน้ำหนักและหักน้ำหนักกล่อง sieve ออกจึงได้น้ำหนักเจลแห้ง

3.3.2.11 นำน้ำหนักเจลเริ่มต้นและเจลแห้งมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจلدังสมการที่ 3.4

$$\text{Gel}(\%) = (W_d/W_i) \times 100 \quad 3.4$$

เมื่อ W_d คือน้ำหนักเจลแห้ง และ W_i คือน้ำหนักเจลเริ่มต้น

3.4 การทดสอบความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล [5]

3.4.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.4.1.1 sieve ขนาด 200 และ 250 mesh

3.4.1.2 ปีกเกอร์ขนาด 2000 mL

3.4.1.3 น้ำกลั่น

3.4.1.3 ตู้อบ

3.4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.2.1 เตรียมกล่อง sieve 15 ชิ้น ซึ่งเท่ากับทุกจุดปริมาณรังสีที่ฉายต่อหนึ่งความเข้มข้นซึ่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าที่ได้

3.4.2.2 นำสารละลายโคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีมาซึ่งให้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม ต่อกล่อง sieve

3.4.2.3 นำโคโตซานจากข้อ 3.4.2.2 บรรจุลงในกล่อง sieve แล้วบันทึกคือน้ำหนักเจลเริ่มต้นที่ยังไม่หักน้ำหนักกล่อง sieve

3.4.2.4 นำโคโตซานจากข้อ 3.4.2.3 แช่น้ำ 400 mL เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2.5 พอลบเวลานำโคโตซานจากข้อ 3.4.2.4 มาตากจนน้ำสะอาดจึงนำมาชั่งน้ำหนักซึ่งน้ำหนักที่ชั่งได้คือ น้ำหนักเจลเปียกที่ยังไม่หักน้ำหนักถ่วง sieve ออก

3.4.2.6 นำน้ำหนักเจลเริ่มต้นและเจลเปียกมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การบวมดังสมการที่ 3.5

$$\text{Swelling(\%)} = [(W_s - W_i)/W_i] \times 100 \quad 3.5$$

เมื่อ W_s คือน้ำหนักเจลเปียก และ W_i คือน้ำหนักเจลเริ่มต้น

3.5 การทดสอบความต้านทานแรงกดของแผ่นไฮโดรเจล

3.5.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.5.1.1 เครื่อง Materials Testing Machine แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่อง Materials Testing Machine ของบริษัท

LLOYD INSTRUMENTS Ltd., รุ่น LLOYD LRK

3.5.1.2 ไฮโดรเจลที่ผ่านการขึ้นรูปประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 78,000 ดอลตัน และชั้นของโคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกันที่อยู่ในโมลต์ โดยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ได้รับปริมาณรังสี 25 kGy ตลอดทุกจุดปริมาณรังสีที่โคโตซานได้รับ

3.5.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.5.2.1 เตรียมไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรและชั้นของไคโตซานที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ออกจากโมลด์

3.5.2.2 นำไฮโดรเจลที่เตรียมได้นำมาวางบนตำแหน่งทดสอบของเครื่อง Materials Testing Machines

3.5.2.3 ตั้งเครื่องให้หยุดการนับที่ 75 % ของความหนาของชิ้นงานซึ่งผลที่บันทึกได้ระบุเป็นแรงหน่วยเป็นนิวตัน

3.5.2.4 กดปุ่มเลื่อนหัวกดลงมาสัมผัสผิวของไฮโดรเจลทดสอบพอดี

3.5.2.5 ตั้งค่าเป็นศูนย์เมื่อหัวกดสัมผัสชิ้นงาน และสั่งเริ่มทำงาน

3.5.2.6 เมื่อกดมาที่บริเวณแรกแล้วเลือกบริเวณสุ่มใหม่ครั้งที่สองและทำเหมือนข้อ 3.5.2.4 เพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.5.2.7 บันทึกค่าที่ได้หลังจากเครื่องตัดและสั่งพิมพ์ผลที่ได้

3.6 การทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตเชื้อของจุลินทรีย์

ทดสอบตาม AATCC Test Method 147-1998 – Antibacterial Activity Assessment of Textile materials : Parallel Streak Method เป็นการหา Clear zone ซึ่งมีสารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ [67]

3.6.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.6.1.1 เชื้อ Escherichia coli

3.6.1.2 เชื้อ Staphylococcus aureus

3.6.1.3 เชื้อ Candida albicans

(ได้รับความอนุเคราะห์จาก ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.6.1.4 Sabouraud Dextrose Broth อาหารเลี้ยงเชื้อ C. albicans

3.6.1.5 TGE Broth อาหารเลี้ยงเชื้อ E.coli และ S. aureus

3.6.1.6 Peptone

3.6.1.7 Beef extract

3.6.1.8 โซเดียมคลอไรด์

3.6.1.9 น้ำกลั่น

3.6.1.10 ขวดกักกมล

- 3.6.1.11 หลอดทดลอง
- 3.6.1.12 Inoculating Loops
- 3.6.1.13 Petri – dishes
- 3.6.1.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.6.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.2.1 บ่มเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 C° สำหรับเชื้อ E.coli และ เชื้อ S. aureus แต่สำหรับเชื้อ C. albicans บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 C°

3.6.2.2 ทำการเจือจางเชื้อที่ปนในอัตราส่วน 1:10

3.6.2.3 จุ่มเชื้อมาลากลงบนจานแก้วที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.6.2.4 ตัดชิ้นไฮโดรเจลทดสอบเป็นรูปวงรีที่มีขนาด 25 มิลลิเมตรและยาว 50 มิลลิเมตร

3.6.2.5 ไม้พันสำลีจุ่มเชื้อจุลินทรีย์ลากเป็นเส้นยาว 60 มิลลิเมตร จำนวน 5 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นห่างกัน 10 มิลลิเมตร ลงบนแผ่นวุ้นที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อของจุลินทรีย์ในจานแก้ว

3.6.2.6 นำไฮโดรเจลทดสอบวางให้แนบที่สุบบนจานแก้ว

3.6.2.7 จากนั้นเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 C° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6.2.8 สังเกตว่ามีขอบเขตที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ที่เรียกว่า Clear zone

3.6.2.9 ทำการวัดระยะของ Clear zone ที่เกิดขึ้น

3.6.2.10 คำนวณหาความกว้างของ Clear zone ที่เป็นขอบเขตในการยับยั้งจุลินทรีย์ไม่ให้เจริญเติบโต

3.6.2.11 วิเคราะห์เป็นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เติบโตได้มาก-น้อยเพียงใด

ทดสอบด้วยวิธี Shake flask ตาม FC-TM-19 ซึ่งเป็นการทดสอบปริมาณความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ มีสารเคมีและอุปกรณ์ดังนี้[68]

3.6.3 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

- 3.6.3.1 เชื้อ Escherichia coli
- 3.6.3.2 เชื้อ Staphylococcus aureus
- 3.6.3.3 เชื้อ Candida albicans

(ได้รับความอนุเคราะห์จาก ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

- 3.6.3.4 Sabouraud Dextrose Broth อาหารเลี้ยงเชื้อ C. albicans
- 3.6.3.5 TGE Broth อาหารเลี้ยงเชื้อ E. coli และ S. aureus
- 3.6.3.6 Tryptone Soya Broth
- 3.6.3.7 BCYE
- 3.6.3.8 น้ำกลั่น
- 3.6.3.9 Saline 0.85%
- 3.6.3.10 Peptone 0.1%
- 3.6.3.11 Tryptone Soya Agar
- 3.6.3.12 สารละลาย Neutralizing-สารละลายกรดฟอสโฟริคบัฟเฟอร์ (pH=7.2)
- 3.6.3.13 Incubator
- 3.6.3.14 Laminar Flow
- 3.6.3.15 Biohazard cabinet
- 3.6.3.16 Petri – dishes
- 3.6.3.17 พาราฟิล์ม
- 3.6.3.18 ปิเปต 1.0 และ 10 mL
- 3.6.3.19 ตู้อบ
- 3.6.3.20 Waterbaths
- 3.6.3.21 ตู้เย็น
- 3.6.3.22 Colony counter
- 3.6.3.23 ขวดก้นกลม
- 3.6.3.24 หลอดทดลอง
- 3.6.3.25 Inoculating Loops
- 3.6.3.26 ปีกเกอร์ 600 mL
- 3.6.3.27 Forceps
- 3.6.3.28 เครื่องเขย่า

3.6.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.6.4.1 นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ป่มแล้ว 1 ชั่วโมง มาใส่ไว้ในขวดแก้ว 2 ขวด

3.6.4.2 ขวดแรกจะใส่ตัว control คือเป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลจำนวน 1 กรัม และส่วนขวดที่ 2 จะใส่เจลปิดบาดแผลในส่วนของโคโตซานไฮโดรเจลจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วที่มีจุลินทรีย์

3.6.4.3 ทำการเขย่าขวดแก้วทั้งสองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.6.4.4 ดูดเชื้อจากขวดแก้วทั้งสองขึ้นมาแล้วทำการเจือจางเชื้อจุลินทรีย์ตามความเหมาะสม

3.6.4.5 นำเอาเชื้อที่เจือจางแล้วแต่ละขวดมาหยดใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์

3.6.4.6 ทำการเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

3.6.4.7 นับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อที่ได้เชื่อมมาจากขวดแก้วที่มีโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลทดสอบให้ค่านี้แทนด้วย A แล้วทำเช่นกัน นับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อที่ได้เชื่อมมาจากขวดแก้วที่มีโคโตซานไฮโดรเจลทดสอบให้ค่านี้แทนด้วย B

3.6.4.8 คำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของจุลินทรีย์ ดังสมการที่ 3.6

$$\text{Percent reduction} = 100 \times (A - B) / A \quad 3.6$$

3.7 การทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของโคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)

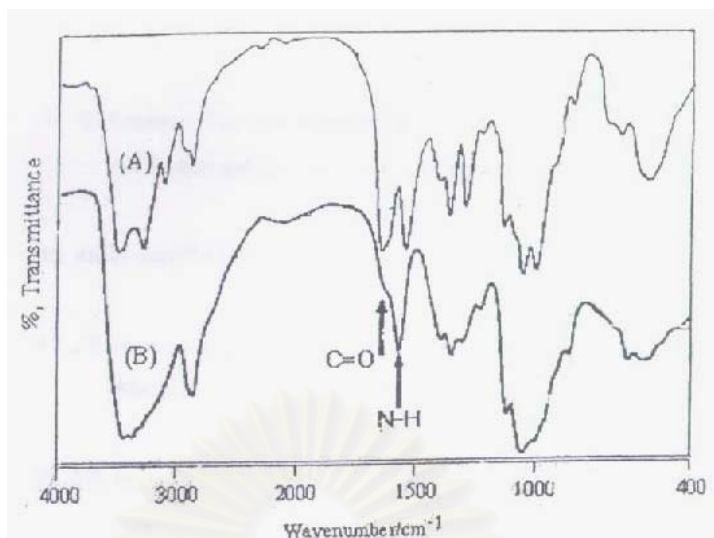
3.7.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.7.1.1 โคโตซานไฮโดรเจล

3.7.1.2 เครื่อง Vector 3.0 Bruker spectrometer

3.7.1.3 อินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโตซาน แสดงดังรูปที่ 3.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.12 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโตซาน [69]

(A) โคติน (B) โคโตซาน

3.7.2.1 ชนิดของการสั่นและความถี่ของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโตซาน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดของการสั่นและความถี่ของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโตซาน [24]

ชนิดของการสั่น (Vibrational assignment)	ความถี่ของการสั่น(cm^{-1}) ของโคโตซาน
N-H,O-H stretching (overlapping)	3400-3600
C-H stretching	2878
C=O stretching (residual)	1665
N-H bending (amine)	1590
C-H bending	1380
C-N bending	1313
C-O bending	1030

3.7.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.7.2.1 เตรียมโคโตซานไฮโดรเจลน้ำหนักประมาณ 1 กรัม

3.7.2.2 บดโคโตซานให้ละเอียด (ห้ามบดในครกจะเกิดการปนเปื้อน)

3.7.2.3 นำโคโตซานที่บดละเอียด นำไปใส่เซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์

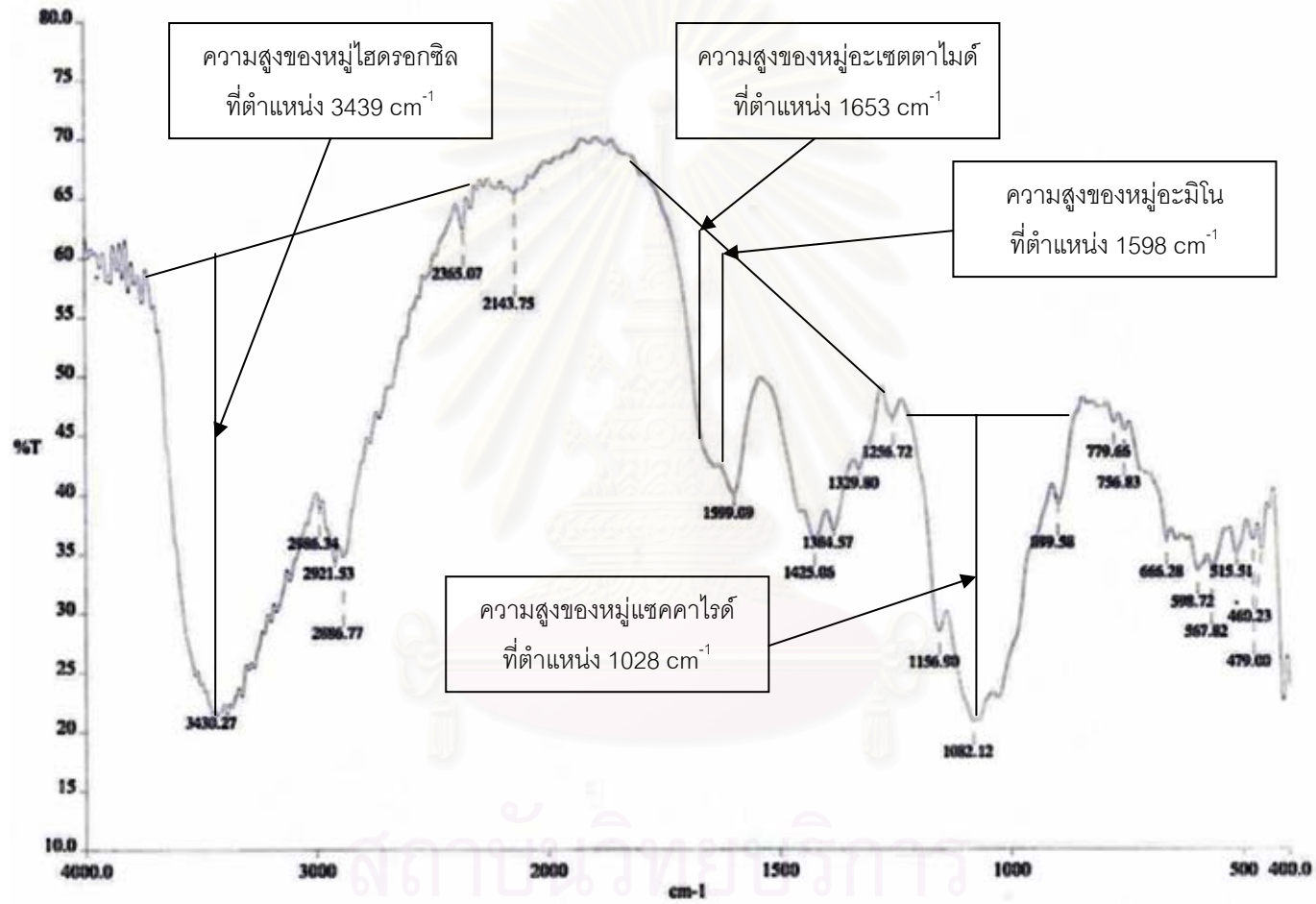
3.7.2.4 นำเซลล์ไปใส่ในเครื่องทดสอบ โดยเครื่องจะสแกน 64 รอบ

3.7.2.5 นำผลที่ได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของโคโคซาน และเทียบการสั่นและความถี่ของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัม

3.7.2.5 หาความสูงจากฐานพีคถึงยอดพีคในแต่ละหมู่ในการวิเคราะห์ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล , หมู่อะมิโน , หมู่อะเซตตามิโด และหมู่แซคคาไรด์ (internal standard peak) ซึ่งมีตำแหน่งของพีคอยู่ที่ 3439 , 1598 , 1653 และ 1028 cm^{-1} ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเทียบกับแซคคาไรด์หรือหมู่ไฮดรอกซิล [70] แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.15



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างในการหาความสูงของพีคแต่ละหมู่ฟังก์ชัน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

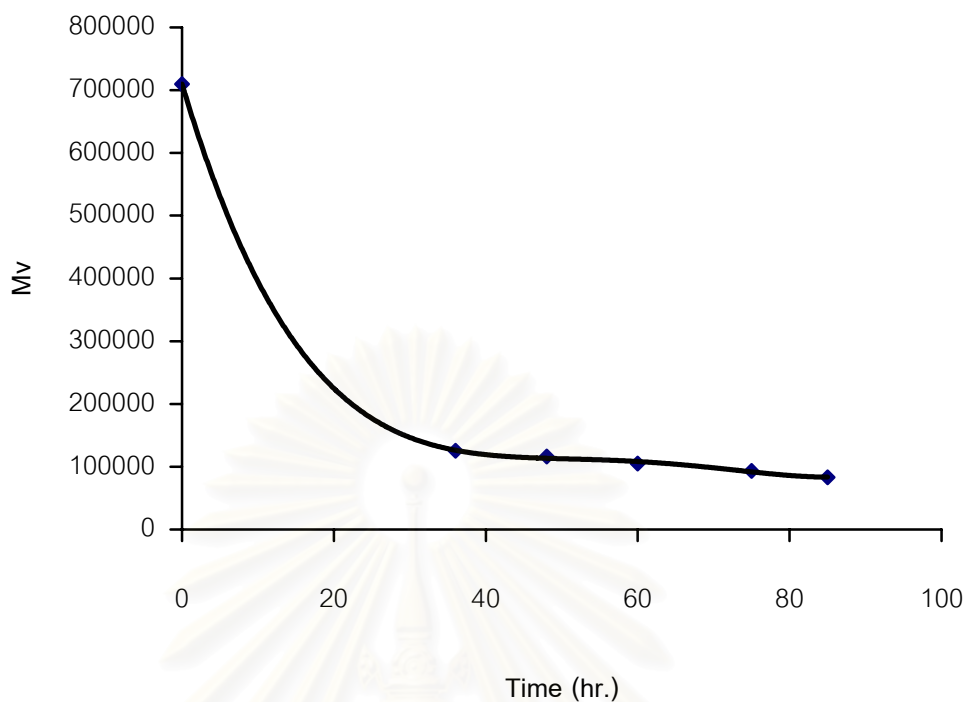
4.1 ผลการสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent

เตรียมสารละลายประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1%(v/v) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 %(w/v) ให้ได้ pH เท่ากับ 9 จากนั้นนำ 80%DDโคโตซานซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล (M_v) เท่ากับ 7.1×10^5 ไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อหาช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่อยู่ประมาณ 100,000 ดอลตัน เมื่อครบเวลาแช่ในสารละลายแล้วนำโคโตซานมาล้างน้ำจนสะอาด ไม่มีสารละลายติดมาด้วยแล้วนำมาเข้าตู้อบจนแห้ง จึงนำทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล (viscosity average molecular weight, M_v) โดยใช้ Ubbelohde viscometer แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้สลายน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่อุณหภูมิห้องโดย 1% H_2O_2 ที่ pH 9

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักโมเลกุลโคโตซาน (ดอลตัน)
0	710,000
36	125,251
48	116,326
60	105,195
75	93,466
85	82,897

และความสัมพันธ์ระยะเวลากับน้ำหนักโมเลกุล (M_v) ของโคโตซานแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลตามระยะเวลาในการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลที่ได้คล้ายกับวิธีทางรังสีที่เป็นตัวย่อยสลายโมเลกุล โดยปริมาณรังสีที่เพิ่มจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของสารละลายโคโตซานลดลง ข้อแตกต่างของการย่อยสลายโมเลกุลทางรังสีและเคมีคือ การใช้รังสีเป็นตัวย่อยสลายโมเลกุลจะทำให้โคโตซานเป็นสีน้ำตาล ส่วนวิธีแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะได้โคโตซานเป็นสีขาว



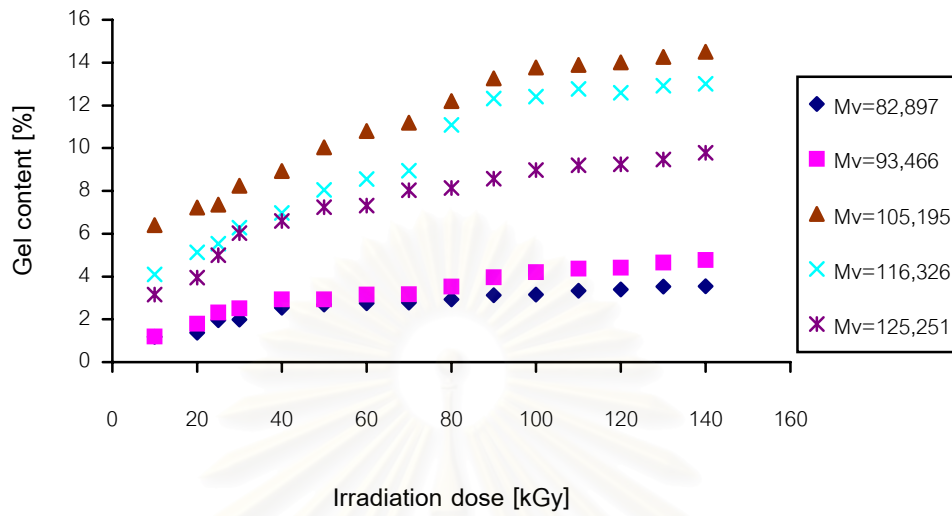
รูปที่ 4.1 แสดงระยะเวลาที่โคโตซานถูกแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สภาวะของแข็ง จนน้ำหนักโมเลกุลเข้าใกล้ 100 กิโลดอลตัน

การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานจากการสลายน้ำหนักโมเลกุลตามระยะเวลาในตารางที่ 4.1 โดยใช้วิธีวัดโคสมิเตอร์หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นต่างๆ และนำค่าเวลาที่ได้ไปวิเคราะห์จากกราฟแล้วใช้การแก้สมการ จึงออกมาเป็นค่าน้ำหนักโมเลกุลแสดงในภาคผนวก ก.

4.2 ผลการทดสอบขนาดโมเลกุลโคโตซาน ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของโคโตซาน

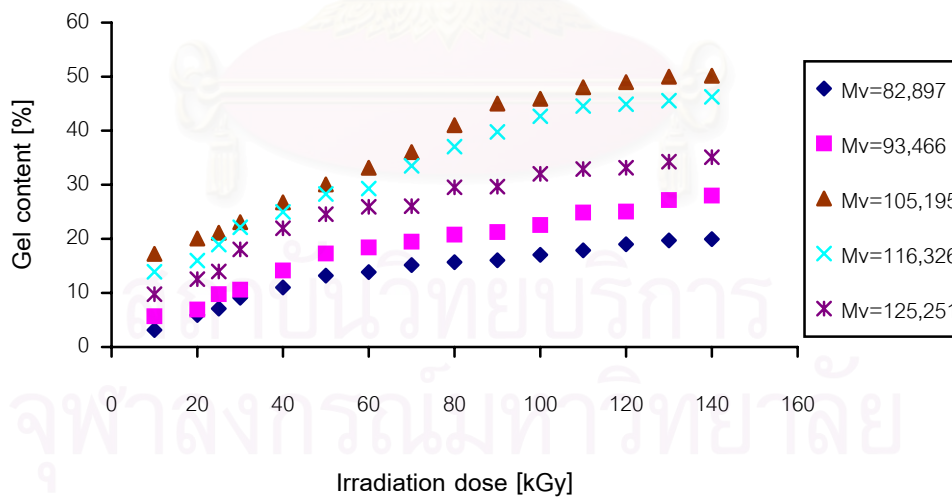
โคโตซานไฮโดรเจลที่ได้จากการฉายรังสี ผลจากการสังเกตพบว่ามีความนุ่มและเนื้อแน่น แต่เนื่องจากใช้กระบวนการทางรังสีจะทำให้โคโตซานมีสีน้ำตาล โดยปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจะส่งโคโตซานมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เนื่องจากเกิดคาร์บอนิลจากการย่อยโมเลกุล การทดสอบนี้ศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของโคโตซานซึ่งมีตัวแปรขึ้นกับความเข้มข้นของโคโตซานไฮโดรเจลและน้ำหนักโมเลกุล ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 ,4.3 และ 4.4 และผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก ข

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ข.2, ข.5, ข.8, ข.11 และ ข.14 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความเป็นเจล ที่ความเข้มข้น 40% โคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.2



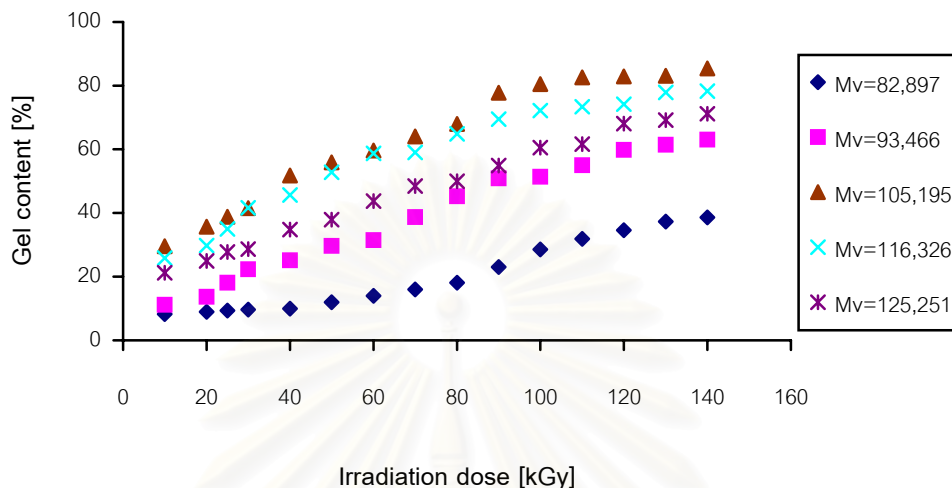
รูปที่ 4.2 แสดงความเป็นเจลของโคโตซาน ที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ข.3, ข.6, ข.9, ข.12 และ ข.15 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความเป็นเจล ที่ความเข้มข้น 50% โคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความเป็นเจลของโคโตซาน ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ข.4, ข.7, ข.10, ข.13 และ ข.16 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความเป็นเจล ที่ความเข้มข้น 60% ไคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.4

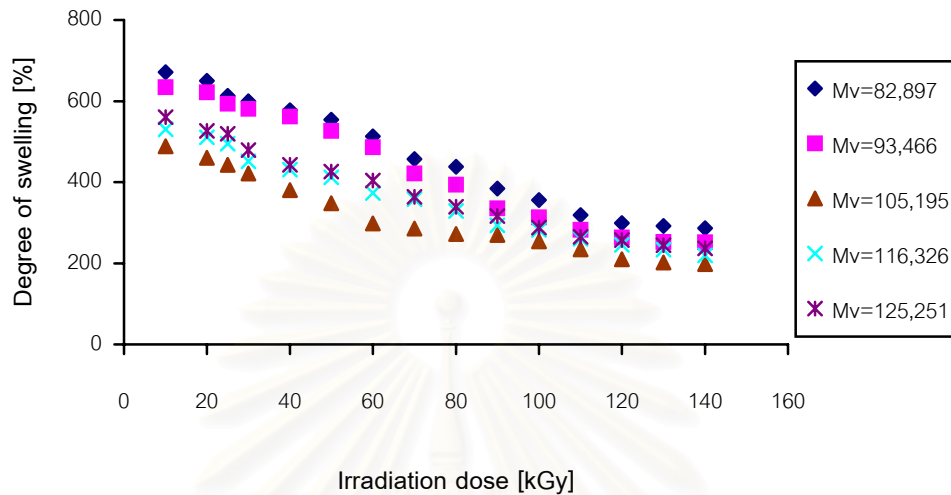


รูปที่ 4.4 แสดงความเป็นเจลของไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลการทดสอบขนาดโมเลกุลไคโตซาน ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซาน

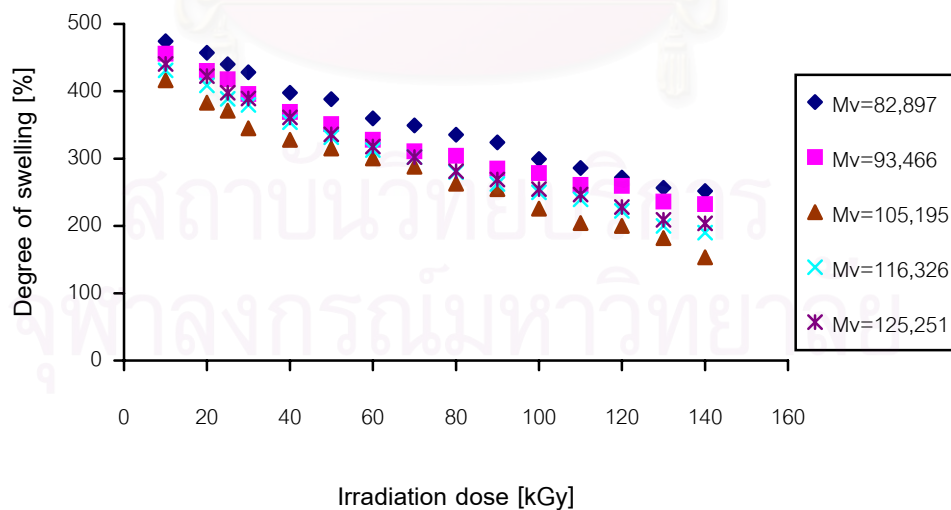
ไคโตซานไฮโดรเจลที่ได้จากการฉายรังสีมีลักษณะเป็นก้อน จากนั้นแบ่งมาทดสอบความสามารถในการดูดน้ำ โดยนำไคโตซานมาบดใส่ในกล่อง sieve แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น ผลจากการสังเกตพบว่าไคโตซานไฮโดรเจลที่ถูกบดเป็นผงเกิดการบวมน้ำ ลักษณะไคโตซานไฮโดรเจลที่ถูกบดเป็นผงก่อนนำมาแช่น้ำเกิดรวมตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะสีใสและเนื้อเจลมีความนุ่มนวล เนื่องจากมีการอุ้มน้ำ เมื่อนำเข็มไปทิ่มที่ไคโตซานไฮโดรเจลพบว่าการคืนตัวดีและไม่แตกตัว การทดสอบนี้ศึกษาผลของปริมาณรังสีมีผลต่อความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจลซึ่งมีปัจจัยที่ขึ้นกับความเข้มข้นของไคโตซานและน้ำหนักโมเลกุล ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.5 ,4.6 และ 4.7 และผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก ค

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ค.2, ค.5, ค.8, ค.11 และ ค.14 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำ ที่ความเข้มข้น 40% โคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5



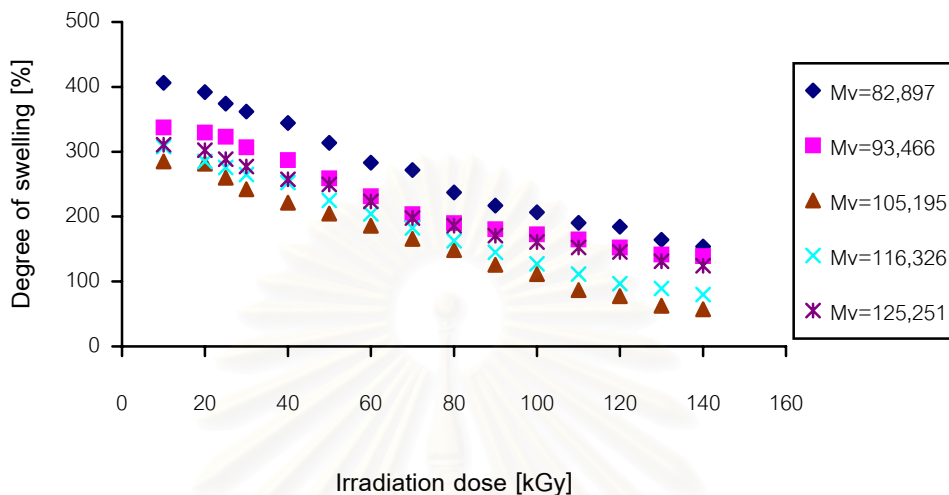
รูปที่ 4.5 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ค.3, ค.6, ค.9, ค.12 และ ค.15 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำ ที่ความเข้มข้น 50% โคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ค.4, ค.7, ค.10, ค.13 และ ค.16 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำ ที่ความเข้มข้น 60% โคโตซาน ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7

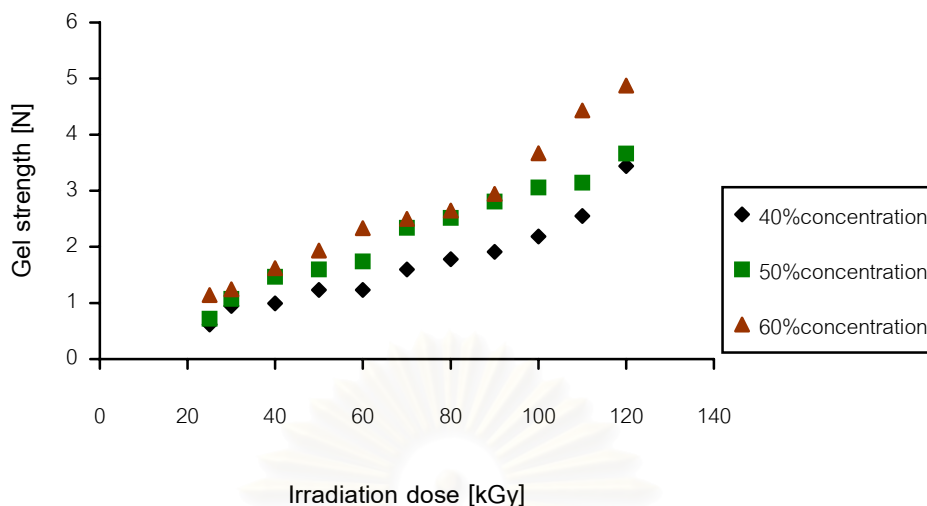


รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์

4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของไฮโดรเจล

การทดสอบความต้านทานแรงกดจะเลือกน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ให้ความเป็นเจลและความสามารถในการดูดน้ำที่ดีที่สุดคือ 105,195 คอลตัน นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 78,000 คอลตัน ก่อนนำไปทดสอบจะต้องนำไฮโดรเจลออกจากโมลด์ เพื่อไม่ให้เกิดแรงดึงที่ผิวระหว่างขอบโมลด์ในการทดสอบ ในการทดสอบเลือกตำแหน่งในการทดสอบ 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ในการกดชิ้นงานห้กดจะกดลงมาในแนวตั้ง ชั้นของโคโตซานจะอยู่ด้านบนและชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะอยู่ด้านล่าง หัวกดจะกดผ่านชั้นของโคโตซานไฮโดรเจลก่อน ผลจากการสังเกตพบว่าความแข็งแรงของเจลค่อนข้างดี ผลที่ได้แสดงในรูป 4.8 และข้อมูลในการทดสอบในภาคผนวก ง

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ง.1, ง.2 และ ง.3 นำมาสร้างกราฟที่แสดงถึงความต้านทานแรงกดของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นโคโตซานต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงผลความต้านทานแรงกดที่ระดับความเข้มข้นและปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน

4.5 ผลการทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล

ในการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ใช้สองมาตรฐาน คือ AATCC 147-1998 (วิธี Clear zone) และ FC-TM-19 (วิธี Shake flask) พบว่าในมาตรฐานแรก ซึ่งให้เห็นอิทธิพลการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าไฮโดรเจลที่นำไปทดสอบมีคุณสมบัติดังกล่าวจริง ส่วนมาตรฐานที่สองจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน ผลที่ได้จากการสังเกตทั้ง 2 มาตรฐาน พบว่าวิธี Clear zone ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นเลยและวิธี Shake flask สามารถเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้น้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ข้อมูลในการทดสอบในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล (AATCC 147-1998)

ไฮโดรเจล	การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์		
	S.aureus	E.coli	C.albicans
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	ได้มาก	ได้มาก	ได้น้อยมาก
ไคโตซาน	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก
PVA/Chitosan	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก

ตารางที่ 4.3 ผลเปอร์เซ็นต์ความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของไฮโดรเจล

(FC-TM-19)

เชื้อจุลินทรีย์	Dilution	Percent reduction	
		PVA Hydrogel	CS Hydrogel
S. aureus	10^{-2}	4.24	100
E. coli	10^{-2}	1.06	100
C. albicans	10^{-2}	100	100

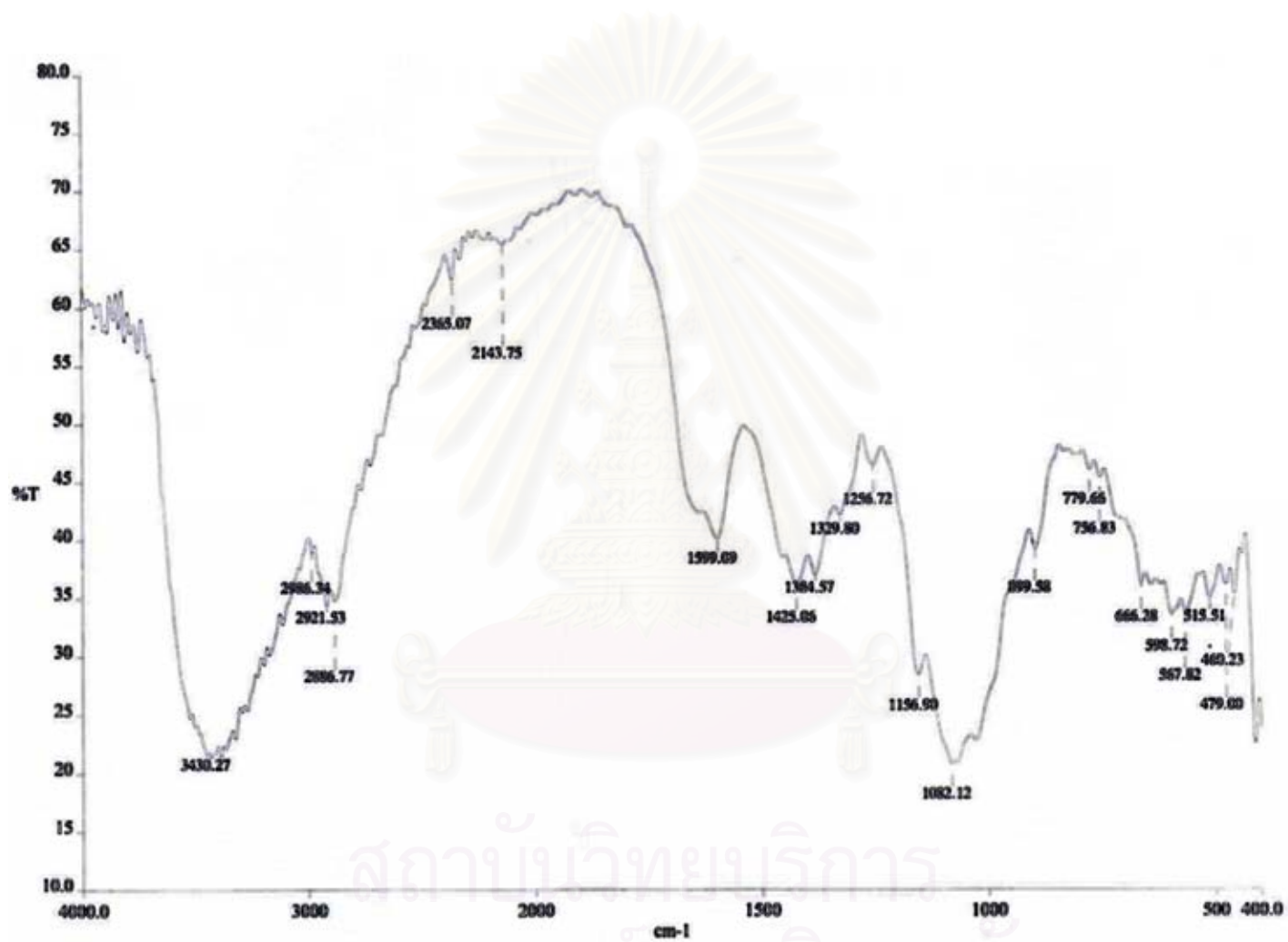
หมายเหตุ ที่ Dilution 10^{-3} พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

4.6 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของไคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

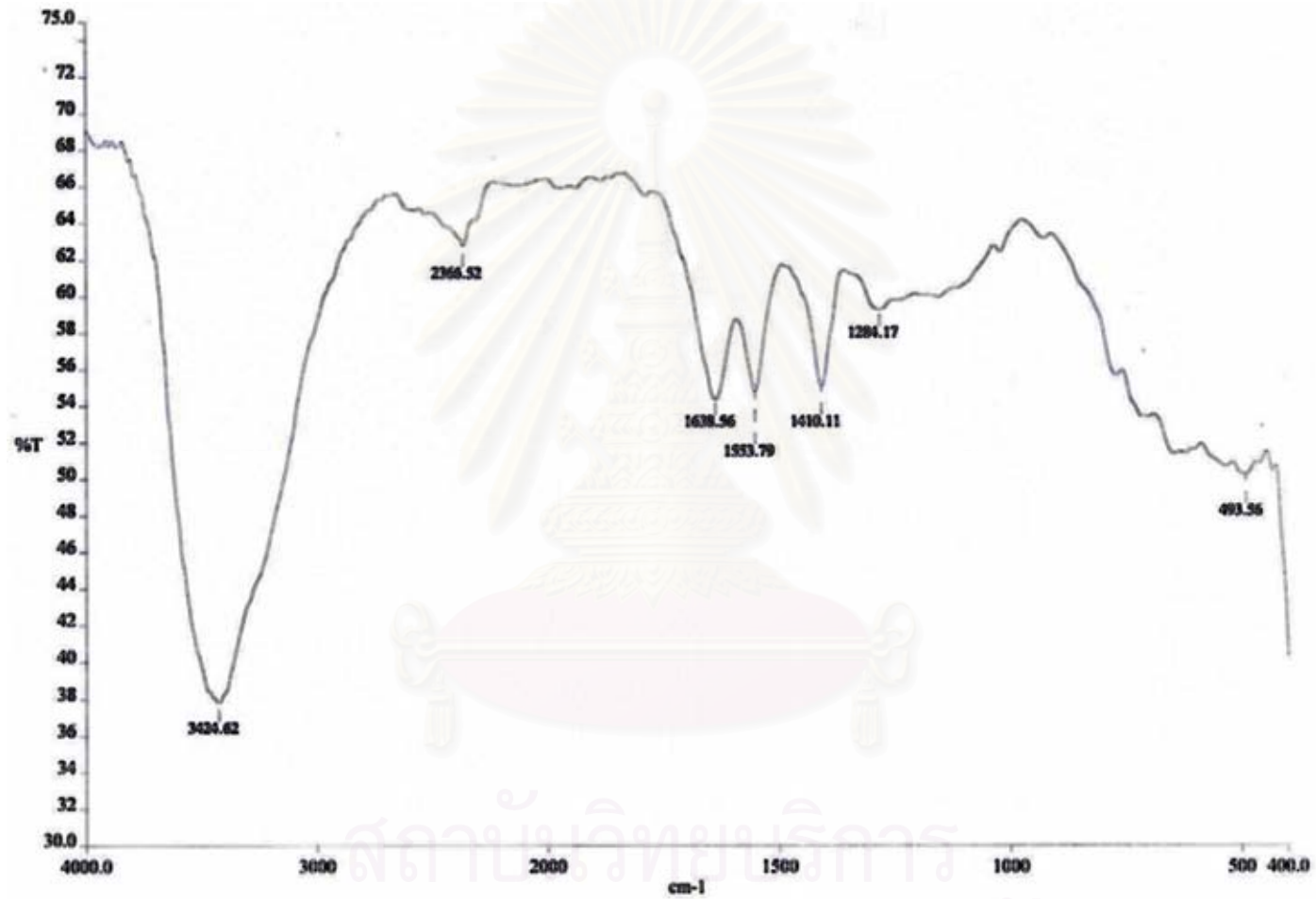
ในการทดสอบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของไคโตซาน ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.9-4.14 จากอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานไฮโดรเจลก่อนและหลังฉายรังสี พบว่ามีการดูดกลืนแสงในย่านความถี่ตรงกันหรือใกล้เคียงกันกับอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของไคโตซานยืนยันได้ว่าเป็นโมเลกุลของไคโตซาน และเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของไคตินและไคโตซานที่ %DD ต่างกัน พบว่าใกล้เคียงกับชนิดของการสั่นและความถี่ของการสั่นของอินฟราเรดสเปกตรัมอ้างอิงของไคโตซาน ความสูงของพีคในการวิเคราะห์ ได้แก่ หมู่อะมิโน หมู่อะเซตตามาไมด์และช่วงแซคคาไรด์ จากการสังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณรังสีที่เปลี่ยนไป

ไคตินที่ผ่านการทรีทเมนต์ด้วย NaOH ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเพื่อแยกโคโพลิเมอร์ระหว่างไคติน-ไคโตซานที่เวลาต่าง ๆ โดย NaOH จะทำให้ NH_2 เพิ่มขึ้น ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.15-4.18

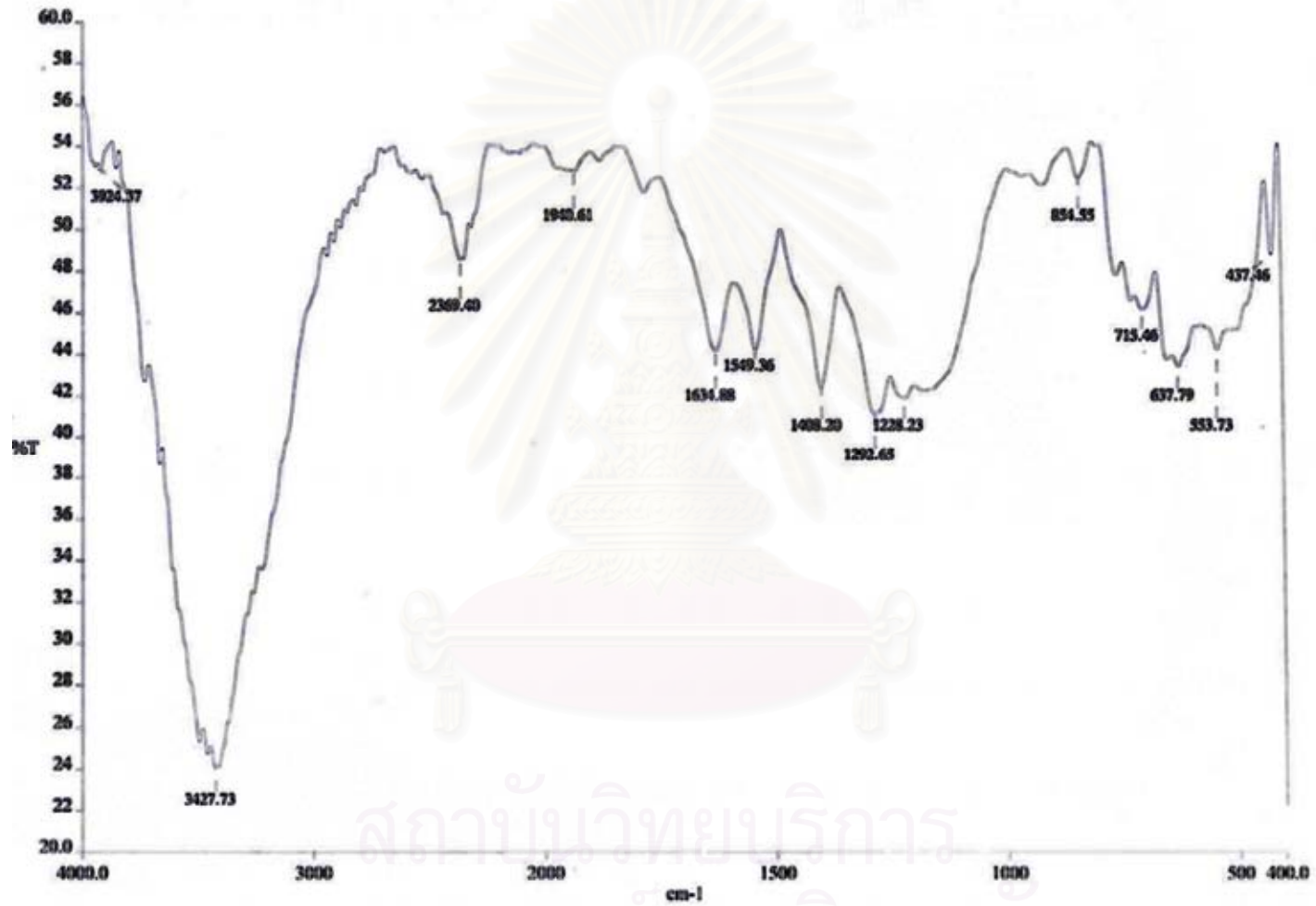
ไคตินที่ผ่านการทรีทเมนต์ด้วย NaOH จนได้ Degree of deacetylation ต่าง ๆ กัน นำมาผ่านกระบวนการทำเป็นไคโตซานไฮโดรเจลแล้วนำไปฉายรังสีที่ 25 kGy ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.19-4.22



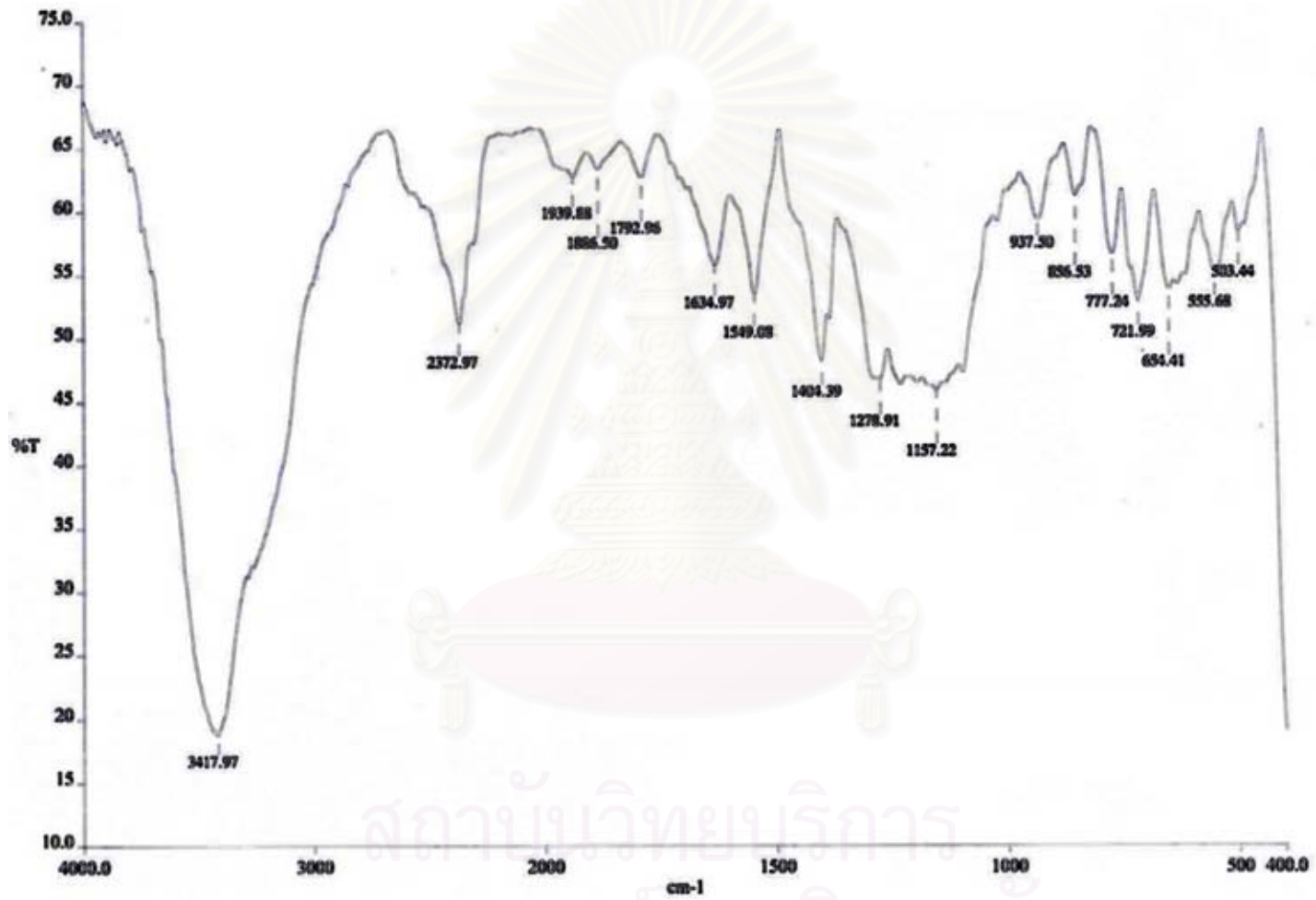
รูปที่ 4.9 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานที่ปริมาณรังสี 0 kGy



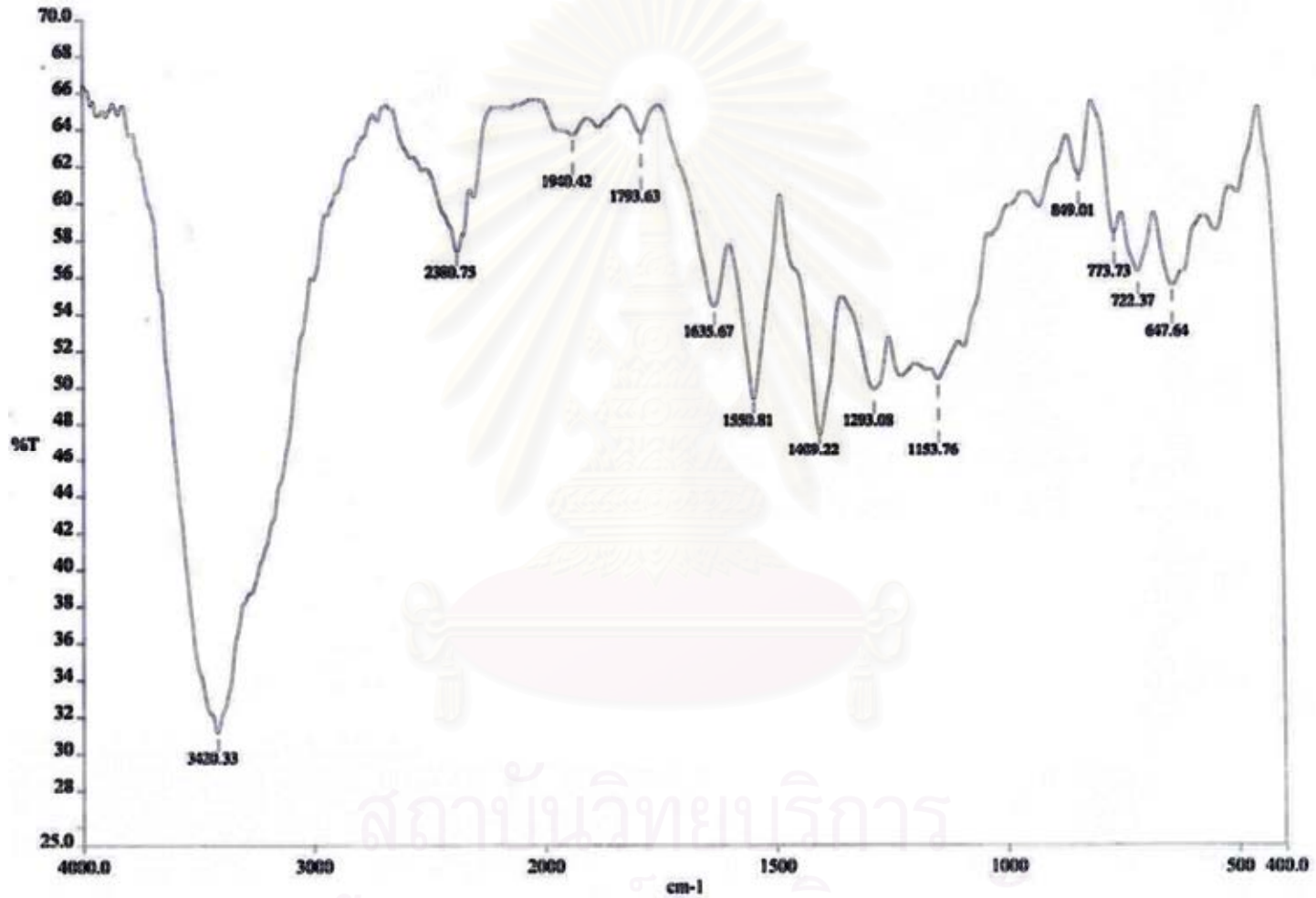
รูปที่ 4.10 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 15 kGy



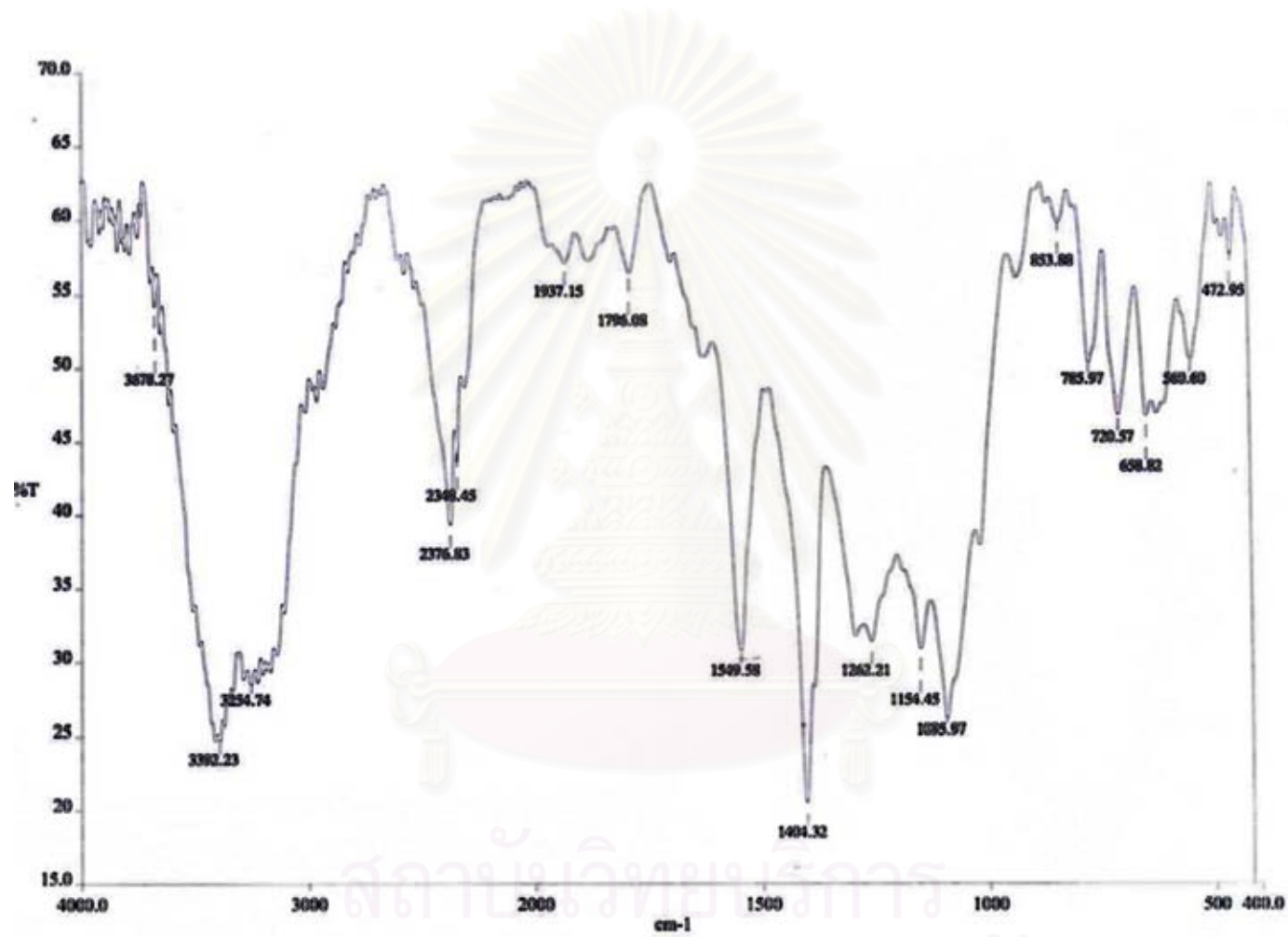
รูปที่ 4.11 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGy



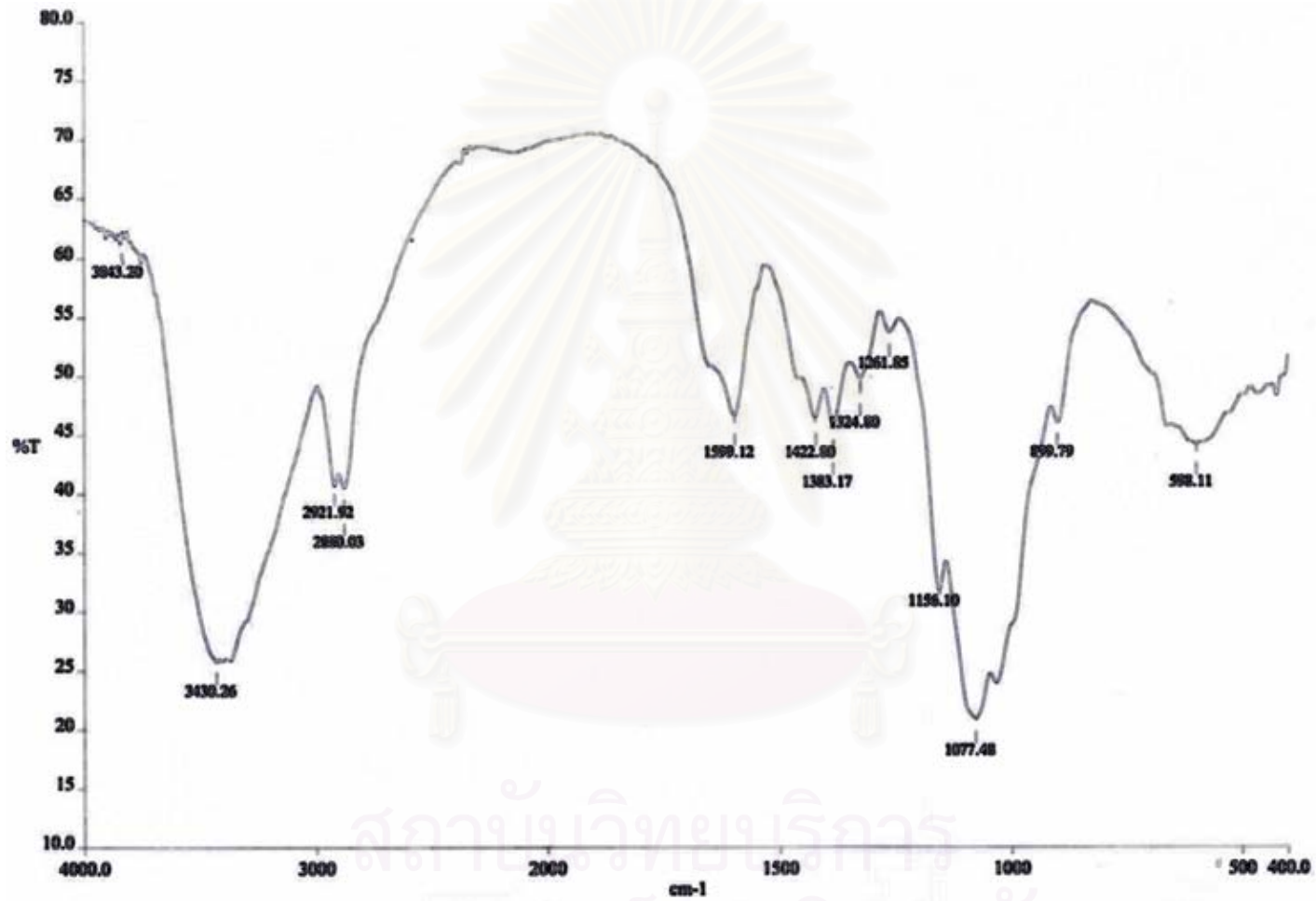
รูปที่ 4.12 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 30 kGy



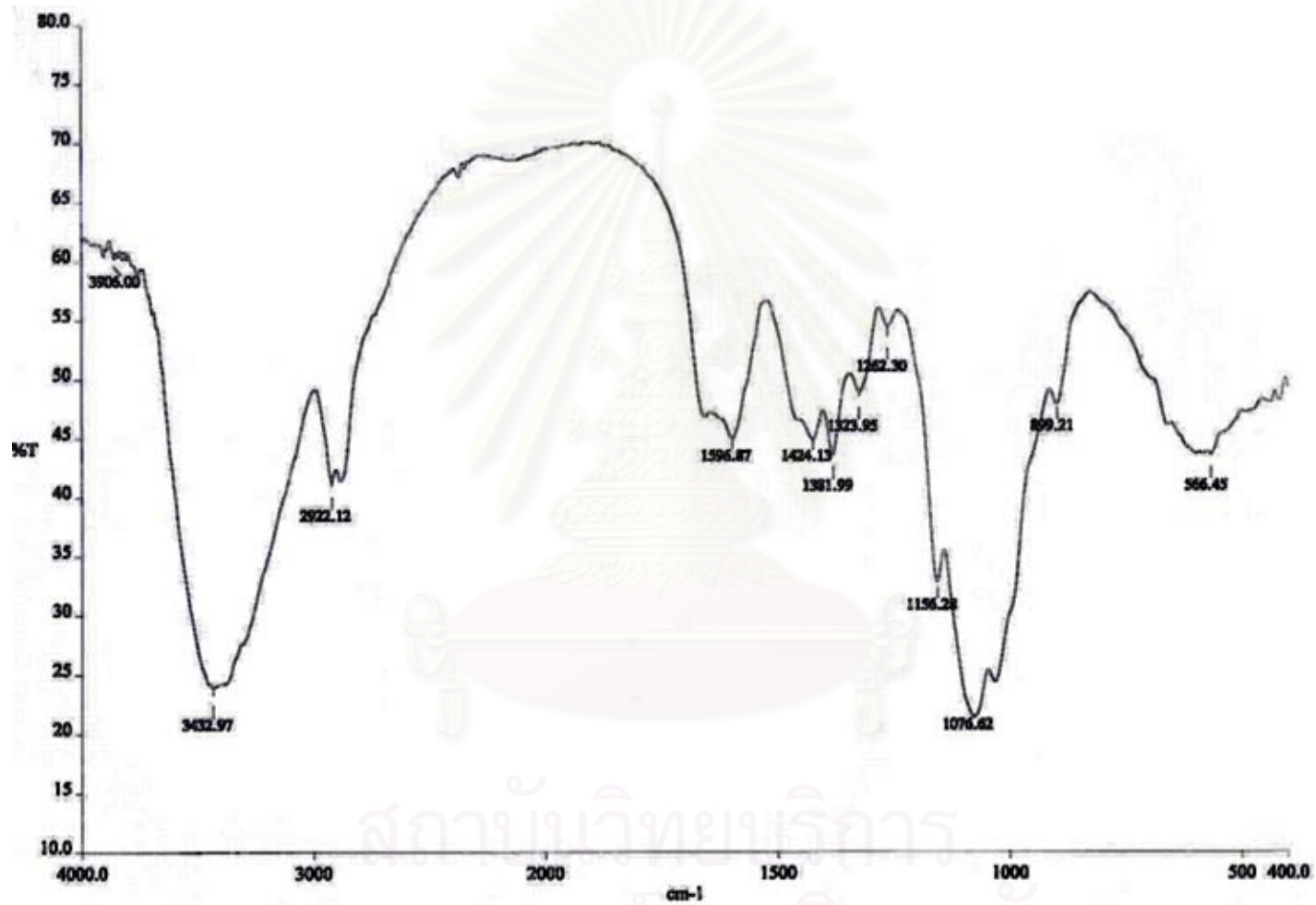
รูปที่ 4.13 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 40 kGy



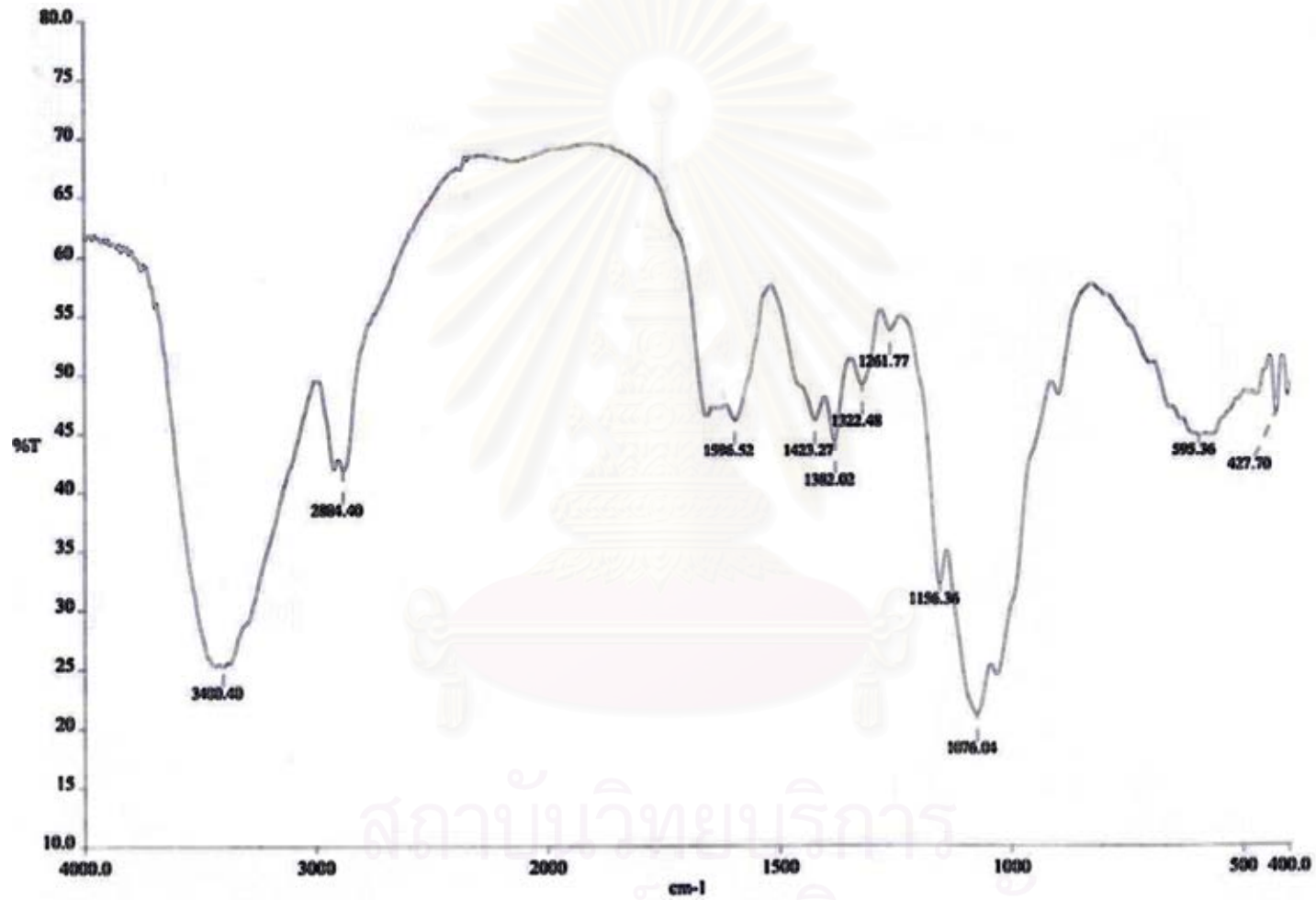
รูปที่ 4.14 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DD ไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 90 kGy



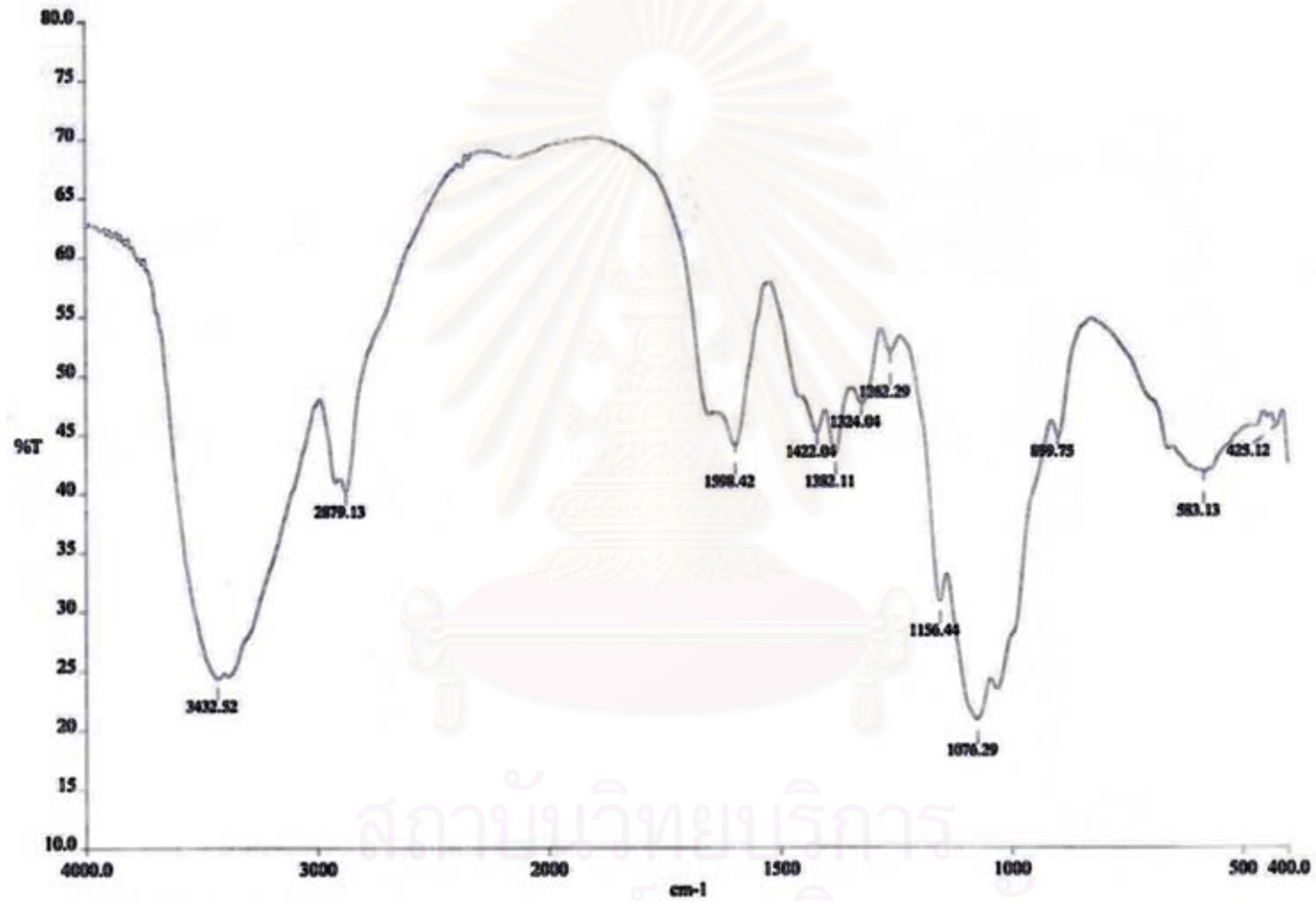
รูปที่ 4.15 แสดง FT-IR spectrum ของ 65%DDโคโคซานที่ปริมาณรังสี 0 kGy



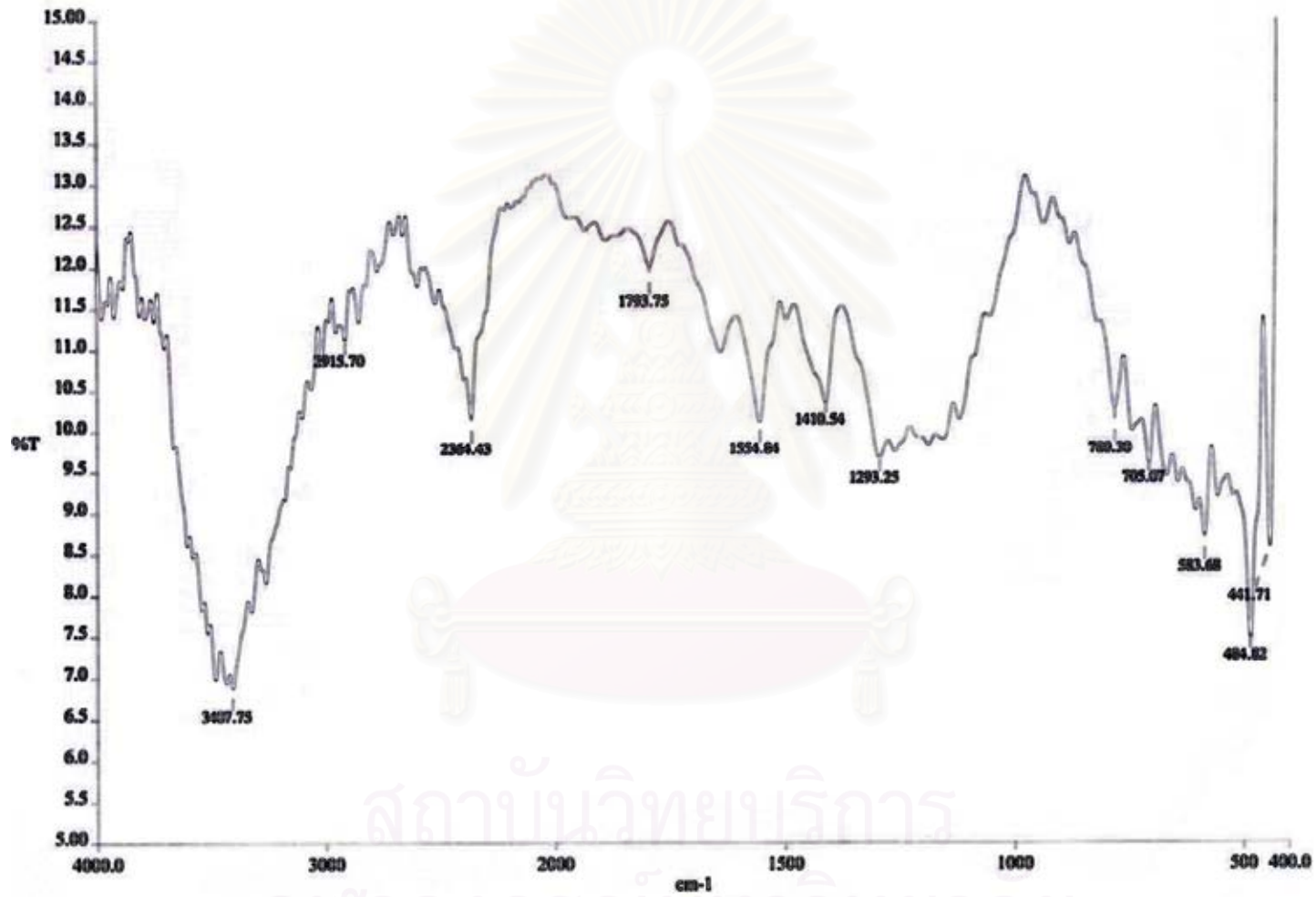
รูปที่ 4.16 แสดง FT-IR spectrum ของ 71%DDไคโตซานที่ปริมาณรังสี 0 kGY



รูปที่ 4.17 แสดง FT-IR spectrum ของ 75%DDไคโตซานที่ปริมาณรังสี 0 kGy

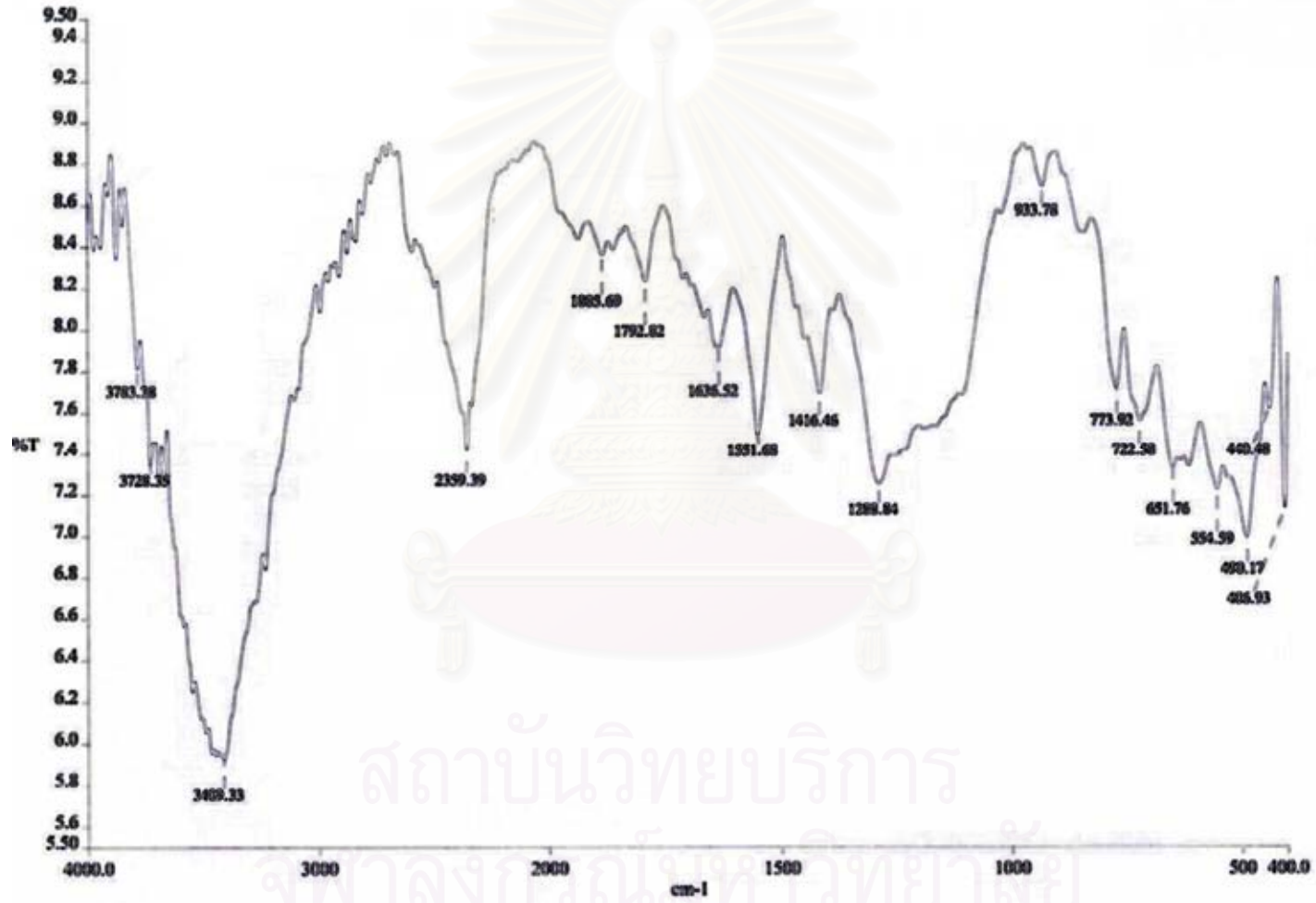


รูปที่ 4.18 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DDไคโตซานที่ปริมาณรังสี 0 kGy

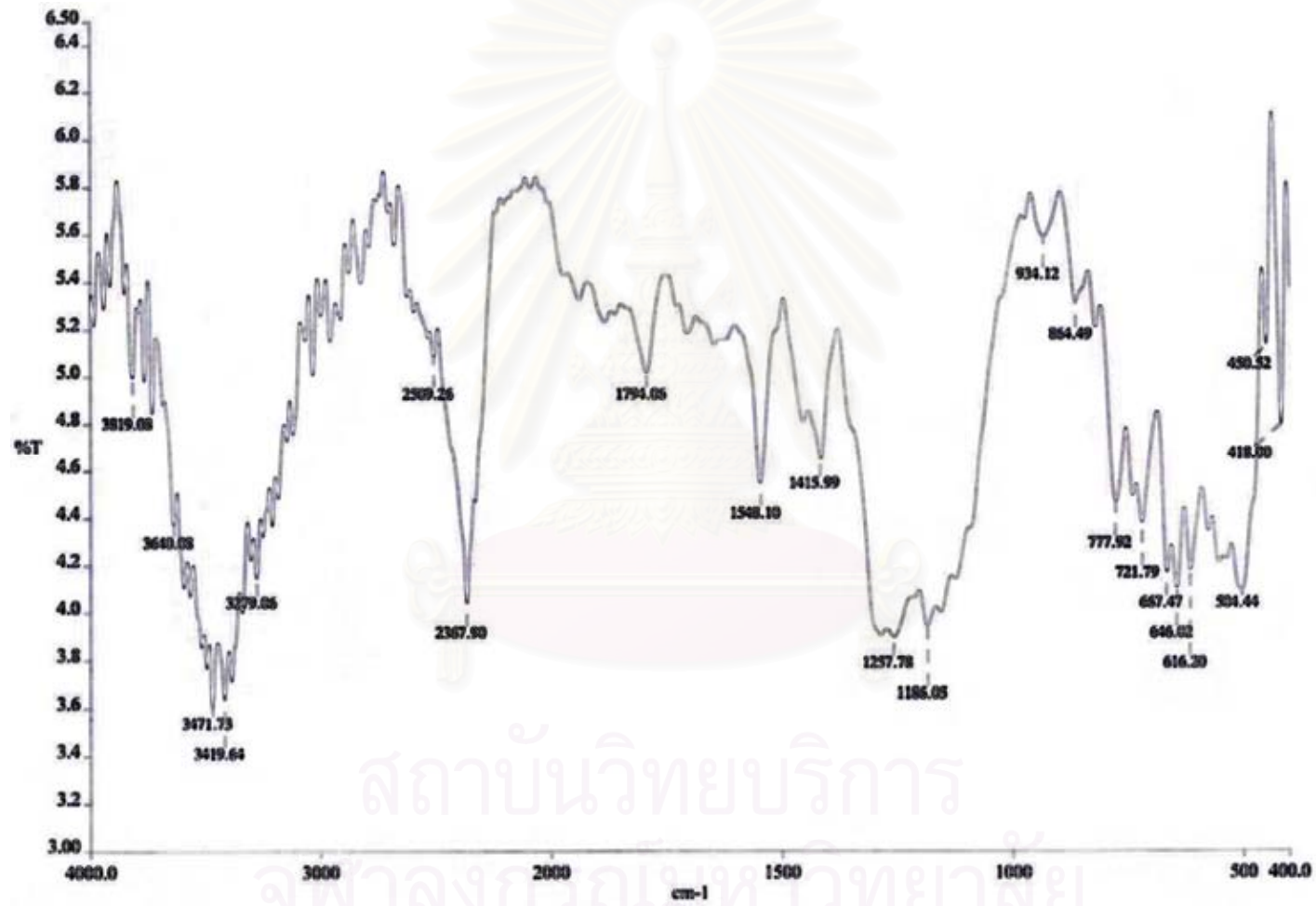


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

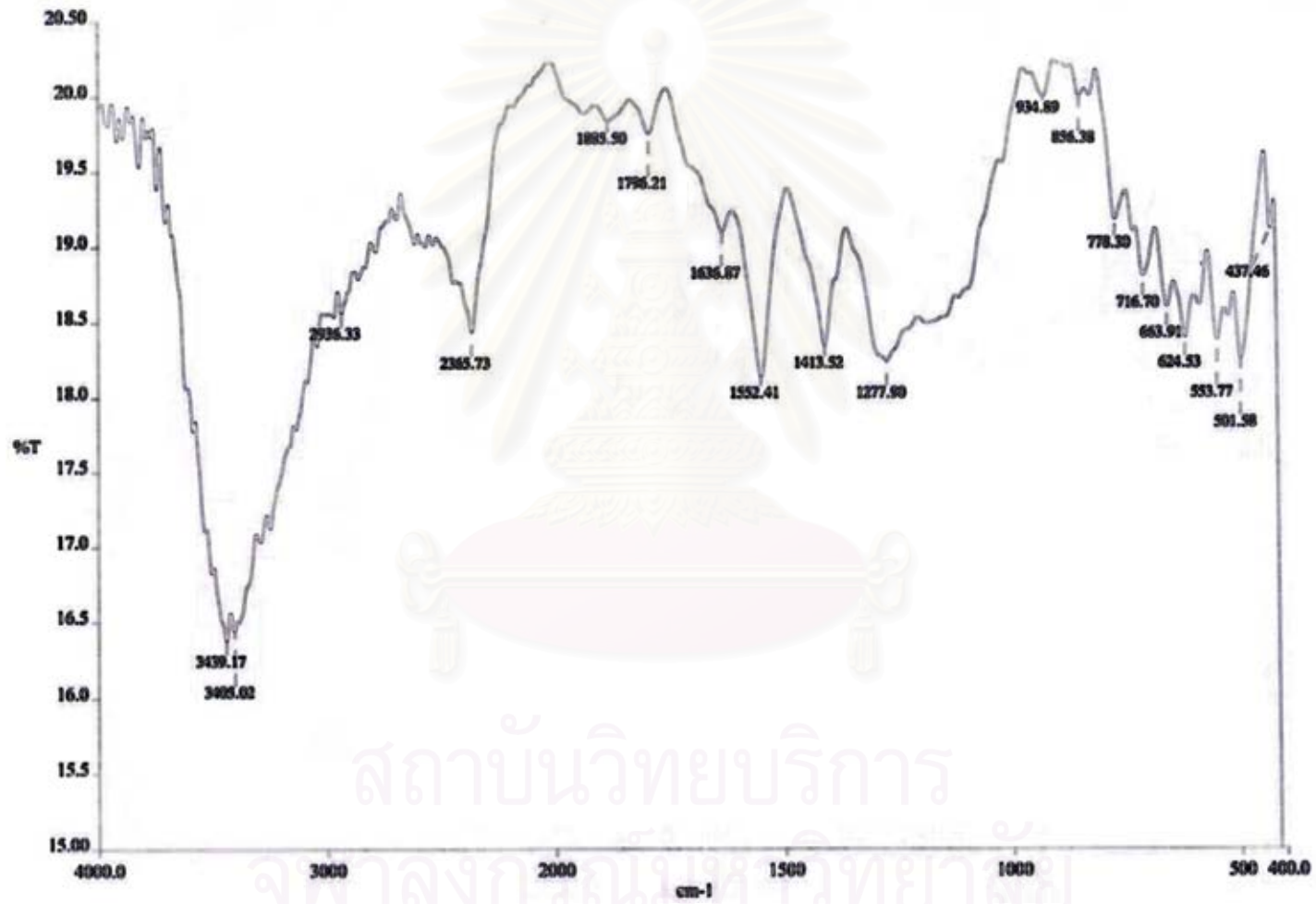
รูปที่ 4.19 แสดง FT-IR spectrum ของ 65%DDไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGy



รูปที่ 4.20 แสดง FT-IR spectrum ของ 71%DDไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGy



รูปที่ 4.21 แสดง FT-IR spectrum ของ 75%DDไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGy



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.22 แสดง FT-IR spectrum ของ 80%DDไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 25 kGy



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent ที่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลโคโตซาน

เมื่อนำโคโตซานไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้โคโตซานเกิดการเสื่อมสลาย (degradation) ที่พันธะ β 1, 4 ซึ่งนำไปสู่การลดลงของน้ำหนักโมเลกุล การหาน้ำหนักโมเลกุลประเมินค่าได้โดยผ่านการวิเคราะห์จาก Intrinsic Viscosity จากการทดลองพบว่าโคโตซานซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเริ่มต้นประมาณ 7.1×10^5 ดอลตัน นำมาแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สถานะของแข็งตามระยะเวลาต่างๆ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าโคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุล (M_w) อยู่ในช่วงประมาณ 100 กิโลดอลตัน โดยน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงอย่างสม่ำเสมอและลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเข้าใกล้ 100 กิโลดอลตัน ผลการคำนวณที่ได้อยู่ในภาคผนวก ก. การลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานมีผลต่อบริเวณ amorphous region ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโครงสร้างอย่างหลวม ๆ และไม่เป็นระเบียบก่อนที่จะไปสลายตรงบริเวณ crystalline region ซึ่งโครงสร้างบริเวณนี้มีความเป็นผลึกสูงและสลายตัวได้ไม่ดี

จากที่กล่าวมาข้างต้นผลการสลายน้ำหนักโมเลกุลของสารโคโตซานด้วยวิธีเบสไฮโดรไลซิสโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น oxidative agent สรุปได้ดังนี้

- จากการทดลองสามารถเตรียมโคโตซานให้มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 100,000 ดอลตันได้ เนื่องจากโคโตซานที่ขนาดโมเลกุลเล็กนี้จะสามารถละลายในกรดอะซิติก 1% ได้ในปริมาณมากถึง 60% จึงมีโอกาสนในการครอสลิงค์สูงด้วยรังสี

5.2 ผลของขนาดโมเลกุลโคโตซาน ความเข้มข้นและปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของโคโตซาน

การเกิดครอสลิงค์สารละลายโคโตซานสามารถพิจารณาจากความเป็นเจลของโคโตซานหลังจากที่นำไปรีฟลักซ์ในกรดอะซิติกเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ปริมาณรังสีมีผลต่อโครงสร้างเคมีของโคโตซานคือ ปริมาณรังสีสูงขึ้นไปจะส่งผลให้สารละลายโคโตซานเกิดการครอสลิงค์สูง และ

ปริมาณรังสีต่ำจะส่งผลให้เกิดการครอสลิงค์ต่ำซึ่งมีส่วนที่สามารถละลายได้ในกรดอะซิติก เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของไคโตซานที่ยังไม่ได้ฉายรังสียังอยู่สภาพที่ไม่แข็งแรง เนื่องจากช่องว่างในโครงสร้างที่แน่นของไคโตซานและระยะของ Intermolecular H-Bond และ Intramolecular H-Bond ค่อนข้างไกลทำให้เกิดการครอสลิงค์ได้ยาก การที่นำไคโตซานที่ยังไม่ได้ฉายรังสีไปรีฟลักซ์พบว่าความเป็นเจลไม่เกิดขึ้นเลย แต่ไคโตซานไฮโดรเจลได้รับปริมาณรังสีแล้วนำไปรีฟลักซ์พบว่าเกิดความเป็นเจลเกิดขึ้นและจะพบความเป็นเจลมากขึ้นเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าความเป็นเจลสูงขึ้น เมื่ออยู่ในสภาวะปราศจากออกซิเจนก่อนฉายรังสี ดังนั้นจึงต้องควบคุมไม่ให้มีออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปในถุงได้ เพราะจะทำให้เกิดอนุมูลเปอร์ออกซีซัดขวางการครอสลิงค์ การฉายรังสีที่ปริมาณสูง ๆ จะเกิดความร้อนที่ห้องบริเวณฉายรังสีสูงซึ่งจะถ่ายเทความร้อนเข้ามาในถุงซึ่งอาจส่งผลต่อการซึมผ่านของอากาศออกซิเจนเข้ามาได้

ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานมีผลต่อโครงสร้างที่แน่นของไคโตซาน เนื่องจากการบีบโครงสร้างเข้าหากันมากขึ้น การที่ไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงจะมีโครงสร้างที่แน่น โอกาสที่รังสีจะช่วยให้เกิดการครอสลิงค์ระหว่างบอนด์จะสูงขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการครอสลิงค์มากขึ้นและทำให้เกิดความเป็นเจลได้ดี ในการวิจัยนี้ทดลองที่ความเข้มข้นมากกว่า 40% พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 60% ของไคโตซานมีความเป็นเจลสูง ส่วนที่เหลือลดลงตามลำดับ

สำหรับการใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลายเมื่อฉายรังสี พบว่าช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การครอสลิงค์ได้ดี เนื่องจากการแช่แข็งช่วยให้โครงสร้างของไคโตซานมีการจัดระเบียบดีขึ้นก่อนการฉายรังสีและง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นแผ่นสองชั้น

จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นความเป็นเจลของไคโตซานสูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่อยู่ในช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมจะให้การครอสลิงค์ได้ดี ช่วงน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานที่ดีต้องมีสัดส่วนระหว่างความเป็นผลึกและอสัณฐานอยู่ในช่วงพอเหมาะจึงจะให้การครอสลิงค์ได้ดี ในการทดลองพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานประมาณ 100 กิโลดอลตัน เกิดการครอสลิงค์ได้ดีซึ่งทำให้เกิดความเป็นเจลได้ดี แสดงดังรูปที่ 4.4

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปผลของปริมาณรังสีที่มีต่อความเป็นเจลของไคโตซานได้ดังนี้

- ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100,000 ดอลตัน ที่ความเข้มข้นมากกว่า 40% มีโอกาสเกิดครอสลิงค์ได้ด้วยรังสีและเกิดเป็นเจลได้
- การฉายที่ปริมาณรังสีสูงจะทำให้ไคโตซานไฮโดรเจลเกิดการครอสลิงค์สูงขึ้นและให้ความเป็นเจลสูงขึ้น

- การใช้เทคนิคแช่แข็งและปล่อยให้ละลายช่วยในการตรวจสอบสิ่งคั่งขึ้นและให้ความเป็นเจลดีขึ้น

5.3 ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อความสามารถในการดูน้ำและต้านทานแรงกดของไคโตซานไฮโดรเจล

ในการทดลองความสามารถในการดูน้ำของไคโตซานเป็นการพิจารณาการเกิดครอสลิงค์เหมือนกับทดสอบความเป็นเจลด ในการทดลองจะนำไคโตซานไฮโดรเจลไปแช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พอครบเวลาก็มาทำให้ไคโตซานไฮโดรเจลแห้ง พบว่าไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสีสูง ๆ และที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ จะเกิดการบวมน้อยกว่าไคโตซานไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสีต่ำและมีความเข้มข้นน้อย เนื่องจากโครงสร้างที่แน่นมีช่องว่างอยู่มากจึงสามารถที่กักเก็บน้ำไว้ได้มาก จากการวิเคราะห์ผลทดลอง พบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานช่วงประมาณ 100,000 ดอลตัน และที่ความเข้มข้นสูง ๆ จะเกิดการบวมน้อย เพราะเกิดการครอสลิงค์สูง แสดงดังรูปที่ 4.7

ในการทดลองความต้านทานแรงกดหรือความแข็งแรงของไฮโดรเจล ความหนาไฮโดรเจลแต่ละชั้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร หัวกดของเครื่องทดสอบกดลงในแนวตั้ง 90 องศา ลงบนไฮโดรเจล พบว่าภายนอกบริเวณการกดไม่มีการบวมหรือติดไปกับหัวกดและมีลักษณะยุบลงไปตามหัวกดซึ่งหมายถึงความแข็งแรงของเจลบิดขาดผลสูง หัวกดกดลงไปแนวตั้งเป็นระยะ 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งกดผ่านชั้นไคโตซานทั้งหมดและผ่านชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพียง 2.5 มิลลิเมตร การที่ผ่านชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพียง 2.5 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการให้ชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลช่วยสนับสนุนความแข็งแรงของชั้นของไคโตซาน ความแข็งแรงของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมเมื่อได้รับปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ ปริมาณรังสีมีผลต่อความแข็งแรงระหว่างไฮโดรเจลทั้งสองชั้น จากการทดสอบพบว่าที่ปริมาณรังสีสูง ๆ มีผลต่อความแข็งแรงของไฮโดรเจลแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

จากที่กล่าวมาข้างต้นผลของปริมาณรังสีที่มีต่อความสามารถในการดูน้ำและต้านทานแรงกดของไคโตซานไฮโดรเจลสรุปได้ดังนี้

- การฉายที่ปริมาณรังสีสูงขึ้นจะส่งผลให้ไคโตซานไฮโดรเจลเกิดการครอสลิงค์สูงขึ้น ซึ่งทำให้การดูน้ำลดลง
- การฉายที่ปริมาณรังสีสูงขึ้นจะส่งผลให้ไคโตซานไฮโดรเจลเกิดการครอสลิงค์สูงขึ้น ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น

5.4 ผลของเจลปิดบาดแผลที่มีต่อความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

จากผลการทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli*, เชื้อ *Staphylococcus aureus* และเชื้อ *Candida albicans* ซึ่งใช้การทดสอบด้วยวิธี Clear zone และ Shake flask โดยวิธีแบบ Clear zone ไม่สามารถระบุเป็นจำนวนได้ แต่จะระบุว่าสิ่งที่นำมาทดสอบมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์มากหรือน้อยเพียงใด ส่วนวิธี Shake flask สามารถระบุเป็นจำนวนจึงสามารถหาเปอร์เซ็นต์ความต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ได้ทุกชั้นไฮโดรเจล การทดสอบด้วยวิธี Clear zone พบว่าไม่มีเชื้อโรคใด ๆ เจริญเติบโตได้เลย เนื่องจากอิทธิพลของไคโตซานไฮโดรเจล จึงต้องใช้ในการทดสอบวิธี Shake flask เพื่อที่จะหาเหตุผลสนับสนุนและวิเคราะห์ปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปผลของเจลปิดบาดแผลที่มีต่อความต้านทานการเจริญเติบโตเชื้อจุลินทรีย์ได้ดังนี้

- จากการทดสอบทั้งสองวิธีแสดงให้เห็นว่าเจลปิดบาดแผลมีความต้านทานการเจริญเติบโตเชื้อ *Escherichia coli*, เชื้อ *Staphylococcus aureus* และเชื้อ *Candida albicans* ได้ 100%
- โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลมีความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้น้อยกว่าไคโตซานไฮโดรเจลมาก

5.5 ผลของรังสีที่ทำให้หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานไฮโดรเจลเปลี่ยนแปลงไป

จากผลทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของไคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไคโตซานที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรังสี ซึ่งสมมติฐานในการวิเคราะห์คิดจากหมู่แซคคาไรด์หรือหมู่ไฮดรอกซิลของไคโตซานซึ่งในการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ก็ตามจะไม่ทำให้ความสูงของหมู่แซคคาไรด์หรือหมู่ไฮดรอกซิลหมดไป โดยทั่วไปพีคแซคคาไรด์อยู่ตำแหน่งที่ $900-1,200\text{ cm}^{-1}$ หรือพีคตำแหน่งนี้เรียกว่า internal standard peak ซึ่ง R.A.A. Muzzarelli [70] ได้วิเคราะห์อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของไคโตซานไฮโดรเจลซึ่งมีหมู่หลัก ๆ ได้แก่ อะมิโนและอะเซตตา-ไมด์ และมีตำแหน่งของพีคอยู่ที่ 1598 และ 1653 cm^{-1} ตามลำดับ การหาอัตราส่วนความสูงของพีคหมู่ฟังก์ชันเทียบกับพีคแซคคาไรด์จะคิดเทียบระหว่างหมู่ของอะมิโนของไคโตซานและหมู่อะเซต-ตาไมด์ของไคตินซึ่งเป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงไปของหมู่ฟังก์ชันของไคโตซานไฮโดรเจลด้วยรังสีได้ แสดงดังตารางที่

5.1 และแนวโน้มแสดงดังรูปที่ 5.1 ในการทดสอบของ R.A.A. Muzzarelli [70] สามารถใช้พีคของ หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3439 cm^{-1} แทนพีคแซคคาไรด์ได้ เนื่องจากมีความสูงของพีคใกล้เคียงกัน [70]

ในการสนับสนุนเหตุผลว่าโคโตซานครอสลิงค์ที่หมู่อะเซตตาไมด์นี้ต้องพิจารณาที่ %DD อื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 5.2 และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5.2 ซึ่ง %DD อยู่ในช่วง 65-80 ที่ปริมาณรังสี 25 kGy และนำไปวิเคราะห์ gel content ที่ 25 kGy ที่ %DD ต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.3 และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชัน 80%DD โคโตซานไฮโดรเจล ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน

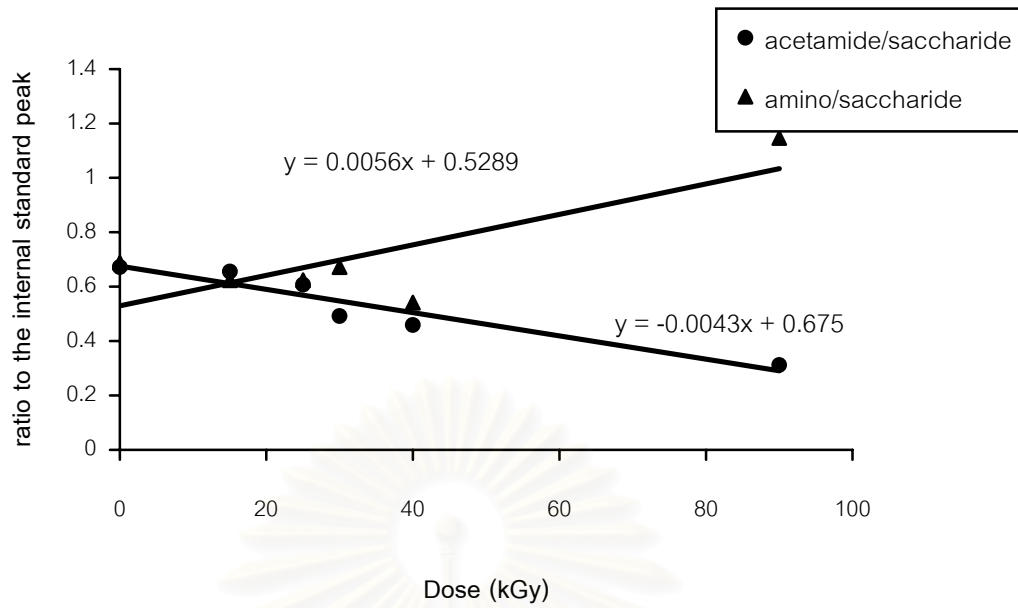
Dose (kGy)	0	15	25	30	40	90
$I_{1653}(\text{NHCOCH}_3)/I_{1028}(\text{C-O-C})$	0.6721	0.6557	0.6066	0.4918	0.4590	0.3115
$I_{1598}(\text{NH}_2)/I_{1028}(\text{C-O-C})$	0.6885	0.6230	0.6230	0.6721	0.5410	1.1475

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชันที่ %DD โคโตซานไฮโดรเจลต่าง ๆ กัน ที่ปริมาณรังสี 25 kGy

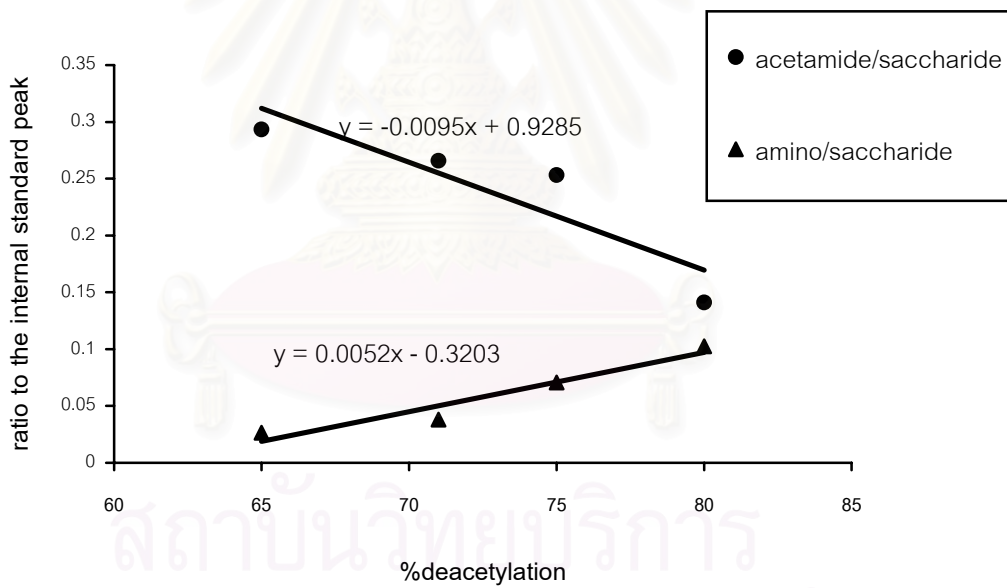
%Deacetylation	65	71	75	80
	25 kGy	25 kGy	25 kGy	25 kGy
$I_{1653}(\text{NHCOCH}_3)/I_{1028}(\text{C-O-C})$	0.2933	0.2658	0.2532	0.1411
$I_{1598}(\text{NH}_2)/I_{1028}(\text{C-O-C})$	0.0266	0.0379	0.0706	0.1026

ตารางที่ 5.3 ผลการเทียบเปอร์เซ็นต์เจลที่ %DD ต่าง ๆ ของโคโตซานไฮโดรเจล ที่ปริมาณรังสี 25 kGy

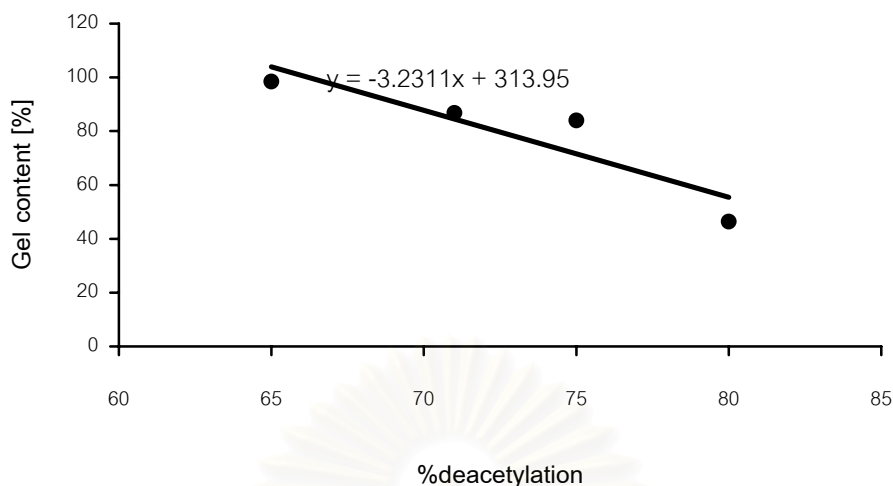
%deacetylation	น้ำหนัก กล่อง sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็นเจล (%)
65	1.80323	0.5304	0.5223	98.4729
71	1.82400	0.5583	0.4844	86.7634
75	1.82300	0.5305	0.4456	83.9962
80	1.83590	0.5265	0.2439	46.3248



รูปที่ 5.1 ผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชันของ 80%DDไคโตซานไฮโดรเจล
ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.2 ผลการเทียบสัดส่วนหมู่ฟังก์ชันที่ %DDไคโตซานไฮโดรเจลต่าง ๆ กัน
ที่ปริมาณรังสี 25 kGy



รูปที่ 5.3 แสดง gel content ที่ 25 kGy ที่ %DD ต่างๆ กัน

รูปที่ 5.1 แสดงถึงการ deacetylate หมู่ acetamide เป็นหมู่ amino โดยรังสีสังเกตได้ว่าความชันของเส้นกราฟของอัตราส่วนหมู่อะเซตตามิโดที่ค่อยๆ ลดลงซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับความชันของเส้นกราฟของอัตราส่วนหมู่อะมิโนที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น

รูปที่ 5.2 แสดงถึงการนำโคโตซานที่มี %DD ต่างๆ กัน นำไปฉายรังสีในที่มีอากาศจำกัดจะเกิดเป็นเจลที่ปริมาณรังสีคงที่ที่ 25 kGy ความชันของเส้นกราฟของอัตราส่วนหมู่อะเซตตามิโดมีความชันสูงกว่าความชันของเส้นกราฟของอัตราส่วนหมู่อะมิโนที่เกิดขึ้นประมาณ 2 เท่า เป็นการชี้บ่งได้ว่าหมู่อะเซตตามิโดจะถูกฟอร์มเป็นพันธะเชื่อมโยงในการครอสลิงค์ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณเจลที่ลดลง เมื่อ %DD เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.3

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปผลทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของโคโตซานไฮโดรเจลโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีได้ดังนี้

- จากการทดสอบ FT-IR เพื่อเทียบอัตราส่วนของอะมิโนและอะเซตตามิโด พบว่าการที่อัตราส่วนหมู่อะเซตตามิโดต่ำลงนั้นแสดงถึงรังสีกระตุ้นให้เกิดแรดิคัลซึ่งทำให้เกิดการครอสลิงค์ที่ตำแหน่งของหมู่นี้ ส่วนอัตราส่วนหมู่ของอะมิโนเพิ่มขึ้นแสดงถึงรังสีสามารถทำให้เกิด deacetylation ได้

- ปริมาณเจลที่ค่อยๆ ลดลงในโคโตซานที่มี %DD เพิ่มขึ้น เมื่อฉายรังสีที่มีปริมาณรังสีคงที่ที่ 25 kGy แสดงว่าการมีหมู่อะเซตตามิโดน้อยลงซึ่งการครอสลิงค์จะเกิดน้อยลงด้วย

5.6 เจือปนที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจล

- ส่วนประกอบที่เหมาะสมที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจล ได้แก่ ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 ดอลตัน มีความเข้มข้นในกรดอะซีติก 1% เป็น 60% และพีวีเอไฮโดรเจลจาก 30 % (W/V) พีวีเอในน้ำ
- ที่ปริมาณรังสี 25 kGy ให้ความเป็นเจล, ความสามารถในการดูดน้ำ, ความต้านทานแรงกดและความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี
- ที่ปริมาณรังสี 25 kGy เป็นปริมาณรังสีทำให้เกิดความสะอาดในผลิตภัณฑ์และฆ่าเชื้อโรคได้ (sterilize dose) จึงทำให้แน่ใจว่าไฮโดรเจลที่เตรียมมีความสะอาดและถูกสุขอนามัย

5.7 ข้อเสนอแนะ

- ในการทดลองเพื่อสนับสนุนการตรวจสอบเชิงสถิติโดยทั่วไปต้องใช้หลายการทดสอบเพื่อสนับสนุนการทดลอง ได้แก่ FT-IR, ¹³C CP/MAS NMR และ UV Spectroscopy เพื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมี ใช้ XRD เพื่อศึกษาความเป็นผลึกของโครงสร้าง ใช้ TGA เพื่อศึกษาจุดหลอมเหลว และการทดสอบอื่นๆ ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาโครงสร้างของไคโตซานว่ามีโอกาสในการตรวจสอบเชิงสถิติที่หมู่ใดเท่านั้น ควรจะมีการศึกษากลไกการตรวจสอบเชิงสถิติของไคโตซานโดยรังสีโดยวิธีอื่นๆ ประกอบด้วย
- จากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปเป็นแผ่นว่าต้องใช้ไคโตซานปริมาณที่น้อย ฉาบบาง ๆ ที่ชั้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อไม่ให้เกิดสีอันเกิดจากหมู่คาร์บอนิลในไคโตซานเด่นชัดเกินไป เนื่องจากไคโตซานเมื่อถูกฉายรังสีจะมีสีเข้มขึ้นตั้งแต่เหลืองอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้มเข้มซึ่งในทางการแพทย์ไม่ต้องการให้ไคโตซานมีสีเข้มมากเกินไป จึงต้องการให้คงรูปอยู่ในสภาพที่ค่อนข้างใสหรือสีอ่อนเท่าที่จะทำได้ซึ่งที่ปริมาณรังสี 25 kGy ให้สีเหลืองอ่อนและมีคุณสมบัติในการยึดติดกับชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ค่อนข้างดี จึงเลือกนำมาทดสอบนำมาทำเป็นเจลปิดรักษาแผล นอกจากนี้ความเป็นกรดในชั้นไคโตซานไฮโดรเจลยังถ่ายลงสู่ชั้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล ทำให้ความเป็นกรดลดลงและมี pH ใกล้เคียง 7 ควรมีการศึกษาการลดการเกิดคาร์บอนิลโดยรังสีเพื่อลดการเกิดสีต่อไป
- ควรมีการออกแบบสร้างเครื่องมือในการขึ้นรูปไฮโดรเจล 2 ชั้น ให้ทำได้อย่างต่อเนื่องเป็นการผลิตแบบสายการผลิตต่อไป

รายการอ้างอิง

1. J. Berger, M. Reist, J. M. Mayer, O. Felt, N. A. Peppas and R. Gurny, "Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications," European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 57 (2004): 19-34.
2. S. P. RAMNANI, C. V. CHAUDHARI, N. D. PATIL AND S. SABHARWAL, "Synthesis and Characterization of Crosslinked Chitosan Formed by gamma Irradiation in the Presence of Carbontetrachloride as a Sensitiser," Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) (5 April 2004): 3897-3909.
3. Kyoung Ran Park and Young Chang Nho, "Synthesis of PVA/PVP hydrogels having two-layer by radiation and their physical properties," Radiation Physics and Chemistry 67 (2003): 361-365.
4. Radolaw A. Wach, H.Mitomo, F. Yoshii and T. Kume, "Radiation processing of biodegradable polymer (2) Hydrogel from cellulose derivative," (6-10 Nov 2000 Beijing, China), Proc. of the Int. Sym. on Radiation Technology in Emerging Industrial Applications.
5. Chyagrit Siri-Upathum and Manit Sonsuk, "Preparation of PVA Hydrogel Containing CM chitosan Laminated PVP / Kappa-carrageenan Hydrogel," Journal of the nuclear society of Thailand, 4 No. 1 (June 2003): p 23-29.
6. K. Z. Dahlan (Personal communication, 2002).
7. Alain Domard. 1996. Some physicochemical and structural Basis for Applicability of Chitin and Chitosan (2nd Asia Pacific Chitin Symposium). Bangkok.
8. ดร.ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, "โพลีไวนิลแอลกอฮอล์" เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน, พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2527, หน้า 328-330.
9. Knor, D. 1984. Use of chitinous polymers in food. Food Technol. 38: 85-97.
10. Austin, P.R. 1977. Chitin Solution. U.S. Patent 4, 059, 457.
11. Whistler, R.S. and Be Miller, J.N., "Alkaline degradation of amino sugar," Journal of Organic Chemistry 27 (1962): 1161-1164.

12. Bough, W.A., A.C.M. Wu and Wm.B. Miller, "Effect of Time of Deacetylation on Molecular Weight Distribution, Acetyl Content, Viscosity and Performance of Chitosan as a Conditioning Agent for Activated Sludge," n.d. (Unpublished Manuscript).
13. Stelmock, R.L., F.M. Husby and A.L. Brundage, "Application of Van Soest Acid Detergent Fiber Method for Analysis of Shell fish Chitin," Journal of Dairy Science 68 (1985): 1502-1506.
14. Carroad, P.A. and R.A. Tom, "Bioconversion of Shellfish Chitin Waste: Process Conception and Selection of Microorganisms," Journal of Food Science 43 (1978): 1158-1161.
15. Muzzarelli, R.A.A. 1985. The Polysaccharide. Vol.3. New York : Academic Press.
16. Budavari, S. 1976. The Merck index : an Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biological. New Jersey: Merck.
17. Ravi Kumar, M.N.V. Property of Chitin and Chitosan. Chitin and Chitosan for Versatile Applications Homepage: An Internet Chitin and Chitosan Applied Research Resource.
18. Muzzarelli, R.A.A. 1973. Natural Chelating Polymer. New York : Pergmon press.
19. Austin, P.R., C.J. Brine, J.E. Castle and J.P. Zikakis. 1981. Chitin: New Facets of Research. Science. 212: 749-753.
20. Shahdi, F. and Synowiecki, J. 1992. "Quality and Compositional characteristics of newfoundland shellfish processing discards," In C.J. Brine, P.A. Sandford and J. P. Zikakis (eds.), Advances in Chitin and Chitosan. pp.617-626. London : Elsevier Science.
21. Mima, s., Miya, M., Ivamoto, R. and Yoshikama, S. 1983. "Highly Deacetylate Chitosan and its Properties," J. App.Pol.Sci. 28: 1909-1917.
22. Moorjani, M.N., Achutha, V. and Iman Khasim, D. 1975. Parameters affecting the viscosity of chitosan from prawn waste. Journal of Food Science and Technology 12: 187-189.

23. Yang, T. 1984. Removal of heavy metals from liquids using chitosan and its scales. Master's Thesis, Cornell University.
24. Muzzarelli, R.A.A. 1977. Chitin. New York: Pergamon press.
25. Rangrong Yoksan, Mitsuru Akashi, Mikiji Miyata and Suwabun Chirachanchai, "OPTIMAL GAMMA RAY DOSE AND IRRADIATION CONDITIONS FOR PRODUCING LOW-MOLECULAR-WEIGHT CHITOSAN THAT RETAINS ITS CHEMICAL STRUCTURE," RADIATION RESEARCH 161 (2004): 471-480.
26. Filar, L.J. and Wirick, M.G. 1978. Bulk and Solution properties of chitosan. In R.A.A. Muzzarelli(ed.), Proceeding of the first international conference on chitin/chitosan. pp. 182-192. Massachusetts Science and Technology Foundation.
27. Englewood and N.J. Fort Lee. (n.d.). Chitin and Chitosan : Speciality Biopolymers for Food, Medicine and Industrial. Technical Insights.
28. Munawwar Ali Khan. 1998. Enhanced Functionality of Chitin by Chemical Modification. Master of Science, Research and development, School of Environment.
29. Rosiak, J. M., Ulanski, P., 1999. "Synthesis of hydrogels by irradiation of polymers in aqueous solution," Radiat. Phys. Chem 55, 139-151.
30. Singh, A. and Silverman, J. 1992. Radiation Processing of Polymers. Progress in Polymer Processing Series. New York: American Chemical Society.
31. Sanil Sabharwal. 2001. Radiation Chemistry of Monomers and Polymers (Radiation Technology Development Section). India : Bhabha Atomic Research Center.
32. Seiichi Tokuta and Hiroshi Tamura. 1999. Basic Properties of Chitin and Chitosan. Japan: The Takasaki Workshop on Radiation Processing of Natural Polymer Takasaki Cooperation.
33. Ulanski, R. and Rosiak, J. 1992. "Preliminary Studies on Radiation-Induced Changes in Chitosan," J. Radiat. Appl. Instrum 39 : 53-57.

34. Nguyen Quoc Hien et al., Study on Degradation of Chitosan and preparation of Oligochitosan by Radiation Technique. Radiation Technology Department: Nuclear Research Institute.
35. Nguyen Manh Hung et al., The use of Chitosan as Bioadhesive and its Property Improvement by Radiation Treatment for Waste-Stable Shrimp Feed Product.
36. J. Berger, M. Reist, J. M. Mayer, O. Felt and R. Gurny, "Structure and interactions in chitosan hydrogels formed by complexation or aggregation for biomedical applications," European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 57 (2004) 35-52.
37. Nguyen Quoc Hien. 2000. Irradiation of Chitosan and its Biological Effect (Report of Regional Workshop on Radiation Processing of Polysaccharides). China: International Atomic Energy Agency.
38. Hitoshi Yamaoka. 1991. Radiation Chemistry of Polymer. UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on Radiation Chemistry Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment. JAERI.
39. Shaefgen, John R. Schaefgen and Paul J. Flory. 1984. "Synthesis of Multichain Polymer and Investigation of their Viscosities," J. Am. Chem. Soc. 70 : 2709-2718.
40. George A.F. Roberts. 1992. Chitin Chemistry. Hong Kong: The Macmillan press.
41. ศูนย์วิจัยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี, ศูนย์เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีชีวเคมี และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2544. การประชุมเชิงปฏิบัติการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้ (คู่มือปฏิบัติการ). กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
42. G.A.F. Roberts and J.G.Domszy. 1982. "Determination of the Viscometric Constants for Chitosan," Int. J. Biol. Macromol. 4: 374-377.
43. A. Charlesby. 1955. J. Pol. Sci. 15 : 263.
44. A. Sharples and H.M. Major. 1958. J. Pol. Sci. 27 : 433.
45. C.A. Ryan. 1988. Biochemistry 27 : 8879-8883.

46. G. Sitaramaih and D.A.I. Goring. 1962. J. Pol. Sci. 58 : 1107.
47. K. Kamida and K. Okajima. 1981. Pol. J. 13 : 163.
48. Malcolm P. Stevens. 1999. Polymer Chemistry. Third Edition. New York Oxford: Oxford University press.
49. Kraemer and Elmer O. Kraemer. 1938. "Molecular Weight of Cellulose and Cellose Derivatives," Ind. Eng. Chem. 30 : 1200-1203.
50. WWW.rca.org.cn/tanchu_lan/Programmes/training_browse.asp?strno=16 ,Planning And Designing IAEA Technical Co-operation.
51. Y. SHIN , D.I YOO AND J. JANG, " Molecular Weight Effect on Antimicrobial Activity of Chitosan Treated Cotton Fabrics," journal of Applied Polymer Science 80 (2001): 2495-2501.
52. Jeon, Y.J., Kim, C.H. and Kim, S.K. 1998. The Kor. Soc. For chitin and Chitosan 3: 140.
53. Nguyen Ahn Dzung and Nguyen Quoc Hein. 2002. Effect of Oligoglucosamine Prepared by Enzyme Degradation on the Growth of SoyBean (Chitin-Chitosan Symposium and Exhibition 5th Asia Pacific). Thailand: MTEC.
54. Nguyen Quoc Hien et al., Study on Degradation of Chitosan and preparation of Oligochitosan by Radiation Technique. Radiation Technology Department: Nuclear Research Institute
55. A.G. Darvill and P. Albersheim. 1984. Ann. Rev. Plant Physiol. 35 : 243-375.
56. S.T. Holouitz, S. Roseman and H.J. Blumenthal. 1957. J. Am. Chem. Soc. 79 : 5046.
57. Suwalee Chandkrachang. 2002. The Applications of Chitin and Chitosan in Agriculture in Thailand (Chitin-Chitosan Symposium and Exhibition 5th Asia Pacific). Thailand: MTEC.
58. S. Chankrachang, Chitin and Chitosan: Multipurpose Biodegradable Biomaterials, Proceeding of MTEC Annual Meeting 1995, Bangkok, August 1996.
59. Y. Qin, Textile Horizons, 14, 19 (1994).
60. Internet website: <http://user.chollian.net/~chitin/application.gif> (1998, September 12).

61. ภูริวัฒน์ ลีสวัสดิ์, "ไคตินและไคโตแซน พอลิเมอร์จากทะเล," คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2534.
62. Internet website: www.geocities.com/Brodway/Stage/1996/index1.html (12 September 1998).
63. Perspective, Chemistry in Britain, June 1994.
64. M. M. Bonvin and M. M. de Bertorello, Polymer Bulletin, 31 (1993): 375.
65. F. F. Bartone and E. D. Adickes, J. Urol., 140 (1988): 1134.
66. G. Biagini, A. Bertani, R. Muzzarelli and A. Damadei, Biomaterials, 12 (1991): 281.
67. AATCC Test Method 147-1988 Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Streak Method p.258-259.
68. www.samsung.com.au/download/report/air%20con/BioTech_appendixA... C.SHAKE FLASK METHOD.
69. Internet website: <http://user.chollian.net/~chitin1.gif> (12 September 1998).
70. Riccardo A.A. Muzzarelli, Roberto Rocchetti, Vesna Stanic and Maria Weckx, "Methods for the determination of the degree of acetylation of chitin and chitosan," Chitin Handbook, R.A.A. Muzzarelli and M.G. Peter, eds., European Chitin Society. 1997. ISBN 88-86889-01-1



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของโคโตะซานและ
ใบรับรองการเปรียบเทียบมาตรฐาน



Certificate of Calibration

Viscometer No. ⁰ C356

1262.01

The inclusion of the A2LA logo does
not imply certification/approval of
the products calibrated or tested.

UBBELOHDE TYPE

(Standard Test ASTM D 445 and ISO 3104)

Viscometer Constant

0.001032 mm²/s², (cSt/s)

The viscometer constant is the same at all temperatures.

To obtain kinematic viscosity in mm²/s (cSt) multiply the efflux time in seconds by the viscometer constant. To obtain viscosity in mPa · s, multiply the kinematic viscosity by the density in g/mL.

Kinematic viscosities of the standards used in calibrating were established in Master Viscometers as described in Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 16, 708(1944), ASTM D2162, and the Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 52, No. 3, March 1954, Research Paper 2479.

Kinematic viscosities are based on the primary viscosity standard, water, at 20°C (ITS-90). The internationally accepted value for the viscosity of water at 20°C (ITS-90) is 1.0016 mPa · s or kinematic viscosity is 1.0034 mm²/s as listed in ISO 3666. The gravitational constant, g, is 980.1 cm/sec² at the Cannon Instrument Company. The gravitational constant varies up to 0.1% in the United States. To make this small correction in the viscometer constant, multiply the above viscometer constant by the factor [g(at your laboratory)/980.1]. The calibration data below are traceable to the National Institute for Standards and Technology. Temperature measurement is traceable to NIST (Test No. 260470).

CALIBRATION DATA AT 40°C

Viscosity Standard	Kinematic Viscosity mm ² /s, (cSt)	Efflux Time Seconds	Constant mm ² /s ² , (cSt/s)
0201	0.41040	397.37	0.001033
0203	0.61660	597.80	0.001031

Average = 0.001032

Calibrated by 543094 CSM on 24-Apr-02 under supervision of [Signature]

Please note: This calibration remains valid for 10 years unless (1) the viscometer has been damaged or (2) materials which chemically attack borosilicate glass (e.g. hydrofluoric acid or highly alkaline solutions) have been used. Nonetheless, it is recommended that the calibration be verified with kinematic viscosity standards periodically; if a change in calibration is indicated, carefully examine all sources of error, including especially temperature measurement since most apparent changes in calibration of the viscometer are due to errors in temperature measurement.

M. R. Hoover, Ph.D. R. E. Manning, Ph.D., P.E.
K. O. Henderson F. L. Saylor
Cannon Instrument Co.
State College, PA 16804, USA

Test No.: 543094 - 5

This certificate shall not be reproduced except in full, without the written approval of Cannon Instrument Company.

The S.I. unit of kinematic viscosity is 1 meter squared per second, and is equal to 10⁴ stokes. The S.I. unit of viscosity is 1 pascal second, and is equal to 10 poises. One centistokes is equal to one millimeter squared per second.

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโคซาน 85 ชั่วโมง

สารละลาย	ความเข้มข้น, C ($\times 10^{-4}$ g/mL)	เวลา(วินาที)			เวลาเฉลี่ย , t (วินาที)	η_r	η_{sp}	η_{sp}/c (mL/g)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3				
C0	0.00	204	203	204	203.66	1.000	0.000	0
C1	7.60	323	325	325	324.33	1.592	0.592	779
C2	6.33	288	288	289	288.33	1.415	0.415	655
C3	5.43	267	269	270	268.66	1.320	0.320	590
C4	2.17	217	214	216	215.66	1.058	0.058	267
C5	1.81	212	213	212	212.33	1.042	0.042	232
C6	1.55	209	212	211	210.66	1.034	0.034	219

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโคซาน 75 ชั่วโมง

สารละลาย	ความเข้มข้น, C ($\times 10^{-4}$ g/mL)	เวลา(วินาที)			เวลาเฉลี่ย , t (วินาที)	η_r	η_{sp}	η_{sp}/c (mL/g)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3				
C0	0.00	207	204	202	204.33	1.000	0.000	0
C1	7.60	314	317	317	316.00	1.547	0.547	720
C2	6.33	293	292	291	292.00	1.430	0.430	679
C3	5.43	273	272	272	272.00	1.332	0.332	611
C4	2.17	215	216	216	215.66	1.055	0.055	252
C5	1.81	213	212	215	213.33	1.044	0.044	243
C6	1.55	210	210	212	210.66	1.031	0.031	212

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโคซาน 60 ชั่วโมง

สารละลาย	ความเข้มข้น, C ($\times 10^{-4}$ g/mL)	เวลา(วินาที)			เวลาเฉลี่ย , t (วินาที)	η_r	η_{sp}	η_{sp}/c (mL/g)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3				
C0	0.00	205	204	202	203.66	1.000	0.000	0
C1	7.60	214	214	213	213.66	1.541	0.541	711
C2	6.33	291	290	289	290.00	1.423	0.423	668
C3	5.43	265	265	265	265.00	1.301	0.301	554
C4	2.17	215	216	214	215.00	1.056	0.056	258
C5	1.81	211	212	214	212.33	1.043	0.043	237
C6	1.55	212	210	210	210.66	1.035	0.035	225

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโคซาน 48 ชั่วโมง

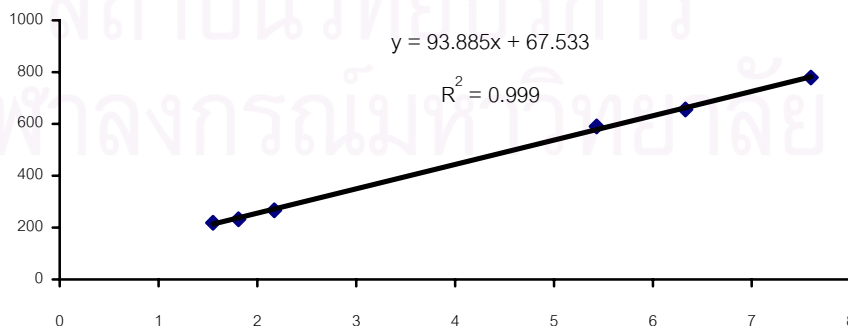
สารละลาย	ความเข้มข้น, C ($\times 10^{-4}$ g/mL)	เวลา(วินาที)			เวลาเฉลี่ย , t (วินาที)	η_r	η_{sp}	η_{sp}/c (mL/g)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3				
C0	0.00	204	205	205	204.66	1.000	0.000	0
C1	7.60	316	317	315	316.00	1.545	0.545	717
C2	6.33	290	292	293	291.66	1.425	0.425	671
C3	5.43	266	267	265	266.00	1.300	0.300	552
C4	2.17	215	217	218	216.66	1.058	0.058	269
C5	1.81	214	214	213	213.66	1.044	0.044	243
C6	1.55	211	212	213	212.00	1.036	0.036	232

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองเวลาที่ใช้สลายโมเลกุลโคโคซาน 36 ชั่วโมง

สารละลาย	ความเข้มข้น, C ($\times 10^{-4}$ g/mL)	เวลา(วินาที)			เวลาเฉลี่ย , t (วินาที)	η_r	η_{sp}	η_{sp}/c (mL/g)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3				
C0	0.00	205	204	202	203.66	1.000	0.000	0
C1	7.60	313	314	315	314.00	1.542	0.542	713
C2	6.33	289	286	288	287.66	1.412	0.412	650
C3	5.43	267	268	289	268.00	1.315	0.315	580
C4	2.17	216	216	216	216.00	1.060	0.060	276
C5	1.81	212	213	213	212.66	1.044	0.044	243
C6	1.55	210	209	214	211.00	1.036	0.036	232

จากตารางที่ ก.1 นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ ก.1 ดังนี้

η_{sp}/C (mL/g)

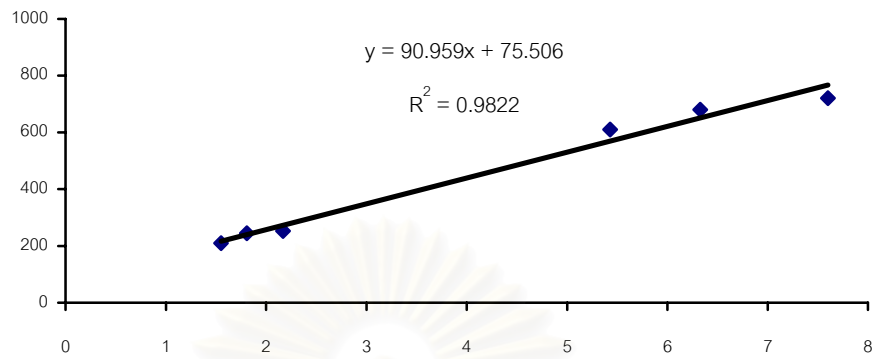


ความเข้มข้น C ($\times 10^{-4}$ g/mL)

รูปที่ ก.1 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.1

จากตารางที่ ก.2 นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ ก.2 ดังนี้

$\eta_{sp}/C(\text{mL/g})$

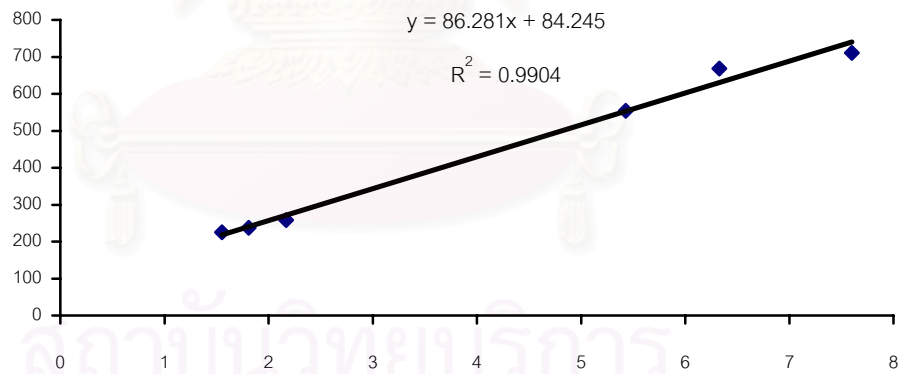


ความเข้มข้น C ($\times 10^{-4}$ g/mL)

รูปที่ ก.2 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.2

จากตารางที่ ก.3 นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ ก.3 ดังนี้

$\eta_{sp}/C(\text{mL/g})$

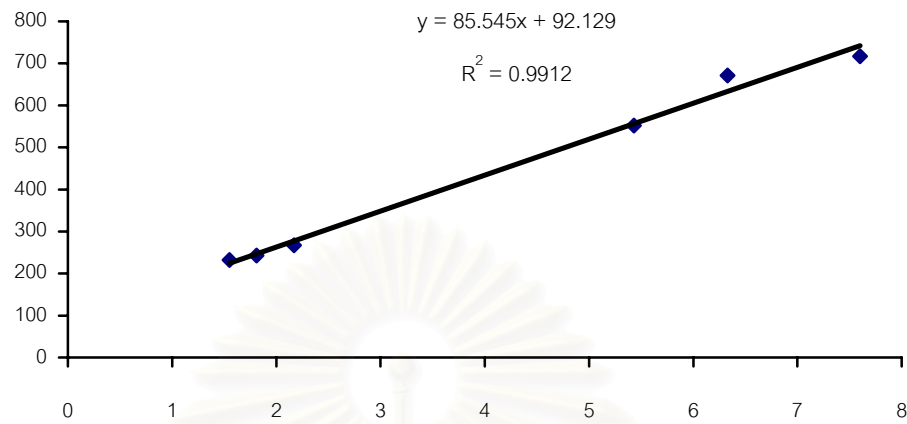


ความเข้มข้น C ($\times 10^{-4}$ g/mL)

รูปที่ ก.3 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.3

จากตารางที่ ก.4 นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ ก.4 ดังนี้

$\eta_{sp}/C(\text{mL/g})$

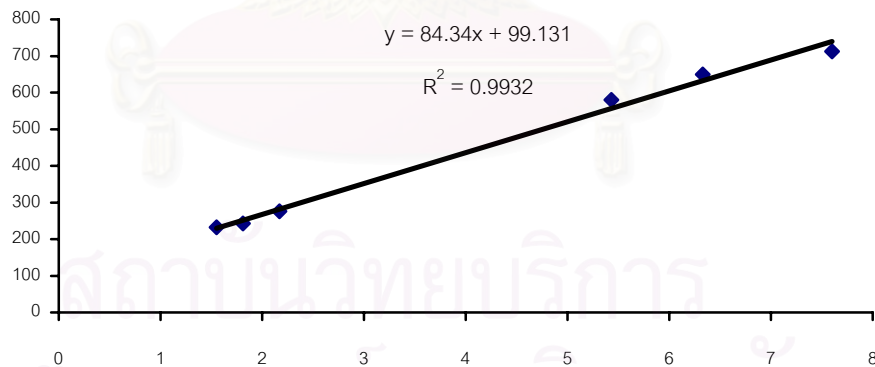


ความเข้มข้น C ($\times 10^{-4}$ g/mL)

รูปที่ ก.4 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.4

จากตารางที่ ก.5 นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ ก.5 ดังนี้

$\eta_{sp}/C(\text{mL/g})$



ความเข้มข้น C ($\times 10^{-4}$ g/mL)

รูปที่ ก.5 แสดงผลที่ได้จากตารางที่ ก.5

จากกราฟรูปที่ ก.1-5 เมื่อลากเส้นกราฟมาตัดแกน y โดยสมมติให้ความเข้มข้นของสารละลายมีค่าเท่ากับ 0 ลากเส้นมาตัดแกน y ซึ่งจุดตัดแกน y นี้เรียกว่าค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ ซึ่งนำมาใช้คำนวณหาน้ำหนักโมเลกุล (M_v) ตามสมการของ Mark-Houwink

$$[\eta]=1.8 \times 10^{-3} M_v^a \quad \text{ก.1}$$

จากสมการเส้นตรงจากกราฟรูปที่ ก.1-5 เมื่อนำตัวแปร X เท่ากับศูนย์เข้าไปแทนในแต่สมการค่า Y ที่ได้คือ $[\eta]$ โดยที่ค่า K และ a คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบตัวทำละลายและชนิดของโพลิเมอร์ ซึ่งจากตัวทำละลายที่ใช้คือ 0.1M HOAc + 0.2M NaCl พบว่ามีค่า K เท่ากับ 1.8×10^{-3} dL/g และค่า a เท่ากับ 0.93 แทนค่า $[\eta]$, K และ a นำค่าพารามิเตอร์ต่างแทนในสมการ ก.1 จะได้เป็นสมการ ก.2 จึงหาน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานแต่ละช่วงเวลาที่แช่ในสารละลายที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวละลายโมเลกุลได้

$$[\eta]=1.8 \times 10^{-3} M_v^{0.93} \quad \text{ก.2}$$

ตารางที่ ก.6 แสดงผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานจากสมการ ก.2

น้ำหนักโมเลกุลโคโตซาน (ดอลตัน)	เวลา (ชั่วโมง)
710,000	0
125,251	36
116,326	48
105,195	60
93,466	75
82,897	85

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบความเป็นเจล

จากตารางที่ ข.2-16 นำคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลดังสมการที่ ข.1

$$\text{Gel}(\%) = (W_d/W_i) \times 100$$

ข.1

เมื่อ W_d คือน้ำหนักเจลแห้ง และ W_i คือน้ำหนักเจลเริ่มต้น

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองความเป็นเจลของพีวีเอไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้น 30%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, W_i (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, W_d (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
25	2.940	0.524	0.4272	81.535

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และ
ที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, W_i (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, W_d (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.505	0.006	1.188
20	2.974	0.511	0.007	1.370
25	2.934	0.509	0.10	1.965
30	2.959	0.553	0.011	1.989
40	2.948	0.510	0.013	2.549
50	3.013	0.519	0.014	2.697
60	2.993	0.510	0.014	2.745
70	3.033	0.575	0.016	2.783
80	2.991	0.511	0.015	2.935
90	3.006	0.512	0.016	3.125
100	2.999	0.506	0.016	3.162
110	3.024	0.510	0.017	3.333
120	3.042	0.531	0.018	3.390
130	2.923	0.509	0.018	3.536
140	2.947	0.507	0.018	3.550

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และ
ที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.540	0.017	3.148
20	2.974	0.523	0.031	5.927
25	2.934	0.550	0.039	7.091
30	2.959	0.560	0.051	9.107
40	2.948	0.508	0.056	11.024
50	3.013	0.523	0.069	13.193
60	2.993	0.578	0.080	13.841
70	3.033	0.508	0.077	15.157
80	2.991	0.517	0.081	15.667
90	3.006	0.581	0.093	16.007
100	2.999	0.540	0.092	17.037
110	3.024	0.504	0.090	17.857
120	3.042	0.589	0.112	19.015
130	2.923	0.574	0.113	19.686
140	2.947	0.552	0.110	19.928

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และ
ที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.534	0.044	8.240
20	1.813	0.559	0.050	8.945
25	1.776	0.516	0.048	9.302
30	1.767	0.518	0.050	9.653
40	1.729	0.551	0.055	9.982
50	1.778	0.567	0.068	11.993
60	1.776	0.573	0.080	13.962
70	1.830	0.538	0.086	15.985
80	1.870	0.515	0.093	18.058
90	1.826	0.504	0.116	23.016
100	1.764	0.536	0.153	28.545
110	1.733	0.527	0.168	31.879
120	1.849	0.575	0.199	34.609
130	1.871	0.533	0.199	37.336
140	1.800	0.510	0.198	38.627

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และ
ที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.504	0.006	1.190
20	1.813	0.557	0.010	1.795
25	1.776	0.518	0.012	2.317
30	1.767	0.518	0.013	2.510
40	1.729	0.518	0.015	2.930
50	1.778	0.579	0.017	2.936
60	1.776	0.506	0.016	3.162
70	1.830	0.567	0.018	3.175
80	1.870	0.511	0.018	3.523
90	1.826	0.556	0.022	3.957
100	1.764	0.524	0.022	4.198
110	1.733	0.550	0.024	4.364
120	1.849	0.521	0.023	4.415
130	1.871	0.579	0.026	4.651
140	1.800	0.503	0.024	4.771

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และ
ที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.548	0.031	5.657
20	2.974	0.534	0.037	6.929
25	2.934	0.503	0.049	9.742
30	2.959	0.539	0.057	10.575
40	2.948	0.523	0.074	14.149
50	3.013	0.510	0.088	17.255
60	2.993	0.516	0.095	18.411
70	3.033	0.509	0.099	19.456
80	2.991	0.520	0.108	20.769
90	3.006	0.542	0.115	21.218
100	2.999	0.506	0.114	22.530
110	3.024	0.543	0.135	24.862
120	3.042	0.575	0.144	25.043
130	2.923	0.523	0.142	27.151
140	2.947	0.547	0.153	27.971

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และ
ที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.564	0.063	11.170
20	2.974	0.555	0.076	13.694
25	2.934	0.530	0.096	18.113
30	2.959	0.506	0.113	22.332
40	2.948	0.509	0.128	25.147
50	3.013	0.557	0.165	29.623
60	2.993	0.528	0.166	31.439
70	3.033	0.566	0.219	38.693
80	2.991	0.506	0.229	45.257
90	3.006	0.558	0.284	50.896
100	2.999	0.534	0.274	51.311
110	3.024	0.509	0.280	55.010
120	3.042	0.510	0.305	59.804
130	2.923	0.511	0.314	61.448
140	2.947	0.582	0.367	63.058

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และ
ที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.500	0.032	6.400
20	2.974	0.512	0.037	7.227
25	2.934	0.530	0.039	7.358
30	2.959	0.522	0.043	8.238
40	2.948	0.504	0.045	8.929
50	3.013	0.518	0.052	10.039
60	2.993	0.565	0.061	10.796
70	3.033	0.501	0.056	11.178
80	2.991	0.549	0.067	12.204
90	3.006	0.520	0.069	13.269
100	2.972	0.501	0.069	13.772
110	3.024	0.504	0.070	13.889
120	3.042	0.585	0.082	14.017
130	2.923	0.540	0.077	14.259
140	2.947	0.547	0.074	14.510

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และ
ที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.552	0.095	17.210
20	1.813	0.522	0.104	20.039
25	1.776	0.568	0.120	21.127
30	1.767	0.546	0.126	23.077
40	1.729	0.527	0.141	26.755
50	1.778	0.579	0.174	30.052
60	1.776	0.582	0.193	33.162
70	1.830	0.577	0.208	36.049
80	1.870	0.527	0.216	40.987
90	1.826	0.544	0.245	45.037
100	1.764	0.516	0.237	45.930
110	1.733	0.508	0.244	48.031
120	1.849	0.504	0.247	49.008
130	1.871	0.522	0.261	50.000
140	1.800	0.554	0.278	50.181

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และ
ที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.555	0.164	29.550
20	1.813	0.557	0.199	35.727
25	1.776	0.567	0.220	38.801
30	1.767	0.530	0.220	41.509
40	1.729	0.587	0.304	51.789
50	1.778	0.501	0.280	55.888
60	1.776	0.589	0.351	59.593
70	1.830	0.537	0.349	64.0607
80	1.870	0.577	0.392	67.938
90	1.826	0.572	0.445	77.797
100	1.764	0.534	0.430	80.524
110	1.733	0.523	0.432	82.600
120	1.849	0.510	0.423	82.941
130	1.871	0.546	0.454	83.150
140	1.800	0.550	0.470	85.455

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และ
ที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.536	0.022	4.104
20	1.813	0.527	0.027	5.123
25	1.776	0.578	0.032	5.536
30	1.767	0.541	0.034	6.285
40	1.729	0.531	0.037	6.968
50	1.778	0.522	0.042	8.046
60	1.776	0.514	0.044	8.560
70	1.830	0.559	0.050	8.945
80	1.870	0.578	0.064	11.073
90	1.826	0.503	0.062	12.326
100	1.764	0.556	0.069	12.410
110	1.733	0.509	0.065	12.770
120	1.849	0.560	0.072	12.857
130	1.871	0.565	0.073	12.920
140	1.800	0.561	0.073	13.012

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และ
ที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.504	0.070	13.889
20	2.974	0.501	0.080	15.968
25	2.934	0.517	0.098	18.956
30	2.959	0.515	0.114	22.136
40	2.948	0.500	0.125	25.000
50	3.013	0.506	0.143	28.261
60	2.993	0.522	0.153	29.310
70	3.033	0.540	0.181	33.519
80	2.991	0.518	0.192	37.066
90	3.006	0.546	0.217	39.744
100	2.999	0.539	0.230	42.672
110	3.024	0.530	0.236	44.528
120	3.042	0.501	0.225	44.910
130	2.923	0.551	0.251	45.554
140	2.947	0.506	0.234	46.245

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และ
ที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.578	0.149	25.779
20	2.974	0.521	0.155	29.750
25	2.934	0.506	0.177	34.980
30	2.959	0.522	0.217	41.571
40	2.948	0.543	0.248	45.672
50	3.013	0.514	0.271	52.724
60	2.993	0.511	0.300	58.708
70	3.033	0.520	0.307	59.038
80	2.991	0.566	0.367	64.841
90	3.006	0.553	0.384	69.439
100	2.999	0.572	0.413	72.203
110	3.024	0.551	0.404	73.321
120	3.042	0.538	0.399	74.164
130	2.923	0.520	0.405	77.885
140	2.947	0.517	0.405	78.337

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และ
ที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.539	0.017	3.154
20	1.813	0.582	0.023	3.952
25	1.776	0.500	0.025	5.000
30	1.767	0.515	0.031	6.019
40	1.729	0.591	0.039	6.599
50	1.778	0.539	0.039	7.236
60	1.776	0.506	0.037	7.312
70	1.830	0.548	0.044	8.029
80	1.870	0.516	0.042	8.140
90	1.826	0.560	0.048	8.571
100	1.764	0.546	0.049	8.974
110	1.733	0.555	0.051	9.189
120	1.849	0.541	0.050	9.242
130	1.871	0.518	0.049	9.459
140	1.800	0.501	0.049	9.780

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และ
ที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	2.940	0.552	0.054	9.783
20	2.974	0.542	0.068	12.546
25	2.934	0.551	0.077	13.975
30	2.959	0.571	0.103	18.039
40	2.948	0.551	0.121	21.960
50	3.013	0.530	0.130	24.528
60	2.993	0.536	0.139	25.933
70	3.033	0.518	0.135	26.062
80	2.991	0.586	0.173	29.522
90	3.006	0.584	0.173	29.623
100	2.999	0.590	0.189	32.034
110	3.024	0.565	0.186	32.920
120	3.042	0.528	0.175	33.144
130	2.923	0.581	0.199	34.251
140	2.947	0.536	0.188	35.075

ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองความเป็นเจลของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และ
ที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล แห้งสุทธิ, Wd (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความเป็น เจล (%)
10	1.781	0.565	0.120	21.239
20	1.813	0.558	0.139	24.910
25	1.776	0.540	0.150	27.778
30	1.767	0.576	0.165	28.646
40	1.729	0.509	0.177	34.774
50	1.778	0.572	0.217	37.937
60	1.776	0.528	0.231	43.750
70	1.830	0.559	0.271	48.479
80	1.870	0.547	0.273	49.909
90	1.826	0.532	0.292	54.887
100	1.764	0.590	0.357	60.508
110	1.733	0.573	0.353	61.606
120	1.849	0.538	0.366	68.030
130	1.871	0.534	0.369	69.101
140	1.800	0.503	0.358	71.173

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบความสามารถในการดูดน้ำ

จากตารางที่ ค.2-16 นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การบวมดังสมการที่ ค.1

$$\text{Swelling}(\%) = [(W_s - W_i)/W_i] \times 100$$

ค.1

เมื่อ W_s คือน้ำหนักเจลเปือก และ W_i คือน้ำหนักเจลเริ่มต้น

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของพีวีเอไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้น 30%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, W_i (กรัม)	น้ำหนักเจล เปือกสุทธิ, W_s (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
25	2.941	0.505	14.387	2748

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, W_i (กรัม)	น้ำหนักเจล เปือกสุทธิ, W_s (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.906	0.513	3.957	671.345
20	2.956	0.521	3.907	649.904
25	2.888	0.500	3.564	612.800
30	2.920	0.504	3.527	599.802
40	2.879	0.504	3.415	577.579
50	2.947	0.501	3.277	554.092
60	2.935	0.505	3.095	512.871
70	3.028	0.502	2.796	456.972
80	2.974	0.506	2.721	437.747
90	2.977	0.510	2.469	384.118
100	2.948	0.501	2.285	356.088
110	2.955	0.517	2.166	318.956
120	3.026	0.510	2.035	299.020
130	2.944	0.506	1.984	292.095
140	2.912	0.501	1.934	286.028

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.913	0.500	2.872	474.400
20	2.953	0.502	2.798	457.371
25	2.903	0.514	2.775	439.883
30	2.959	0.514	2.716	428.405
40	2.894	0.513	2.553	397.661
50	3.000	0.506	2.471	388.340
60	2.972	0.505	2.322	359.802
70	3.021	0.519	2.331	349.133
80	2.963	0.504	2.194	335.317
90	2.976	0.510	2.162	323.922
100	2.993	0.512	2.044	299.219
110	2.988	0.517	1.996	286.074
120	3.012	0.508	1.890	272.047
130	2.908	0.505	1.801	256.634
140	2.909	0.519	1.827	252.023

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 82,897 Da และที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.749	0.503	2.546	406.163
20	1.778	0.502	2.471	392.231
25	1.753	0.511	2.423	374.168
30	1.731	0.508	2.346	361.811
40	1.697	0.502	2.230	344.223
50	1.743	0.511	2.113	313.503
60	1.727	0.515	1.973	283.107
70	1.749	0.508	1.888	271.654
80	1.777	0.508	1.714	237.402
90	1.744	0.513	1.625	216.764
100	1.716	0.509	1.561	206.680
110	1.696	0.517	1.502	190.522
120	1.775	0.515	1.456	184.660
130	1.798	0.514	1.359	164.397
140	1.761	0.525	1.332	153.714

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.935	0.518	3.802	633.977
20	2.952	0.511	3.686	621.331
25	2.934	0.520	3.605	593.269
30	2.928	0.500	3.403	580.600
40	2.930	0.500	3.335	567.000
50	2.975	0.500	3.160	532.000
60	2.954	0.510	3.009	490.000
70	2.997	0.515	2.686	421.553
80	2.914	0.522	2.576	393.487
90	2.984	0.526	2.288	334.981
100	3.002	0.511	2.112	313.307
110	3.030	0.543	2.072	282.136
120	3.034	0.510	1.852	263.137
130	2.922	0.507	1.786	252.268
140	2.927	0.506	1.780	251.779

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.733	0.519	2.885	455.877
20	1.759	0.518	2.745	429.923
25	1.761	0.501	2.595	417.964
30	1.747	0.513	2.544	395.906
40	1.708	0.500	2.347	369.400
50	1.733	0.506	2.283	351.186
60	1.772	0.502	2.148	327.888
70	1.785	0.518	2.129	311.004
80	1.795	0.515	2.081	304.078
90	1.766	0.513	1.976	285.185
100	1.750	0.501	1.896	278.443
110	1.715	0.512	1.849	261.133
120	1.801	0.500	1.798	259.600
130	1.838	0.513	1.726	236.425
140	1.788	0.510	1.696	232.549

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 93,466 Da และที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.935	0.524	2.291	337.214
20	2.952	0.501	2.151	329.341
25	2.934	0.503	2.127	322.863
30	2.928	0.524	2.131	306.679
40	2.930	0.515	1.993	286.990
50	2.975	0.503	1.806	259.046
60	2.954	0.538	1.782	231.227
70	2.997	0.508	1.542	203.543
80	2.914	0.501	1.452	189.820
90	2.984	0.510	1.431	180.588
100	3.002	0.511	1.394	172.798
110	3.030	0.502	1.330	164.940
120	3.034	0.509	1.284	152.259
130	2.922	0.548	1.326	141.971
140	2.927	0.510	1.220	139.216

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.748	0.500	2.943	488.600
20	1.766	0.513	2.873	460.039
25	1.753	0.510	2.766	442.353
30	1.731	0.502	2.618	421.514
40	1.694	0.509	2.445	380.354
50	1.751	0.501	2.245	348.104
60	1.721	0.507	2.020	298.422
70	1.747	0.510	1.967	285.686
80	1.774	0.502	1.868	272.112
90	1.748	0.501	1.853	269.860
100	1.736	0.502	1.778	254.183
110	1.703	0.509	1.701	234.185
120	1.785	0.500	1.548	209.600
130	1.807	0.510	1.540	201.961
140	1.761	0.500	1.489	197.800

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.960	0.502	2.593	416.534
20	3.022	0.500	2.415	383.000
25	2.894	0.510	2.403	371.176
30	2.922	0.507	2.256	344.970
40	2.888	0.514	2.199	327.821
50	2.973	0.518	2.150	315.058
60	2.942	0.521	2.087	300.576
70	3.066	0.501	1.944	288.024
80	3.057	0.503	1.626	263.022
90	2.996	0.500	1.774	254.800
100	3.015	0.508	1.656	225.984
110	2.943	0.503	1.530	204.175
120	3.036	0.507	1.521	200.000
130	3.033	0.500	1.410	182.000
140	2.899	0.525	1.332	153.714

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 105,195 Da และที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.935	0.519	1.998	284.971
20	2.952	0.511	1.951	281.800
25	2.934	0.531	1.912	260.075
30	2.928	0.506	1.732	242.292
40	2.930	0.509	1.635	221.218
50	2.975	0.501	1.527	204.790
60	2.954	0.510	1.459	186.078
70	2.997	0.509	1.352	165.619
80	2.914	0.509	1.265	148.527
90	2.984	0.513	1.158	125.731
100	3.002	0.517	1.092	111.219
110	3.030	0.511	0.954	86.693
120	3.034	0.501	0.890	77.645
130	2.922	0.521	0.846	62.380
140	2.927	0.505	0.793	57.030

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.780	0.517	3.260	530.561
20	1.807	0.510	3.113	510.392
25	1.782	0.516	3.070	494.961
30	1.769	0.516	2.845	451.357
40	1.726	0.509	2.703	431.041
50	1.771	0.500	2.558	411.600
60	1.778	0.521	2.465	373.129
70	1.782	0.520	2.382	358.077
80	1.821	0.515	2.208	328.738
90	1.777	0.510	2.007	293.529
100	1.755	0.510	1.950	282.353
110	1.721	0.513	1.849	260.429
120	1.803	0.517	1.784	245.068
130	1.830	0.510	1.703	233.922
140	1.779	0.507	1.620	219.527

ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.749	0.520	2.761	430.962
20	1.769	0.514	2.616	408.949
25	1.748	0.544	2.658	388.603
30	1.732	0.506	2.427	379.644
40	1.703	0.501	2.275	354.092
50	1.751	0.521	2.250	331.862
60	1.728	0.520	2.147	312.885
70	1.747	0.511	2.055	302.153
80	1.776	0.514	1.953	279.961
90	1.748	0.510	1.849	262.549
100	1.737	0.520	1.821	250.192
110	1.699	0.509	1.728	239.489
120	1.784	0.510	1.645	222.549
130	1.814	0.512	1.551	202.93
140	1.763	0.511	1.480	189.628

ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 116,326 Da และที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.935	0.510	2.080	307.843
20	2.952	0.501	1.929	285.030
25	2.934	0.503	1.890	275.746
30	2.928	0.504	1.839	264.881
40	2.930	0.509	1.795	252.652
50	2.975	0.501	1.628	224.950
60	2.954	0.501	1.523	203.992
70	2.997	0.503	1.421	182.505
80	2.914	0.509	1.338	162.868
90	2.984	0.501	1.228	145.110
100	3.002	0.518	1.177	127.220
110	3.030	0.504	1.065	111.310
120	3.034	0.510	1.003	96.667
130	2.922	0.501	0.948	89.222
140	2.927	0.522	0.938	79.693

ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	2.899	0.500	3.301	560.200
20	2.941	0.502	3.143	526.096
25	2.881	0.504	3.120	519.048
30	2.917	0.501	2.899	478.643
40	2.882	0.503	2.728	442.346
50	2.954	0.501	2.634	425.749
60	2.941	0.510	2.572	404.314
70	3.025	0.518	2.401	363.514
80	2.954	0.502	2.204	339.044
90	2.980	0.507	2.112	316.568
100	3.002	0.510	1.978	287.843
110	2.992	0.506	1.848	265.217
120	3.026	0.501	1.790	257.285
130	2.911	0.509	1.754	244.597
140	2.914	0.514	1.730	236.576

ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.749	0.520	2.812	440.769
20	1.769	0.508	2.654	422.441
25	1.748	0.519	2.583	397.688
30	1.732	0.501	2.451	389.222
40	1.703	0.508	2.344	361.417
50	1.751	0.509	2.219	335.953
60	1.728	0.501	2.094	317.964
70	1.747	0.502	2.020	302.390
80	1.776	0.504	1.925	281.944
90	1.748	0.500	1.844	268.800
100	1.737	0.508	1.803	254.921
110	1.699	0.501	1.736	246.507
120	1.784	0.500	1.641	228.200
130	1.814	0.506	1.565	209.289
140	1.763	0.510	1.549	203.725

ตารางที่ ค.16 ผลการทดลองความสามารถในการดูดน้ำของโคโคซานไฮโดรเจล ที่น้ำหนักโมเลกุล 125,251 Da และที่ความเข้มข้น 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	น้ำหนัก sieve (กรัม)	น้ำหนักเจล เริ่มต้นสุทธิ, Wi (กรัม)	น้ำหนักเจล เปียกสุทธิ, Ws (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การบวม (%)
10	1.780	0.579	2.377	310.535
20	1.807	0.510	2.051	302.157
25	1.782	0.547	2.124	288.300
30	1.769	0.523	1.972	277.055
40	1.726	0.575	2.054	257.217
50	1.771	0.548	1.915	249.453
60	1.778	0.518	1.674	223.166
70	1.782	0.567	1.688	197.707
80	1.821	0.526	1.504	185.932
90	1.777	0.518	1.403	170.849
100	1.755	0.509	1.327	160.707
110	1.721	0.512	1.292	152.344
120	1.803	0.506	1.243	145.652
130	1.830	0.518	1.198	131.274
140	1.779	0.502	1.125	124.104

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองความต้านทานแรงกด ที่ความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 40%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) PVA / CS	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 1	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 2	Gel strength (นิวตัน) เฉลี่ย
PVA (25)/CS (25)	0.6104	0.6161	0.6133
PVA (25)/CS (30)	0.900	0.988	0.944
PVA (25)/CS (40)	0.9918	0.9960	0.9939
PVA (25)/CS (50)	1.221	1.244	1.233
PVA (25)/CS (60)	1.221	1.244	1.233
PVA (25)/CS (70)	1.602	1.590	1.596
PVA (25)/CS (80)	1.628	1.928	1.778
PVA (25)/CS (90)	1.888	1.930	1.909
PVA (25)/CS (100)	2.213	2.160	2.187
PVA (25)/CS (110)	2.518	2.581	2.550
PVA (25)/CS (120)	3.433	3.444	3.439

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองความต้านทานแรงกด ที่ความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 50%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) PVA / CS	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 1	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 2	Gel strength (นิวตัน) เฉลี่ย
PVA (25)/CS (25)	0.6866	0.7455	0.7160
PVA (25)/CS (30)	1.068	1.076	1.072
PVA (25)/CS (40)	1.450	1.478	1.464
PVA (25)/CS (50)	1.602	1.590	1.596
PVA (25)/CS (60)	1.720	1.762	1.741
PVA (25)/CS (70)	2.289	2.391	2.340
PVA (25)/CS (80)	2.441	2.585	2.513
PVA (25)/CS (90)	2.758	2.856	2.807
PVA (25)/CS (100)	3.052	3.058	3.055
PVA (25)/CS (110)	3.128	3.158	3.143
PVA (25)/CS (120)	3.586	3.734	3.660

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองความต้านทานแรงกด ที่ความเข้มข้นโคโตซานชั้นบน 60%

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) PVA / CS	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 1	Gel strength (นิวตัน) บริเวณสุ่มครั้งที่ 2	Gel strength (นิวตัน) เฉลี่ย
PVA (25)/CS (25)	1.144	1.142	1.143
PVA (25)/CS (30)	1.221	1.265	1.243
PVA (25)/CS (40)	1.602	1.635	1.619
PVA (25)/CS (50)	1.907	1.954	1.931
PVA (25)/CS (60)	2.365	2.302	2.334
PVA (25)/CS (70)	2.441	2.557	2.499
PVA (25)/CS (80)	2.612	2.676	2.644
PVA (25)/CS (90)	2.916	2.974	2.945
PVA (25)/CS (100)	3.687	3.652	3.670
PVA (25)/CS (110)	4.349	4.511	4.430
PVA (25)/CS (120)	4.883	4.866	4.875

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

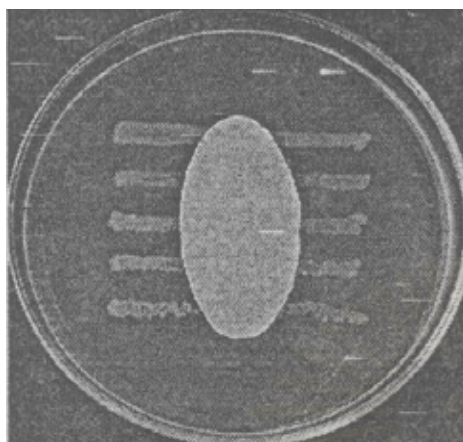
การทดสอบสมบัติทางด้านนี้ได้ใช้มาตรฐานการทดสอบ 2 มาตรฐานคือ หนึ่ง มาตรฐานการทดสอบของ AATCC Test Method 147-1998 – Antibacterial Activity Assessment of Textile materials : Parallel Streak Method ซึ่งมีวิธีการการทดสอบดังนี้ ป่มเชื้อจุลินทรีย์ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 C° สำหรับเชื้อ E.coli และเชื้อ S. aureus แต่สำหรับเชื้อ C. albicans ป่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 C° หลังจากป่มเชื้อเสร็จแล้ว ทำการเจือจางเชื้อที่ป่นในอัตราส่วน 1:10 แล้วทำการจุ่มเชื้อมาลากลงบนจานแก้วที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วจึงตัดชิ้นไฮโดรเจลทดสอบเป็นรูปวงรีที่มีขนาด 25 มิลลิเมตรและยาว 50 มิลลิเมตร หลังจากนั้นวางทับชิ้นไฮโดรเจลทดสอบให้แนบที่สุดลงบนจุลินทรีย์ที่ถูกลากเป็นเส้นยาว 60 มิลลิเมตร จำนวน 5 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นห่างกัน 10 มิลลิเมตร ลงบนแผ่นวุ้นที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อของ จุลินทรีย์ในจานแก้ว หลังจากนั้นเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 C° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตว่ามี ขอบเขตที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ที่เรียกว่า Clear zone หรือไม่ ถ้ามีก็ทำการวัดระยะของ Clear zone ที่เกิดขึ้น แล้วนำมาคำนวณหาความกว้างของ Clear zone ที่เป็นขอบเขตในการยับยั้งจุลินทรีย์ ไม่ให้เจริญเติบโต

ส่วนมาตรฐานการทดสอบของ FC-TM-19 ด้วยวิธี Shake Flask Method ซึ่งมีวิธีการทดสอบทำดังนี้ นำเชื้อที่ป่มแล้ว 1 ชั่วโมง มาใส่ไว้ในขวดแก้ว 2 ขวด ขวดแรกจะใส่ตัว control คือเป็นเจลปิดบาดแผลในส่วนของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลจำนวน 1 กรัม และ ส่วนขวดที่ 2 จะใส่เจลปิดบาดแผลในส่วนของโคโตซานไฮโดรเจลจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในขวดแก้ว ที่มีจุลินทรีย์ หลังจากนั้นทำการเขย่าขวดแก้วทั้งสองที่ภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้ว ดูดเชื้อจากขวดแก้วทั้งสองขึ้นมา ทำการเจือจางสารตามความเหมาะสม แล้วนำเอาเชื้อที่เจือจาง แล้วแต่ละขวดมาหยดใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ ทำการเพาะ เชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ในจานเพาะ เชื้อที่ได้เชื้อมาจากขวดแก้วที่มีโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลทดสอบให้ค่านี้แทนด้วย A แล้วทำ เช่นกัน นับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อที่ได้เชื้อมาจากขวดแก้วที่มีโคโตซาน ไฮโดรเจลทดสอบให้ค่านี้แทนด้วย B หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของจุลินทรีย์ ตาม สมการที่ จ.1

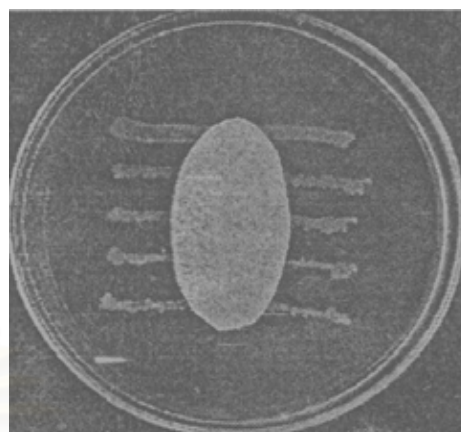
$$\text{Percent reduction} = 100 \times (A - B) / A$$

จ.1

จ.1 วิธี Clear zone



เชื้อ S.aureus



เชื้อ E.coli

รูปที่ จ.1 แสดง Clear zone ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล

จากรูปที่ จ.1 ไม่มี Clear zone ของ *Candida albicans* เนื่องเส้นอาหารเลี้ยงเชื้อให้เจริญเติบโตถูกทำลายหมดทั้ง 5 เส้น เพราะอิทธิพลของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วน 2 เชื้อที่เหลือคือเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* พบว่ายังสามารถเจริญเติบโตบนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

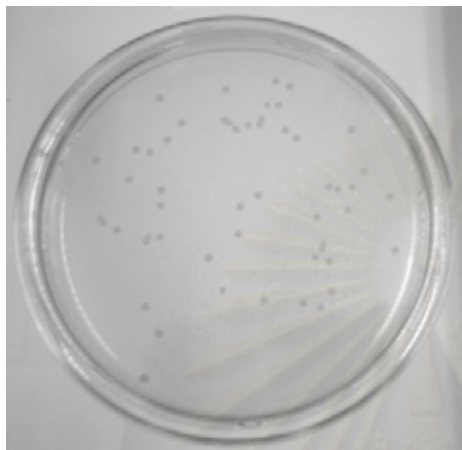
Clear zone ของเชื้อทั้งสามบนโคโตซานไฮโดรเจล พบว่าเส้นอาหารเลี้ยงเชื้อให้เจริญเติบโตถูกทำลายหมดทั้ง 5 เส้น

ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (AATCC 147-1998)

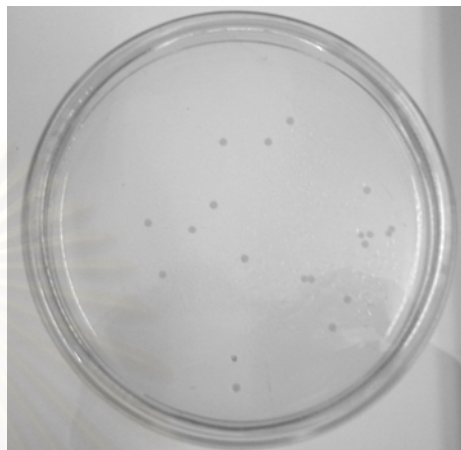
ไฮโดรเจล	การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์		
	S.aureus	E.coli	C.albicans
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	ได้มาก	ได้มาก	ได้น้อยมาก
โคโตซาน	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก
PVA/CMS	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก	ได้น้อยมาก

จ.2 วิธี Shake flask

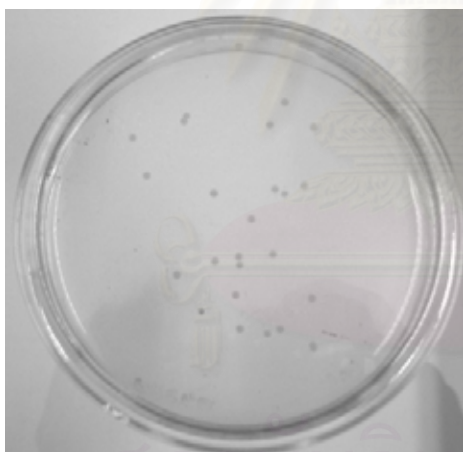
ผลการทดสอบเชื้อ Staphylococcus aureus โดยแต่ละจุดจะแสดงจำนวนโคโลนีของเชื้อโรคที่เจริญเติบโตขึ้น



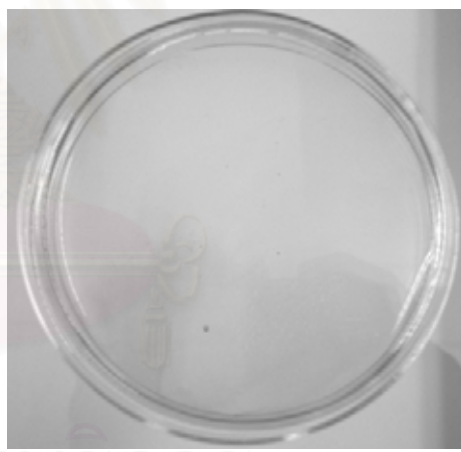
Control



PVA Hydrogel



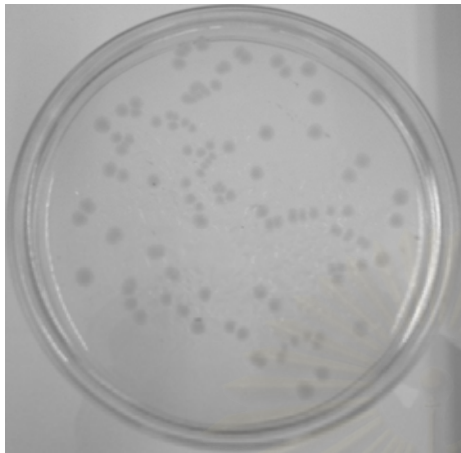
PVA Hydrogel



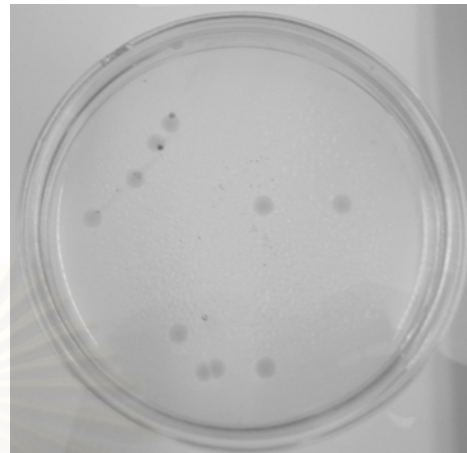
Chitosan Hydrogel

รูปที่ จ.2 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus aureus บนจานเพาะเชื้อ

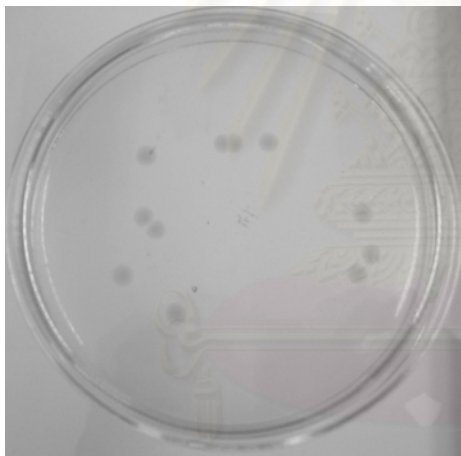
ผลการทดสอบเชื้อ *Escherichia coli* โดยแต่ละจุดจะแสดงจำนวนโคโลนีของเชื้อโรคที่เจริญเติบโตขึ้น



Control



PVA Hydrogel



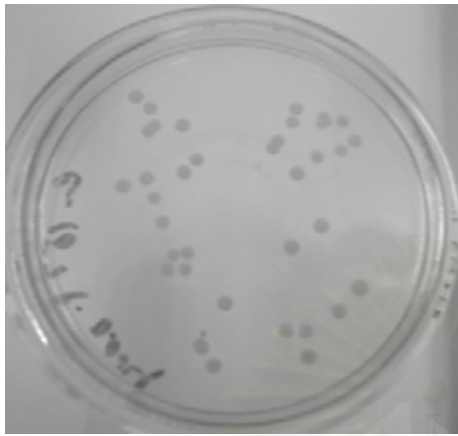
PVA Hydrogel



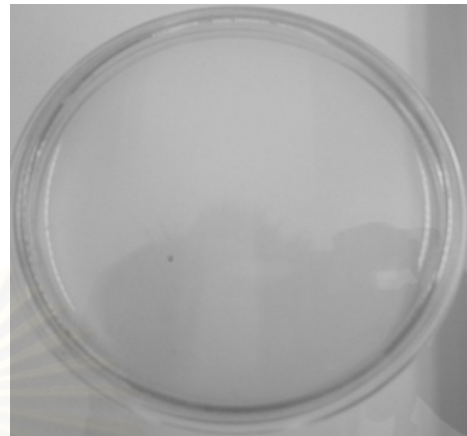
Chitosan Hydrogel

รูปที่ ๑.3 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* บนจานเพาะเชื้อ

ผลการทดสอบเชื้อ *Candida albicans* โดยแต่ละจุดจะแสดงจำนวนโคโลนีของเชื้อโรคที่เจริญเติบโตขึ้น



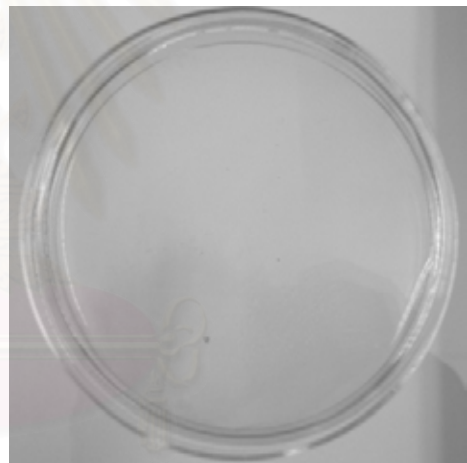
Control



PVA Hydrogel



PVA Hydrogel



Chitosan Hydrogel

รูปที่ ๑.๔ แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida albicans* บนจานเพาะเชื้อ

ตารางที่ ๑.2 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Staphylococcus aureus

การเพาะเชื้อ	Dilution	จำนวนจุดเชื้อ	จุดเชื้อ $\times 10^4$ จำนวน colonies
S. aureus	10^{-3}	53	5.3×10^5
PVA Hydrogel	10^{-2}	21, 24	2.25×10^5
Chitosan Hydrogel	10^{-2}	ไม่ปรากฏ	0
Chitosan Hydrogel	10^{-3}	ไม่ปรากฏ	0

ตารางที่ ๑.3 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Escherichia coli

การเพาะเชื้อ	Dilution	จำนวนจุดเชื้อ	จุดเชื้อ $\times 10^4$ จำนวน colonies
E. coli	10^{-3}	99	9.9×10^5
PVA Hydrogel	10^{-2}	10, 11	1.05×10^5
Chitosan Hydrogel	10^{-2}	ไม่ปรากฏ	0
Chitosan Hydrogel	10^{-3}	ไม่ปรากฏ	0

ตารางที่ ๑.4 ผลการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ Candida albicans

การเพาะเชื้อ	Dilution	จำนวนจุดเชื้อ	จุดเชื้อ $\times 10^4$ จำนวน colonies
C. albicans	10^{-3}	36	3.6×10^5
PVA Hydrogel	10^{-2}	ไม่ปรากฏ	0
Chitosan Hydrogel	10^{-2}	ไม่ปรากฏ	0
Chitosan Hydrogel	10^{-3}	ไม่ปรากฏ	0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอัษฎ์ สุวรรณวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2523 ที่โรงพยาบาล กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสารวิทยาเมื่อปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545 และ สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย