

การเตรียมกลุ่โคแมนแนนน้าหนักโมเลกุลต่ำโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิฐภาคของเหลว



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF LOW MOLECULAR WEIGHT GLUCOMANNAN BY LIQUID PHASE
PLASMA PROCESS

Mr. Sasin Kaewcharoen



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

ศศิน แก้วเจริญ : การเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (PREPARATION OF LOW MOLECULAR WEIGHT GLUCOMANNAN BY LIQUID PHASE PLASMA PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.รัฐ พิชญางกูร, ผศ. ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์, 114 หน้า.

ปัจจุบันการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอาหารและยาได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคมีความใส่ใจในสุขภาพและลดการทานอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือทำให้เกิดโรคต่างๆ ซึ่งกลูโคแมนแนนเป็นคาร์โบไฮเดรตจากธรรมชาติที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการเตรียมสารพรีไบโอติกที่ช่วยลดโอกาสการเกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร การเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำจึงได้รับความสนใจอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวซึ่งเป็นวิธีใหม่โดยมีการพัฒนาถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดน้ำหนักร้อยละต่ำและผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำ จากผลการศึกษาพบว่า กลูโคแมนแนนจะถูกย่อยสลายด้วยพลาสมาโดยอาศัยอนุมูลไฮดรอกซิลซึ่งเข้าทำลายพันธะไกลโคซิดิกของกลูโคแมนแนนตั้งต้น (1,341 กิโลดาลตัน) ส่งผลให้น้ำหนักร้อยละต่ำและเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนที่มีน้ำหนักร้อยละ 2 ช่วง คือ กลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละปานกลาง (51-760 กิโลดาลตัน) และกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำ (1.2-1.4 กิโลดาลตัน) ตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น โดยถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียนสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้ในปริมาณมากกว่าการใช้ถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ ชนิดของตัวทำละลายและสารละลายที่มีความเป็นกรดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีต่อร้อยละผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำอย่างมาก นอกจากนี้การเพิ่มความถี่ไฟฟ้าและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนน การลดปริมาตรสารละลาย และการใช้อัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมให้สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การที่สารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักร้อยละต่อปริมาตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเป็นกรดต่าง 3 โดยใช้ถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลาย 5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้สูงถึงร้อยละ 76 เมื่อที่ด้วยพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5870246721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: GLUCOMANNAN / LIQUID PHASE PLASMA

SASIN KAEWCHAROEN: PREPARATION OF LOW MOLECULAR WEIGHT GLUCOMANNAN BY LIQUID PHASE PLASMA PROCESS. ADVISOR: PROF. SIRIPORN DAMRONGSAKKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. RATH PICHYANGKURA, Ph.D., ASST. PROF. ISARAWUT PRASERTSUNG, Ph.D., 114 pp.

Development of food and pharmaceutical industries has been extensively intrigued, since consumers' behaviors have been turning to healthy diet, reducing in consuming junk foods which can cause various diseases. Glucomannan is a natural carbohydrate that can be degraded into low molecular weight glucomannan (LMWGCM), which acts as prebiotic to prevent many digestive diseases. Therefore, preparation of LMWGCM has gained a lot of research interest. This work aimed to prepare LMWGCM using a novel method of solution plasma process (SPP) and a newly developed circulating batch plasma reactor. The molecular weight and yield of LMWGCM have been determined. The results showed that glucomannan (1,341 kDa) was degraded using solution plasma to medium molecular weight (51-760 kDa) and LMWGCM (1.2-1.4 kDa) by hydroxyl radical (OH \cdot), which destroys glycosidic bonds of glucomannan, resulting in a lower molecular weight and a production of the LMWGCM upon an increasing of treatment time. The circulating batch plasma reactor can produce higher amount of LMWGCM than a batch plasma reactor. Solvent type and highly acidic solvent are the most important parameters, which greatly enhanced the production of LMWGCM in shorter treatment time. In addition, increasing of applied pulse frequency and solution concentration, lower solution volume, and appropriate flow rate of solution were resulted in a higher yield percentage of LMWGCM. In conclusion, the solution plasma process was effective to prepare LMWGCM using semi-batch plasma reactor. The highest LMWGCM amount was achieved when treated 50 ml of 0.7%w/v glucomannan solution in citrate-phosphate buffer at pH 3 by using the circulating batch plasma reactor at applied pulse frequency of 30 kHz, solution flow rate of 5 ml/min, and 300 min of treatment time to obtain 76 yield percentage of LMWGCM.

Department: Chemical Engineering

Field of Study: Chemical Engineering

Academic Year: 2017

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับการช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐ พิษณุางกูร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงสำหรับการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย วางแผนการวิจัย แนวทางในการดำเนินงานวิจัย และการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะกรรมการ ซึ่งได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์ ประธานกรรมการ, รองศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์ และ ศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ใจ ใจเย็น กรรมการ ที่ทุกท่านได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยงานวิจัยจากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีพลาสมาและนิวเคลียร์ฟิวชั่น (Plasma Technology and Nuclear Fusion Research Unit) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการทำการทดลอง รวมทั้งเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมวัสดุการแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมาจนกระทั่งงานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 มูลเหตุจูงใจ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 3 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)..... | 5 |
| 2.2 กลูโคแมนแนน (Glucomanan)..... | 7 |
| 2.3 การย่อยสลายกลูโคแมนแนน..... | 8 |
| 2.3.1 การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด..... | 8 |
| 2.3.2 การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์ | 9 |
| 2.3.2.1 เอนไซม์แมนแนนเนส | 9 |
| 2.3.2.2 เอนไซม์กลูโคซิเดส | 10 |
| 2.4 กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (Liquid phase plasma process)..... | 10 |
| 2.4.1 หลักการของพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว | 10 |
| 2.4.2 เครื่องกำเนิดพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.4.3 การประยุกต์ใช้พลาสมาวิทยุภาคของเหลว | 14 |
| 2.5 วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล | 15 |
| 2.5.1 การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (Rotational viscometer) | 15 |
| 2.5.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค Gel permeation chromatography | 16 |
| 2.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy | 18 |
| 2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| 2.6.1 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด | 19 |
| 2.6.2 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์ | 21 |
| 2.6.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวในการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์ | 24 |
| 2.6.4 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กระบวนการอื่นๆ | 26 |
| บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย | 28 |
| 3.1 วัสดุและสารเคมี | 28 |
| 3.2 อุปกรณ์ | 28 |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 29 |
| 3.3.1 การติดตั้งระบบพลาสมาวิทยุภาคของเหลว | 30 |
| 3.3.2 การเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว | 31 |
| 3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลว | 32 |
| 3.3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน | 32 |
| 3.3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนน | 32 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนน | 33 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 34 |
| 4.1 ผลของชนิดตั้งปฏิกรณ์และเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 34 |
| 4.2 ผลของปริมาณของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 41 |
| 4.3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 45 |
| 4.4 ผลของความถี่ไฟฟ้าและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 49 |
| 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 55 |
| 4.6 ผลของชนิดของตัวทำละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว | 60 |
| 4.7 ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาค ของเหลว | 65 |
| 4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนนหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมา.... | 69 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 72 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 72 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 73 |
| รายการอ้างอิง | 74 |
| ภาคผนวก..... | 78 |
| ภาคผนวก ก. | 79 |
| ภาคผนวก ข. | 106 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 114 |



สารบัญตาราง

| | |
|--|---|
| ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร | 6 |
| ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อน้ำตาลกลูโคสของโครงสร้างของกลูโคแมนแนนในพืชแต่ละชนิด | 7 |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 2.1 | โครงสร้างและองค์ประกอบของสารพอลิแซคคาไรด์ในผนังเซลล์พืช | 5 |
| รูปที่ 2.2 | สัดส่วนของสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ โครงสร้างของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส | 6 |
| รูปที่ 2.3 | โครงสร้างของกลูโคแมนแนน | 7 |
| รูปที่ 2.4 | การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด | 8 |
| รูปที่ 2.5 | ชนิดของเอนไซม์และตำแหน่งการเข้าตัดพันธะของโครงสร้างกลูโคแมนแนน | 9 |
| รูปที่ 2.6 | แบบจำลองของพลาสมาวิฏภาคของเหลว | 11 |
| รูปที่ 2.7 | หลักการของเครื่องกำเนิดพลาสมาวิฏภาคของเหลวแบบกะ | 12 |
| รูปที่ 2.8 | หลักการของเครื่องกำเนิดพลาสมาวิฏภาคของเหลวแบบกะหมุนเวียน | 13 |
| รูปที่ 2.9 | หมว่องไวที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการพลาสมาวิฏภาคของเหลว | 13 |
| รูปที่ 2.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำจากศูนย์กลางต่อของเหลวที่ระยะทางแตกต่างกัน | 15 |
| รูปที่ 2.11 | การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน | 16 |
| รูปที่ 2.12 | หลักการแยกสารภายในคอลัมน์ | 17 |
| รูปที่ 2.13 | แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Gel permeation chromatography | 17 |
| รูปที่ 2.14 | ตัวอย่าง Interferogram ของ aniline | 18 |
| รูปที่ 2.15 | แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy | 19 |
| รูปที่ 3.1 | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 29 |
| รูปที่ 3.2 | ชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวิฏภาคของเหลวและถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ | 30 |
| รูปที่ 3.3 | ชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวิฏภาคของเหลวและถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน | 31 |
| รูปที่ 4.1 | การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 5 มิลลิลิตรต่อนาที | 35 |

รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคสแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคสแมนแนนในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 5 มิลลิลิตรต่อนาที..... 37

รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของระบบพลาสมาในถังปฏิกรณ์แบบกะและถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 38

รูปที่ 4.4 กลไกการย่อยสลายกลูโคสแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว 40

รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคสแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (CBR-V50) และ 100 มิลลิลิตร (CBR-V100) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคสแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที..... 41

รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคสแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (CBR-V50) และ 100 มิลลิลิตร (CBR-V100) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคสแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที..... 43

รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคสแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคสแมนแนน 1 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R1) 5 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R5) และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R10) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์..... 45

รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคสแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคสแมนแนน 1 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R1) และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R5) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์..... 47

รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F15) 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F22.5) และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F30)..... 50

รูปที่ 4.10 ผลของความถี่ไฟฟ้าพลาสมาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (ค) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (ง) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (จ) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และ (ฉ) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และผลของความถี่ไฟฟ้าพลาสมาในช่วง 15-30 กิโลเฮิร์ตซ์ที่มีต่อ (ซ) การเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อพัลส์ (ช) พลังงานเฉลี่ยต่อ 1 วินาที..... 52

รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F15) และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F30)..... 53

รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (CBR-C0.3) 0.5 (CBR-C0.5) 0.7 (CBR-C0.7) และ 0.9 (CBR-C0.9) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์..... 56

รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (CBR-C0.5) และ 0.7 (CBR-C0.7) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์..... 59

- รูปที่ 4.14** การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่นที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-W) และในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-B) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ 61
- รูปที่ 4.15** การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และ ร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่นที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-W) และในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-B) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์..... 63
- รูปที่ 4.16** กลไกการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดร่วมกับกระบวนการพลาสมา..... 64
- รูปที่ 4.17** การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 (CBR-pH3) 5 (CBR-pH5) และ 7 (CBR-7) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ 66
- รูปที่ 4.18** การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 (CBR-pH3) และ 7 (CBR-7) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ 68
- รูปที่ 4.19** ผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของของสารละลายกลูโคแมนแนนก่อนและหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมาที่สภาวะต่างๆ (ก) กลูโคแมนแนนที่ไม่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมา (ข) CBR-F15 (ค) CBR-F30, CBR-C0.5 (ง) CBR-C0.7 (จ) CBR-pH3 (ข) CBR-pH7..... 70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มุลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบชีวมวล (Biomass) ที่มีมากที่สุดในโลก โดยทั่วไปจะพบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน ลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยมีสัดส่วนที่แตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด [1] และส่วนที่พบได้มากที่สุดคือเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลเพนโตส (Pentose) หรือน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) โดยอาจมีน้ำตาลชนิดเดียวหรือหลายชนิดเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสในพืชแต่ละชนิด [2, 3] เฮมิเซลลูโลสสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยการนำไปย่อยสลายเพื่อผลิตน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) หรือน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในหลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง [4]

ปัจจุบันการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอาหารและยาได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคมีการใส่ใจในสุขภาพและลดการทานอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือทำให้เกิดโรคต่างๆ การนำสารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารจึงได้รับความสนใจมาก อาทิ กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low molecular weight glucomannan) [5] เนื่องจากกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการเตรียมสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่เป็นส่วนผสมในนมเปรี้ยวและโยเกิร์ต ซึ่งทำหน้าที่เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ ช่วยปรับปรุงระบบขับถ่ายให้ดีขึ้น ลดโอกาสการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร และลดโอกาสการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์อย่างมาก [6, 7] นอกจากนี้กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหรือยาลดน้ำหนักได้เนื่องจากมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี มีการพองตัวค่อนข้างมากจึงใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารและยาหลายชนิด [8]

กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถเตรียมได้จากกระบวนการย่อยเฮมิเซลลูโลสจำพวกกลูโคแมนแนน (Glucomannan) โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 วิธี คือ การย่อยสลายทางเคมีโดยใช้กรดและการย่อยโดยใช้เอนไซม์ [9-16] กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยกรดเป็นกระบวนการที่สามารถทำได้ง่ายและใช้เวลาสั้น นิยมใช้กรดแก่ในการทำปฏิกิริยา เช่น กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นต่ำ อย่างไรก็ตาม การย่อยด้วยกรดมีข้อเสียในเรื่องต้นทุนการผลิตและการ

กำจัดตัวทำลายออกจากผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดจำเป็นต้องดำเนินปฏิกิริยาที่สภาวะอุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ได้ผลผลิตน้อยลง ส่วนกระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์ ต้องอาศัยเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้น เช่น เอนไซม์แมนแนนเนส (Mannanase) และเอนไซม์กลูคาเนส (Glucanases) ที่สามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์และเชื้อรา ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถทำได้ในสภาวะปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง ใช้อุณหภูมิต่ำ ให้ผลผลิตน้ำตาลที่มีความบริสุทธิ์สูง และไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงต่อผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลานาน เอนไซม์มีราคาแพง และจำเป็นต้องมีการพรีทรีท (บำบัด) ด้วยกรดก่อนการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้ การเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักริมเลกุลต่ำโดยใช้เอนไซม์จะให้ผลผลิตปริมาณน้อย เนื่องจากเอนไซม์แมนแนนเนสและเอนไซม์กลูโคซิเดสมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนสูงและส่งผลให้เกิดผลผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่ากลูโคแมนแนนน้ำหนักริมเลกุลต่ำ [15]

กระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว (Liquid phase plasma process) เป็นกระบวนการที่ค้นพบโดย O. Takai ในปี ค.ศ. 2008 [17] ซึ่งได้มีการนำพลาสมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโน การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของโลหะ และการบำบัดน้ำเสีย ในปัจจุบันกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง อาทิ ในปี ค.ศ. 2012 I. Prasertsung และคณะ [18] ได้ศึกษาการเตรียมโคโตซานน้ำหนักริมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว พบว่าโคโตซานจากเปลือกกุ้งมีน้ำหนักริมเลกุลและความหนืดลดลงเมื่อผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical, OH·) ที่ผลิตขึ้นในกระบวนการพลาสมาสามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายโคโตซานเป็นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Chito-oligosaccharide) ต่อมาในปี ค.ศ. 2013 I. Prasertsung และคณะ [19] ได้ศึกษาการย่อยสลายปีตาโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว พบว่าความเป็นผลึกของโคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาลดลง ในขณะที่โครงสร้างทางเคมีของโคโตซานไม่เปลี่ยนแปลง ในปี ค.ศ. 2015 T. Tantiplapol และคณะ [20] ได้ศึกษาผลของสภาวะของกระบวนการพลาสมาที่มีต่อการย่อยสลายโคโตซาน โดยเปรียบเทียบชนิดของขั้วอิเล็กโทรด คือ ทั้งสแตน เหล็ก และทองแดง พบว่าขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กให้ผลของการย่อยสลายดีที่สุด โดยส่งผลให้ความเป็นผลึก ความหนืด และน้ำหนักริมเลกุลลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการพลาสมาที่ใช้ขั้วอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตนและทองแดง และในปี ค.ศ. 2017 I. Prasertsung และคณะ [21] ได้ศึกษาการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวิตซ์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว โดยเปรียบเทียบชนิดของขั้วอิเล็กโทรด คือ ทั้งสแตน เหล็ก และทองแดง ความถี่ไฟฟ้า และระยะเวลาการทรีท พบว่าขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กให้ผลของการย่อยสลายเซลลูโลสดีที่สุด โดยส่งผลให้ความเป็นผลึกลดลงมากที่สุด และให้ร้อยละผลได้ของน้ำตาลรีดิวิตซ์สูงสุด จากรายงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

พลาสมาสามารถย่อยสลายโคโคซานและเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้โคโคซาน เซลลูโลส และกลูโคแมนแนนต่างก็เป็นสารในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวในการเตรียมกลูโคแมนแนน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ปัจจุบันการใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวในการย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์ยังคงมีสิ่งที่ต้องแก้ไขในเรื่องของการสัมผัสกันระหว่างสารละลายและจุดกำเนิดพลาสมาในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ เนื่องจากถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ (5 เซนติเมตร) และอาศัยการปั่นกววนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการหมุนเวียนสารละลายให้เคลื่อนที่ผ่านจุดกำเนิดพลาสมาอย่างสม่ำเสมอ จึงส่งผลให้สารละลายบางส่วนอยู่ในเขตไร้การตอบสนอง (Dead zone) โดยเฉพาะกรณีการใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวในการย่อยสลายสารที่มีความหนืดสูงซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาลดลง จึงควรมีการพัฒนาถังปฏิกรณ์พลาสมาให้มีประสิทธิภาพต่อการย่อยสลายสารละลายที่มีความหนืดสูงเช่นกลูโคแมนแนนมากขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว โดยศึกษาผลของถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียนที่ได้รับการพัฒนาใหม่เปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์แบบกะ และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนน ได้แก่ ระยะเวลาการเตรียมพลาสมา ปริมาตรของสารละลาย กลูโคแมนแนน อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน ความถี่ไฟฟ้าของพลาสมา ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนน ชนิดของตัวทำละลาย และความเป็นกรดต่างของสารละลายกลูโคแมนแนน เพื่อหาสภาวะการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ดีที่สุด ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนากระบวนการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารพรีไบโอติกที่มีมูลค่าสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว

1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมาและผลของสภาวะพลาสมาที่มีต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ติดตั้งระบบกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวแบบกะและแบบกะหมุนเวียน

1.3.2 ศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวโดยมีตัวแปรที่ศึกษาดังนี้

1.3.2.1 ระยะเวลาการทรีทในช่วง 0 ถึง 300 นาที

1.3.2.2 ชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ (BR) และแบบกะหมุนเวียน (CBR)

1.3.2.3 ปริมาตรของสารละลายกลูโคแมนแนน 50 และ 100 มิลลิลิตร

1.3.2.4 อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนในช่วง 1 ถึง 10 มิลลิลิตรต่อ

นาที

1.3.2.5 ความถี่ไฟฟ้าของพลาสมาในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์

1.3.2.6 ความเข้มข้นของกลูโคแมนแนนในช่วง 0.3 ถึง 0.9 โดยน้ำหนักต่อ

ปริมาตร

1.3.2.7 ชนิดของตัวทำละลายคือ น้ำกลั่น และซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์

1.3.2.8 ความเป็นกรดต่างของสารละลายกลูโคแมนแนนในช่วง 3 ถึง 7

1.3.3 วิเคราะห์ผลของการย่อยสลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวดังนี้

1.3.3.1 วิเคราะห์ความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ Rotational viscometer

1.3.3.2 วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เทคนิค Gel permeation chromatography (GPC)

1.3.3.3 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

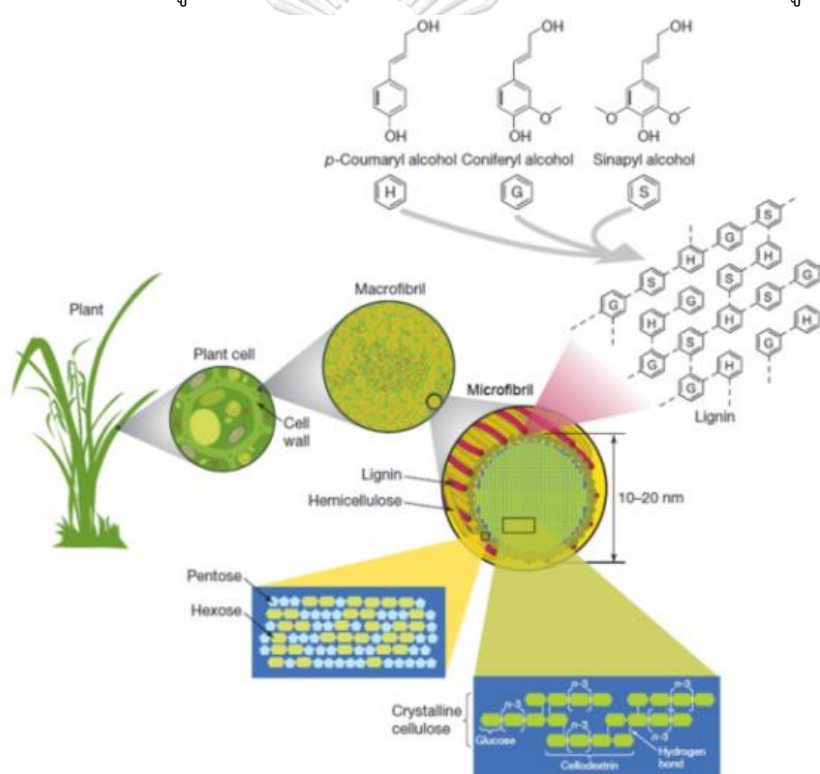
สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารพรีไบโอติกที่มีมูลค่าสูงต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบได้ในส่วนของผนังเซลล์ชั้นที่ 2 ของพืชหลากหลายชนิดในส่วนของเปลือกอ่อนของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน โดยโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือโซ่กิ่งจากการจัดเรียงตัวของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดโครงสร้างจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นเส้นใยมัดรวมกับเซลลูโลสและลิกนินที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



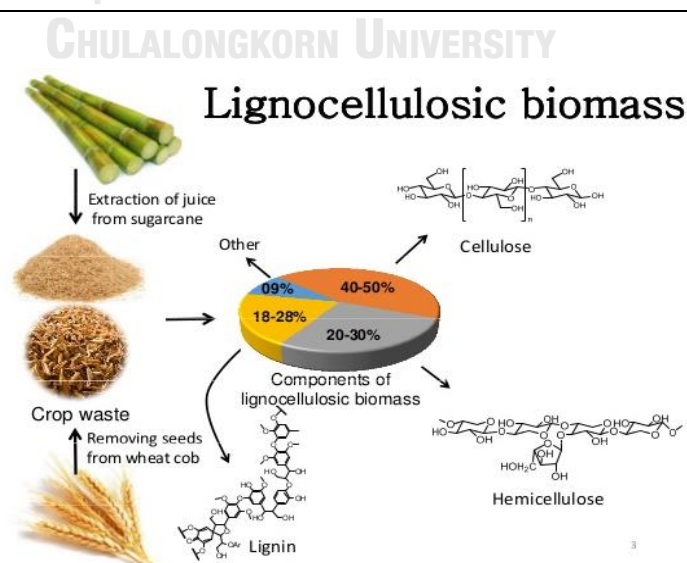
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของสารพอลิแซคคาไรด์ในผนังเซลล์พืช [22]

โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสมีลักษณะใกล้เคียงกับโครงสร้างของเซลลูโลส โดยเฮมิเซลลูโลสเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดน้ำตาลหลายชนิดจัดเรียงกันในลักษณะเป็นเส้นตรงหรือโซ่กิ่งด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซั้วที่เรียกว่า พันธะไกลโคซิดิก โดยมีความยาวประมาณ 2,000 หน่วยขึ้นไป ซึ่งอาจประกอบด้วยกลุ่มน้ำตาลเพนโตส เช่น น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลอะราบินอส หรือกลุ่มน้ำตาลเฮกโซส เช่น น้ำตาลแมนโนส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาล

กาแลคโตส การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลส่งผลให้โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสมีความเป็นอสัณฐานมากกว่าโครงสร้างของเซลลูโลสที่มีโครงสร้างแบบโฮโมพอลิเมอร์ โดยมีน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่มีความยาว 10,000 หน่วยขึ้นไป ส่งผลให้โครงสร้างมีความเป็นผลึกสูงกว่า และละลายน้ำได้น้อยกว่า พลังเซลล์พืชของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีสัดส่วนขององค์ประกอบเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชผลทางการเกษตร [4] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [3]

| วัสดุเหลือทิ้ง | เซลลูโลส (%) | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) |
|---------------------|--------------|------------------|------------|
| ไม้เนื้อแข็ง | 40-55 | 24-40 | 18-25 |
| ไม้เนื้ออ่อน | 45-50 | 25-35 | 25-35 |
| เปลือกถั่ว | 25-30 | 25-30 | 30-40 |
| ซังข้าวโพด | 45 | 35 | 15 |
| หญ้า | 25-40 | 35-50 | 10-30 |
| ฟางข้าว | 30 | 50 | 15 |
| ใบไม้ | 15-20 | 80-85 | 0 |
| ใยเมล็ดฝ้าย | 80-95 | 5-20 | 0 |
| หญ้าคอสทอล เบอมิวดา | 25 | 35.7 | 6.4 |
| หญ้าสวิช | 45 | 31.4 | 120 |



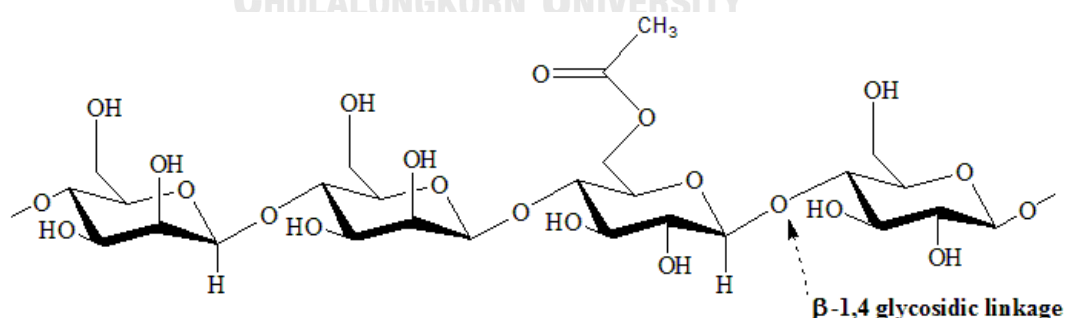
รูปที่ 2.2 สัดส่วนของสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ โครงสร้างของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส [23]

2.2 กลูโคแมนแนน (Glucomanan)

กลูโคแมนแนนเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิดคือน้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขั้วที่ตำแหน่งปีตา 1 และ 4 ไกลโคซิดิกของแต่ละโมเลกุล โดยแต่ละโครงสร้างจะมีสัดส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อน้ำตาลกลูโคสแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและเนื้อไม้ที่ถูกนำมาสกัดแสดงดังตารางที่ 2.2 โครงสร้างของกลูโคแมนแนนแสดงดังรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อน้ำตาลกลูโคสของโครงสร้างของกลูโคแมนแนนในพืชแต่ละชนิด [8]

| แหล่งที่มา | สัดส่วนของน้ำตาลแมนโนส ต่อน้ำตาลกลูโคส | ดีกรีพอลิเมอร์ไรเซชัน |
|----------------------|---|-----------------------|
| สนภูเขา | 3.8 : 1 | 90 |
| ดอกกลิลี่แมงมุมสีแดง | 4.0 : 1 | 730 |
| หัวบุก | 1.6 : 1 | 6,200 |
| ดอกกลิลี่ | 2.7 : 1 | 220 |
| ดอกกล้วยไม้ | 3.2 : 1 | 600 |
| ใบป่าน | 1.8 : 1 | 10,800 |
| ไม้แดง | 4.2 : 1 | 60 |
| ดอกชูยเซน | 1.5 : 1 | - |



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน [24]

การประยุกต์ใช้กลูโคแมนแนนจะนิยมสกัดเพื่อนำมาใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สารเพิ่มความเข้มข้น (Thickener) สารตั้งต้นในการผลิตพรีไบโอติก และ

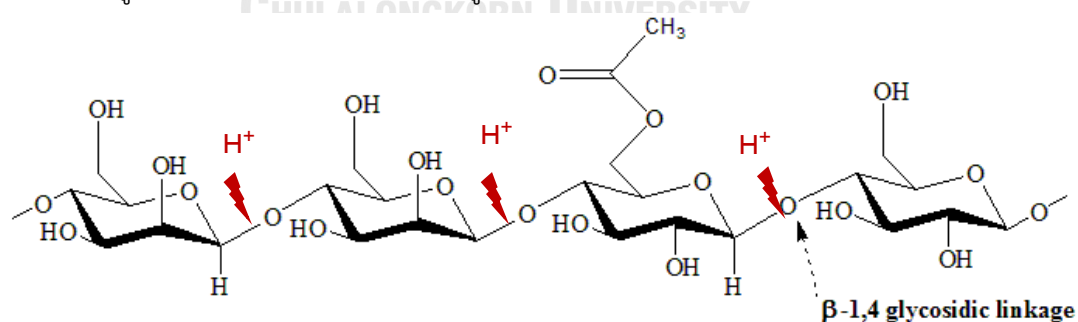
อาหารลดน้ำหนักในรูปของใยอาหาร (Dietary fiber) เนื่องจากมีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถดูดซับน้ำ และพองตัวได้มาก ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด ต่าง หรือน้ำย่อยในร่างกาย จึงไม่ถูกดูดซึมในร่างกายของมนุษย์ [6] นอกจากนี้สามารถนำมาใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมยาได้อีกด้วย เช่น การใช้เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลและคอเลสเตอรอลในเลือด ใช้เป็นส่วนผสมในยาเม็ดรักษาโรคต่างๆ และใช้ในการต้านโรคมะเร็งลำไส้รวมถึงช่วยปรับปรุงระบบขับถ่าย [8]

2.3 การย่อยสลายกลูโคแมนแนน

การย่อยสลายกลูโคแมนแนน โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 วิธี คือ การย่อยโดยใช้กรด และการย่อยโดยใช้เอนไซม์

2.3.1 การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด

การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดเป็นกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ใช้กรดเจือจางในการทำปฏิกิริยา ซึ่งแตกต่างจากการย่อยเซลลูโลสที่นิยมใช้กรดเข้มข้นเนื่องจากกลูโคแมนแนนมีโครงสร้างง่ายต่อการย่อยสลายมากกว่าการย่อยในเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกสูงกว่า โดยทั่วไปนิยมใช้กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยจะมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมตามความเข้มข้นที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนในการย่อยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ นอกจากนี้อาจมีการผสมระหว่างกรด 2 ชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนให้ดีขึ้น ในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยกรด กรดจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน H^+ เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) โดยการตัดสายโซ่ของกลูโคแมนแนนที่ตำแหน่งปีตา 1 และ 4 ไกลโคซิดิก ทำให้เกิดการย่อยสลายของกลูโคแมนแนนเกิดเป็นน้ำตาลหลายชนิด [10, 15, 16] การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดแสดงดังรูปที่ 2.4



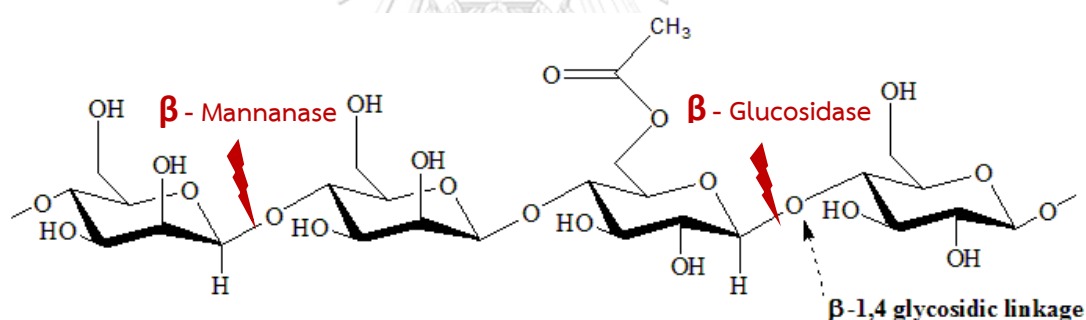
รูปที่ 2.4 การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด

ข้อดีของวิธีการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ คือ ประหยัดและมีความสะดวก เนื่องจากขั้นตอนการย่อยโดยใช้เอนไซม์ต้องมีขั้นตอนพรีทรีท (Pretreatment) และต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเพื่อการทำงานที่ดีของเอนไซม์ นอกจากนี้

วิธีการย่อยสลายโดยใช้กรดยังใช้ปริมาณกรดเพียงเล็กน้อยและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นกว่าแต่มีข้อเสียคือ จำเป็นต้องแยกกรดออกจากผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปใช้งานซึ่งมีราคาแพง

2.3.2 การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์

การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์เป็นการย่อยโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอนไซม์ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อกระบวนการย่อยและไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงกับสารอื่นในสารละลาย ซึ่งในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนสามารถเลือกเอนไซม์ได้ 2 ชนิด คือ เอนไซม์แมนแนนเนส (Mannanase) และเอนไซม์กลูโคซิเดส (Glucosidase) ซึ่งสามารถผลิตได้จากสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และเชื้อรา เนื่องจากโครงสร้างของกลูโคแมนแนนมีน้ำตาล 2 ชนิดเป็นองค์ประกอบคือ น้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกลูโคส จึงจำเป็นต้องเลือกเอนไซม์ที่เหมาะสมหากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและได้ผลผลิตในปริมาณมาก นอกจากนี้กระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยังสามารถทำได้ง่าย ดำเนินการได้ในสภาวะไม่รุนแรงที่ช่วงอุณหภูมิในช่วง 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ [9, 11-14] การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชนิดของเอนไซม์และตำแหน่งการเข้าตัดพันธะของโครงสร้างกลูโคแมนแนน

ข้อดีของการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์คือ เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เร่งปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต ผลผลิตที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง ไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ทนต่อการกัดกร่อน แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลานาน กระบวนการในการสังเคราะห์เอนไซม์มีความยุ่งยากและมีต้นทุนสูง

2.3.2.1 เอนไซม์แมนแนนเนส

การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์แมนแนนเนส เอนไซม์จะเข้าทำลายพันธะปีตา 1,4 โกลโคซิดิกของโครงสร้างระหว่างน้ำตาลแมนโนสสองโมเลกุล ส่งผลให้ความยาวของโครงสร้างกลูโคแมนแนนสั้นลงจนกลายเป็นแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ เมื่อทำการย่อยนานขึ้นจะทำให้

แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ถูกย่อยสลายจนกลายเป็นน้ำตาลแมนโนส และเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดอย่างสมบูรณ์จะได้น้ำตาลแมนโนสที่มีความบริสุทธิ์สูง เอนไซม์แมนเนสจึงสามารถนำมาใช้ในการย่อยแมนแนนได้ทุกชนิด

2.3.2.2 เอนไซม์กลูโคซิเดส

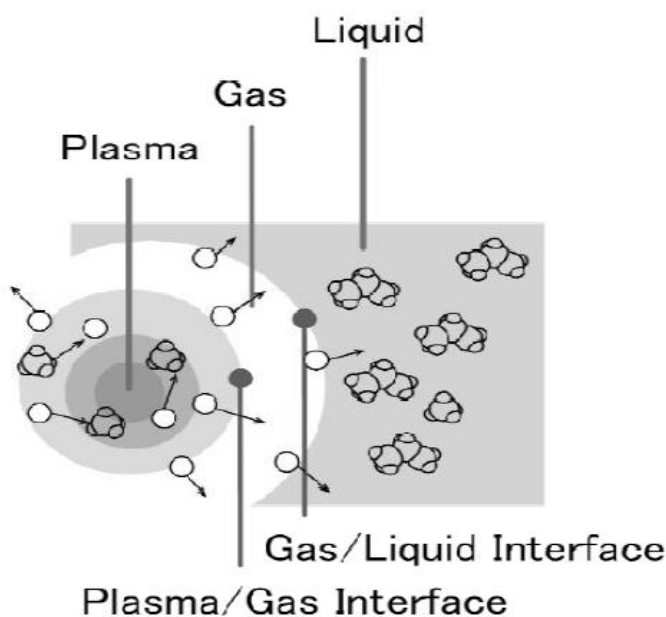
การย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์กลูโคซิเดส เอนไซม์จะเข้าทำลายพันธะปีตา 1,4 ไกลโคซิดิกที่ตำแหน่งนอนรีดิวซ์ (Non-reducing) ของโครงสร้างระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลแมนโนสและโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสส่งผลให้น้ำตาลกลูโคสหลุดออกจากโครงสร้างหลักของกลูโคแมนแนน

2.4 กระบวนการพลาสมาวิญภาคของเหลว (Liquid phase plasma process)

2.4.1 หลักการของพลาสมาวิญภาคของเหลว

กระบวนการพลาสมาวิญภาคของเหลวคือ การผลิตพลังงานอนุภาคที่ 4 หรือพลาสมาขึ้นภายในบริเวณที่ถูกล้อมรอบไปด้วยวิญภาคของเหลว โดยอาศัยความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดหมู่ว่องไว (Active agent) เข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อดีของกระบวนการพลาสมาวิญภาคของเหลวคือ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถเลือกชนิดของตัวทำละลายและสารละลายที่ใช้ในการผลิตพลาสมาได้ สามารถดำเนินการได้ในสภาวะอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินการกระบวนการมีราคาถูกลง ในปัจจุบันกระบวนการพลาสมานิยมนำมาประยุกต์ใช้งานด้านการสังเคราะห์อนุภาคระดับไมโครและนาโน การดัดแปลงสภาพพื้นผิวของโลหะ กระบวนการบำบัดน้ำเสียและการเตรียมผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ [17]

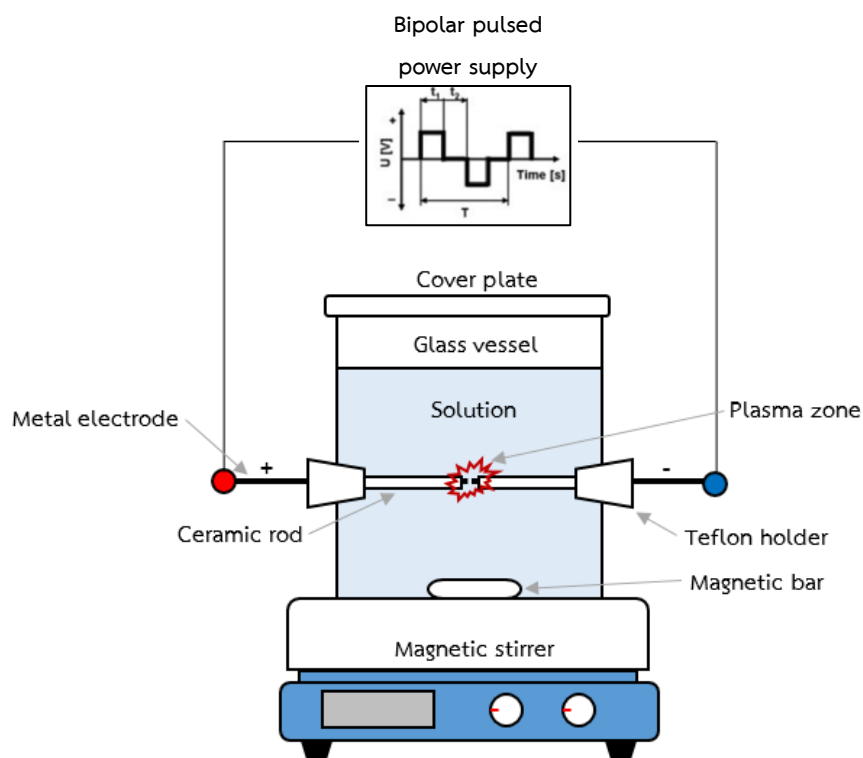
การเกิดพลาสมาวิญภาคของเหลวพลาสมาจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางระหว่างปลายของขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้เหนี่ยวนำซึ่งถูกล้อมรอบด้วยก๊าซและของเหลว ส่งผลให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างสถานะ 2 บริเวณที่ถูกกระตุ้นด้วยศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูง เมื่อถึงจุดที่สารเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคพลาสมาจะทำให้เกิดพองก๊าซขึ้นบริเวณรอบๆ ซึ่งในขณะที่พลาสมาถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดหมู่ว่องไวขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเนื่องจากสารละลายถูกกระตุ้นมากขึ้น และเกิดการแพร่ผ่านไปยังบริเวณของเหลวที่มีหมู่ว่องไว้น้อยกว่า โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของความเข้มข้น (Driving force) ดังนั้นสารที่อยู่ในวิญภาคของเหลวจะแพร่เข้ามาแทนที่ และถูกกระตุ้นให้แตกตัวกลายเป็นหมู่ว่องไวต่อไป จากหลักการดังกล่าวส่งผลให้เกิดหมู่ว่องไวภายในสารละลายเพิ่มขึ้น และส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นด้วย [17] การเกิดพลาสมาวิญภาคของเหลวแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองของพลาสมาวัฏภาคของเหลว [17]

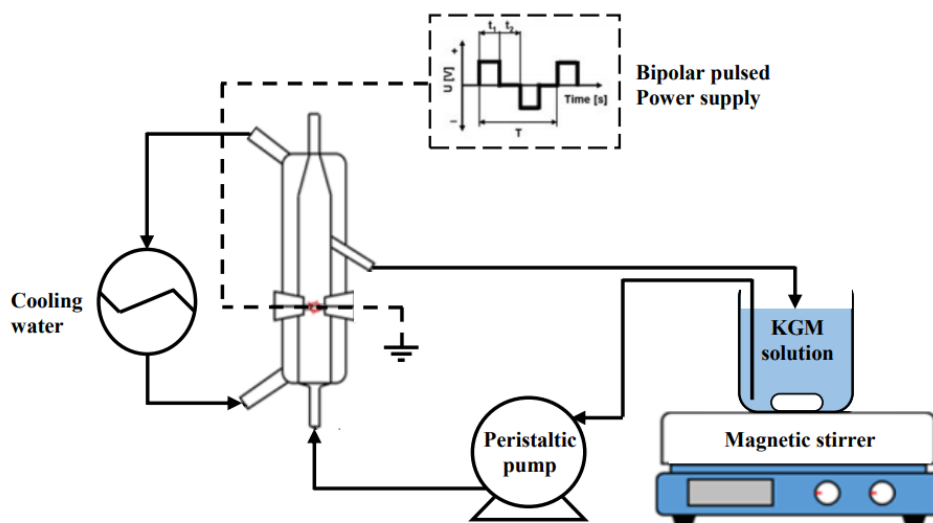
2.4.2 เครื่องกำเนิดพลาสมาวัฏภาคของเหลว

พลาสมาวัฏภาคของเหลวสามารถผลิตได้จากเครื่องกำเนิดพลาสมา โดยเครื่องกำเนิดพลาสมาจะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ เครื่องกำเนิดพลังงาน (Power supply) และถังปฏิกรณ์พลาสมา ซึ่งเครื่องกำเนิดพลังงานจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและความถี่สูงแบบพัลส์ให้กับระบบพลาสมา โดยทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นแบบสลับขั้วบวกและขั้วลบ (Bipolar pulsed) แต่แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในเครื่องกำเนิดพลังงานในการทำหน้าที่แปลงระบบไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังถังปฏิกรณ์พลาสมาเพื่อผลิตพลาสมาต่อไป ส่วนถังปฏิกรณ์พลาสมาจะทำหน้าที่เป็นภาชนะสำหรับดำเนินปฏิกิริยา โดยทั่วไปนิยมใช้ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ (Batch plasma reactor) ซึ่งทำจากแก้วรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งด้านข้างทั้ง 2 ด้านของถังปฏิกรณ์จะถูกเจาะรูในระดับเดียวกันเพื่อติดตั้งอิเล็กโทรดที่ทำจากวัสดุเหนียวนำไฟฟ้า เช่น ทอง เงิน เหล็ก ทองแดง และทังสเตน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายขั้วอิเล็กโทรดประมาณ 0.2 มิลลิเมตร อิเล็กโทรดทั้งสองจะถูกหุ้มด้วยท่อเซรามิก (Ceramic tube) เพื่อป้องกันความร้อนและการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตพลาสมา แสดงดังรูปที่ 2.7



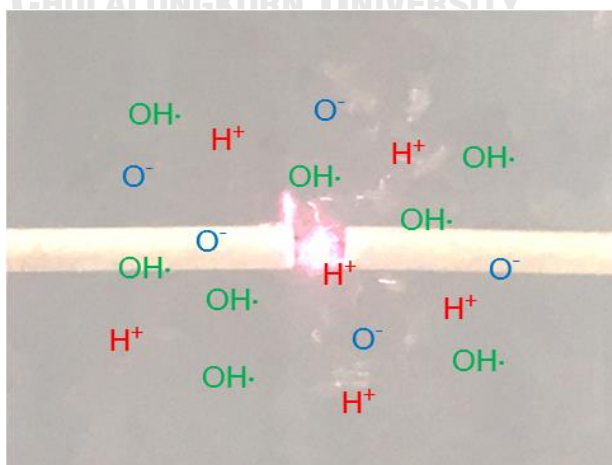
รูปที่ 2.7 หลักการของเครื่องกำเนิดพลาสมาวัฏภาคของเหลวแบบกะ

ปัจจุบันการใช้ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะยังคงมีสิ่งที่จะต้องแก้ไขในเรื่องของการสัมผัสกันระหว่างสารละลายและจุดกำเนิดพลาสมาในการทำปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน (Circulating batch plasma reactor) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการพลาสมาให้มากขึ้น ซึ่งถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนมีลักษณะเป็นท่อแก้วซ้อน 2 ชั้น และถูกเจาะรู 2 รู ในระดับเดียวกันที่ตำแหน่งซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน เพื่อติดตั้งลวดอิเล็กโทรดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร โดยถังปฏิกรณ์ชั้นในซึ่งเป็นพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก 1.2 เซนติเมตร สำหรับให้สารเคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกโดยอาศัยปั๊มอัดรีด (Peristaltic pump) ในการควบคุมการไหลของสารละลายให้สม่ำเสมอเพื่อให้สัมผัสกับพลาสมาได้มากขึ้น และในส่วนของถังปฏิกรณ์ชั้นนอกถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำหล่อเย็นด้วยระบบหมุนเวียน (Recirculating chiller) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หลักการของเครื่องกำเนิดพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวแบบกะหมุนเวียน

ในการผลิตพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวจะเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดพลังงานเข้ากับอิเล็กโทรด และจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีค่าศักย์สูง โดยค่าแรงดันและความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตพลาสมาจะขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารละลายภายในเครื่องกำเนิดพลาสมา และต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดในการดำเนินกระบวนการพลาสมา ซึ่งพลาสมาสามารถสร้างหมว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายภายในเครื่องปฏิกรณ์โดยหมว่องไวที่เกิดขึ้นเป็นสารตัวนำไฟฟ้า และเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากกระแสไฟฟ้าจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น หมว่องไวไฮดรอกซิล หมว่องไวไฮดรอปเปอร์ออกซิล (Hydroperoxyl radical, $\text{H}_2\text{O}_2\cdot$) อิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) ซูเปอร์ออกไซด์ประจุลบ (Superoxide anion, O^-) แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หมว่องไวที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว

2.4.3 การประยุกต์ใช้พลาสมาวิทยุภาคของเหลว

การสังเคราะห์อนุภาคทองขนาดนาโนโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว [17] จะสังเคราะห์ภายใต้การใช้สารละลายกรดคลอโรอริก (HAuCl_4) ความเข้มข้น 0.60 มิลลิโมลาร์ ในระบบเปิด ในกระบวนการสังเคราะห์จะติดตั้งระบบพลาสมาแรงดัน 2.5 กิโลโวลต์ ความถี่ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ และความกว้างพัลส์ 2 ไมโครวินาที จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสูงสุด 10.5 ± 3.6 นาโนเมตร จากการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (Energy dispersive x-ray analyzer, EDX) และการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี (Infrared spectroscopy, IR) พบว่าอนุภาคทองขนาดนาโนมีทองเป็นองค์ประกอบและมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นอกจากนี้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวยังสามารถสังเคราะห์ทองอนุภาคนาโนให้มีรูปร่างแบบเรขาคณิตที่แตกต่างกันได้ เช่น สามเหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และหกเหลี่ยม โดยใช้สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังนั้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวจึงสามารถออกแบบรูปร่างของอนุภาคนาโนในรูปแบบต่างๆได้

การปรับปรุงพื้นผิวของโลหะโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว [17] จะใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดและสแตนเลสสตีลเป็นขั้วแคโทด ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 จากการศึกษาผลของค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงพื้นผิวโลหะ พบว่าความต่างศักย์ในช่วง 0 ถึง 150 โวลต์ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของขั้วแอโนดและแคโทด แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์มากขึ้นจะสังเกตเห็นฟองอากาศเกิดขึ้นบนพื้นผิว และเมื่อให้ค่าความต่างศักย์มากกว่า 175 โวลต์ พบว่าพื้นผิวของขั้วแอโนดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากผลการศึกษาสัณฐานพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บนพื้นผิวของโลหะ พบว่าพื้นผิวชั้นนอกของอะลูมิเนียมมีรูพรุนสูงในขณะที่พื้นผิวชั้นในของอะลูมิเนียมจะมีความหนาแน่นของเนื้อโลหะสูงกว่า และมีความแข็งแรงมากกว่า เนื่องจากพื้นผิวชั้นนอกของอะลูมิเนียมสัมผัสกับพลาสมาได้มากกว่า พื้นผิวชั้นในทำให้พื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ดังนั้นกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวจึงสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของโลหะได้

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว [17] จะใช้ค่าความต่างศักย์ 800 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการเปิดและปิดพัลส์ 40 วินาที และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยพลาสมาคือ สารละลายโซเดียมซัลเฟต และโซเดียมแอสซิเตต จากการทดลองกับน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* uc 4100 (แบคทีเรียแกรมลบ) และ *Staphylococcus aureus*

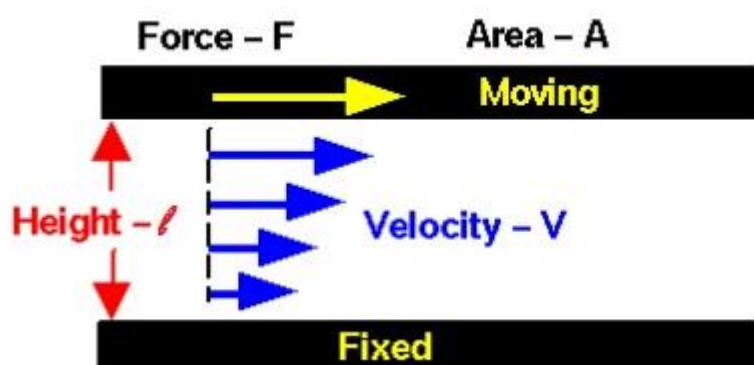
(แบคทีเรียแกรมบวก) พบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยพลาสมาที่เวลาสูงสุด 30 วินาที แบคทีเรียที่อยู่ในสารละลายตายทั้งหมด ดังนั้นกระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลวสามารถใช้ทำลายแบคทีเรียในน้ำเสียได้

การเตรียมผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลวในการย่อยสลายโคโตซานเพื่อเตรียมโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ [20] โดยใช้ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ พบว่าสารละลายโคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลวมีค่าความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลลดลง นอกจากนี้กระบวนการพลาสมาไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโคโตซานอีกด้วย จึงสามารถประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาในการเตรียมโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ ดังนั้นกระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลวสามารถใช้เตรียมผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงได้

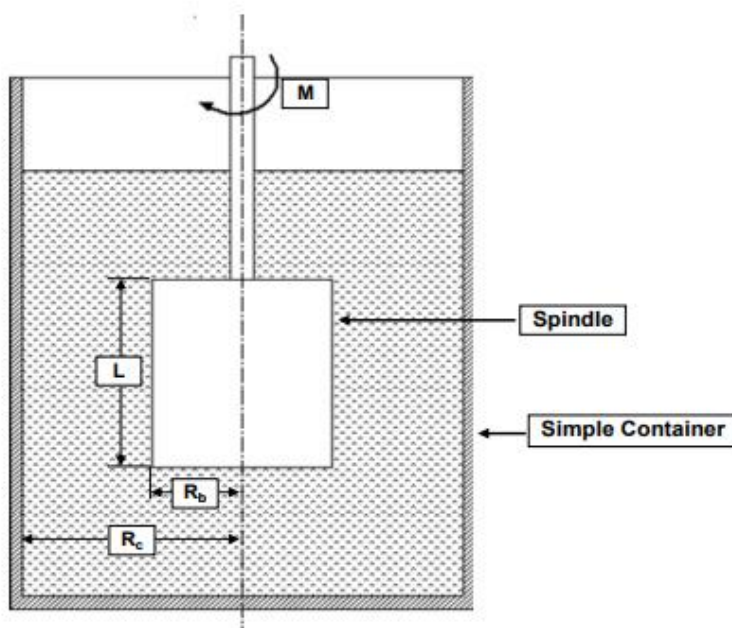
2.5 วิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล

2.5.1 การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน (Rotational viscometer)

เครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุนเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อวัดสมบัติความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของสารละลายโดยอาศัยความเร็วในการหมุนของหัวเข็มโลหะทรงกระบอกที่มีขนาดแตกต่างกันและแสดงผลออกเป็นแรงบิดที่เปลี่ยนไป จากแรงบิดที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานต่อของเหลวหรือสารตัวอย่างปริมาณแตกต่างกันตามระยะห่างออกจากแกนหมุน ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงปรากฏการณ์ความหนืดของสารที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.10 และลักษณะการทำงานของเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุนแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำจากศูนย์กลางต่อของเหลวที่ระยะทางแตกต่างกัน [25]

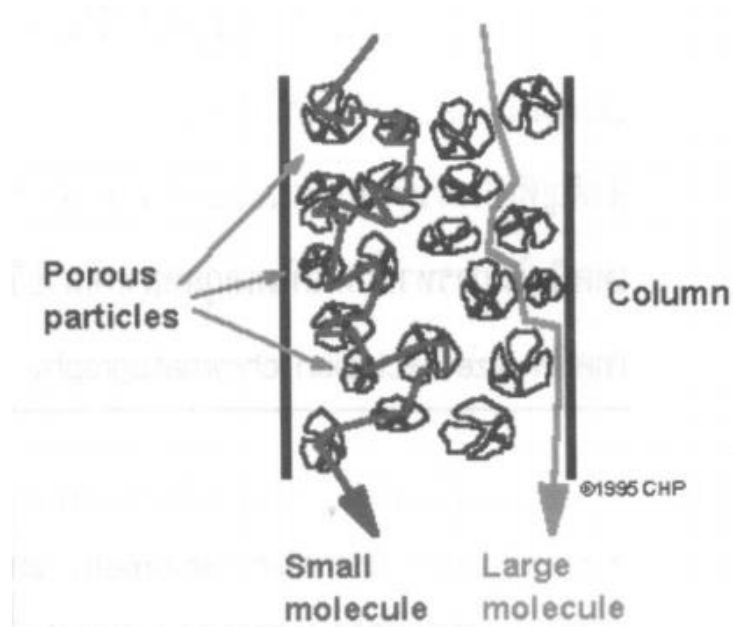


รูปที่ 2.11 การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน [26]

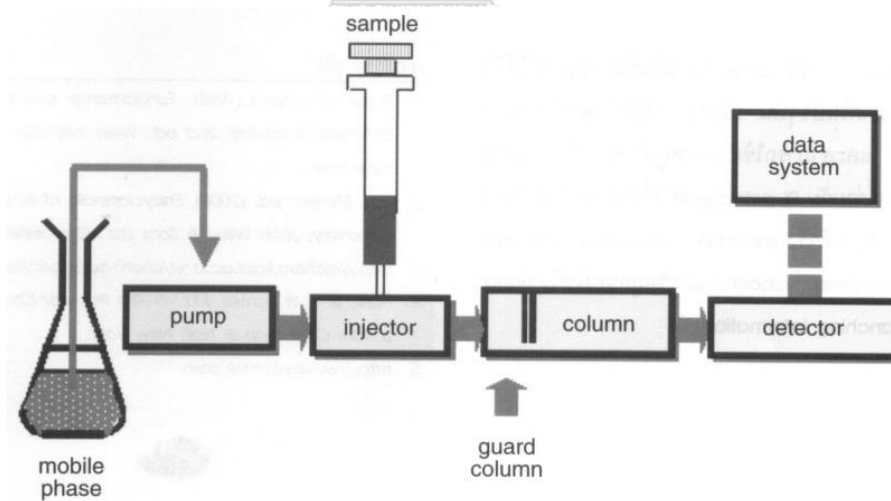
2.5.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค Gel permeation chromatography

Gel permeation chromatography เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อหาค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (Weight-average molecular weight; M_w) ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (Number-average molecular weight; M_n) และดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity index) ของสารตัวอย่างโดยอาศัยคอลัมน์ที่มีการบรรจุอนุภาคที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน ซึ่งการเลือกขนาดรูพรุนของสาร Packing ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ต้องการแยก สารตัวอย่างที่ต้องการแยกจะประกอบด้วยตัวถูกละลายที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน ถ้าขนาดของอนุภาคของสารตัวอย่างมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนจะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของ packing ได้เร็วกว่าสารตัวอย่างที่มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่ารูพรุน เนื่องจากสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถแทรกสอดผ่านช่องว่างรูพรุนของ packing ได้ ส่งผลให้ใช้เวลาในการเดินทางออกจากคอลัมน์มากกว่าสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารกับเวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (Retention time) ซึ่งจะเห็นว่าสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะปรากฏเป็นพีคแรกในโครมาโทแกรมและสารที่มีขนาดเล็กจะแสดงเป็นพีคลำดับถัดไปตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลงตามลำดับ จากนั้นจะคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารตัวอย่างโดยอาศัย Calibration curve ในการเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของสารมาตรฐานที่ไหลผ่านคอลัมน์เดียวกันในสภาวะเดียวกัน หลักการแยกสาร

ภายในคอลัมน์แสดงดังรูปที่ 2.12 และส่วนประกอบของเครื่อง Gel permeation chromatography แสดงดังรูปที่ 2.13



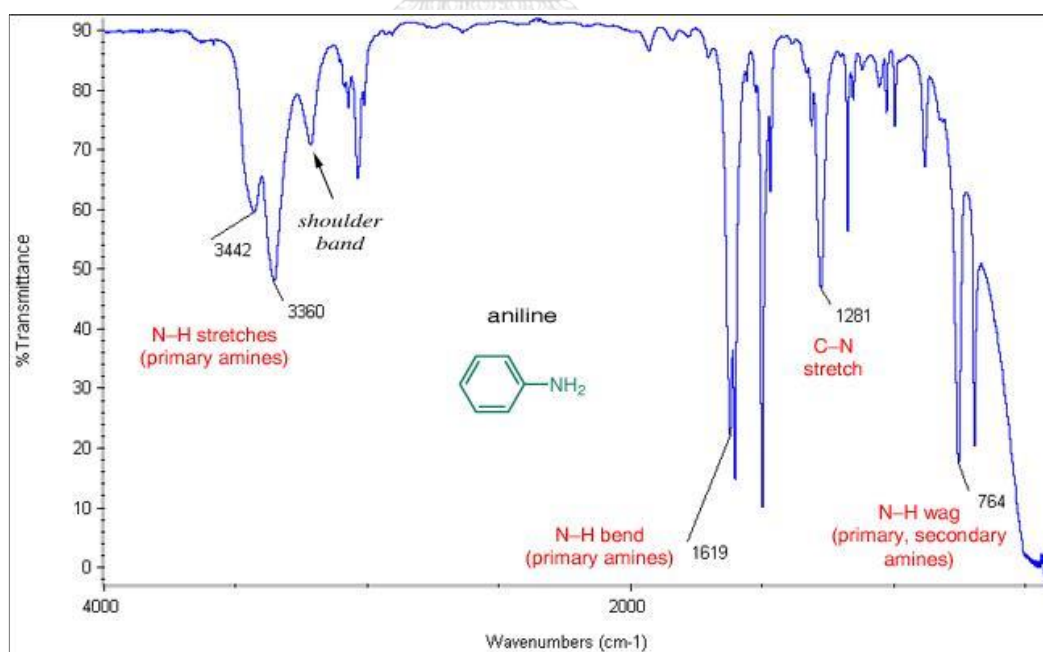
รูปที่ 2.12 หลักการแยกสารภายในคอลัมน์ [27]



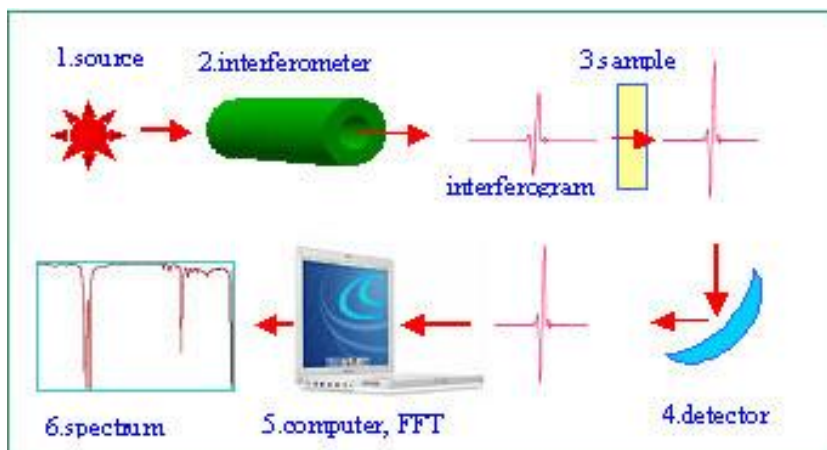
รูปที่ 2.13 แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Gel permeation chromatography [27]

2.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy

Fourier transform infrared spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์เพื่อตรวจสอบเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle infrared region) คือ 400 ถึง 4,000 ต่อเซนติเมตร เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวดูดกลืนแสงอินฟราเรดส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) จากนั้นเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy จะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่นได้เป็นสเปกตรัมที่เรียกว่า Interferogram แสดงดังรูปที่ 2.14 ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน เช่น C=O ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,800 ต่อเซนติเมตร O=H ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 2,500 ถึง 3,300 ต่อเซนติเมตร N-H ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,613 ถึง 1,667 ต่อเซนติเมตร และ C-H ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 2,840 ถึง 3,000 ต่อเซนติเมตร เป็นต้น [28] และส่วนประกอบของเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง Interferogram ของ aniline [29]



รูปที่ 2.15 แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy [30]

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรด

ในปี ค.ศ. 2009 R. Ojima และคณะ [15] ได้ศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยการย่อยสลายโดยใช้กรด โดยในขั้นตอนการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะนำผงแป้งบุกบริสุทธิ์ละลายในสารละลายซึ่งประกอบด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร และโซเดียมไนไตรตเข้มข้นร้อยละ 0.001 โดยปริมาตร ในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ ที่ความดัน 0.247 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสลายกลูโคแมนแนน คือระยะเวลาการย่อยสลายในช่วง 0 ถึง 30 นาที และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในช่วง 0 ถึง 1 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการย่อยสลายไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค Multiangle laser light scattering, MALS และวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ตรวจพบพันธะ C=O แบบเส้นตรงของหมู่เอซิติล และพันธะ C-O-C ชนิดเส้นตรงไม่สมมาตรของวงไพราโนส ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับผงแป้งบุกที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย ผลของระยะเวลาในการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกพบว่าเมื่อใช้เวลาย่อยสลาย 30 นาที ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนลดลงจาก 1,030 เป็น 359 กิโลดาลตัน จากการศึกษาคความหนืดพบว่า สารตัวอย่างที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 321 ถึง 786 กิโลดาลตัน จะแสดงสมบัติเป็นของไหลซูโดพลาสติก (Pseudo plastic fluid) และเมื่อมีค่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 320 กิโลดาลตัน จะแสดงสมบัติความหนืดเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) นอกจากนี้การใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงจะสามารถย่อยกลูโคแมนแนนได้ดีส่งผลทำให้ความยาวของสายโซ่โมเลกุลและความหนืดลดลง

ในปี ค.ศ. 2011 J. Tudella และคณะ [16] ได้ศึกษาการย่อยแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้ หมู่ว่องไวไฮดรอกซิลจากกระบวนการออกซิเดชัน เพื่อศึกษากลไกการย่อยไตรแซคคาไรด์ไอโซเมอร์ ระหว่าง 1,4- β -D-Mannotriose (Man_3) และ 6¹- α -D-Galactosyl mannobiose (GalMan_2) ภายใต้การผลิตหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลร่วมกับการเกิดกระบวนการเพนตัน สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง คือ 1,4- β -D-Mannotriose และ 6¹- α -D-Galactosylmannobiose ในขั้นตอนการออกซิเดชันจะใช้สารละลายกรดเฟอร์รัสซัลเฟตไฮเดรต (Ferrous sulfate heptahydrate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) และกรดซัลฟิวริกในการย่อย โดยเตรียมสารละลายน้ำตาลทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ นำไปผสมกับสารละลายตัวกลางที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และ ไอออน (II) คลอไรด์ (FeCl_2) ความเข้มข้น 40 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาหนึ่งคืน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค LEX/SEC โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือน้ำ และวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโดยใช้เทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี (Mass spectrometry, MS) จากการศึกษาพบว่าการย่อยแมนโนไตรแซคคาไรด์ด้วยกระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลายชนิด อาทิ สารประกอบคีโตและอัลโด คาร์บอกซิล เพอรอกซิล และสารประกอบวงแหวนไพราโนส ในกระบวนการออกซิเดชันจะทำให้เกิดหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแมนโนไตรแซคคาไรด์และเกิดปฏิกิริยาเพนตันทำให้สารละลายกรดเฟอร์รัสซัลเฟตไฮเดรต แตกตัวเป็นไอออน Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแตกตัวไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลและเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรแซคคาไรด์ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลที่มีขนาดเล็กลง

ในปี ค.ศ. 2016 C. V. Bui และคณะ [10] ได้ศึกษาการย่อยผงแป้งบุกเพื่อเตรียมกลูโคแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ น้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกลูโคส ด้วยกระบวนการย่อยสลายโดยใช้คลื่นความร้อนไมโครเวฟและตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิในกระบวนการย่อยสลายโดยใช้คลื่นรังสีความร้อนไมโครเวฟร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนการทดลองจะนำหัวบุกสดมาเตรียมเป็นผงแป้งบุกที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 250 ไมครอน จากนั้นนำผงบุกที่ได้มาย่อยสลายร่วมกับการใช้คลื่นความร้อนไมโครเวฟและกรดไฮโดรคลอริก โดยนำผงบุก 0.1 กรัม เติมลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในถังปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ความดันสูงสุด 290 ปาสคาลต่อตารางนิ้ว พลังงานสูงสุด 150 วัตต์ เวลาในการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อช่วยในการย่อย 2 นาที อุณหภูมิการย่อยสลายในช่วง 110 ถึง 200 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการย่อยสลาย 15 นาที โดยวิเคราะห์ร้อยละผลได้ปริมาณน้ำตาลด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่

ได้จากการย่อยสลาย คือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลอะราบินอส น้ำตาลแมนโนส และกลูโคแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้โอลิโกแซคคาไรด์สูงสุดที่ 7.63 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ของน้ำตาลไซโลสและกลูโคสรวมกันเท่ากับ 5.35 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของการผลิตน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมสูงสุดที่ 28.8 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก พบว่าการเพิ่มความเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริกเป็น 2 โมลาร์ สามารถเตรียมโอลิโกแซคคาไรด์ที่ร้อยละผลได้สูงสุด 19.23 โดยน้ำหนัก และสามารถเตรียมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ร้อยละผลได้ 46.29 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในการย่อย 1.2 โมลาร์ จะสามารถผลิตน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมได้สูงสุดร้อยละ 69.44 โดยน้ำหนัก

2.6.2 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์

ในปี ค.ศ. 2002 P. Cescutti และคณะ [11] ได้ศึกษาโครงสร้างของโอลิโกเมอร์ที่ได้จากการย่อยกลูโคแมนแนนในหัวบุกด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์แมนแนนเนส เพื่อหาประสิทธิภาพในการย่อยหัวบุกด้วยเอนไซม์ ในขั้นตอนการทดลองจะนำกลูโคแมนแนนจากหัวบุกมาพรีทรีท (Pretreat) ด้วยกรดไตรฟลูออโรแอซิดิกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ในการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส จะใช้กลูโคแมนแนน 11 มิลลิกรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอซิติเตตความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ค่าความเป็นกรดต่าง 4.8 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง และในการย่อยด้วยเอนไซม์แมนแนนเนส จะใช้กลูโคแมนแนน 12 มิลลิกรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอซิติเตตความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ค่าความเป็นกรดต่าง 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลแบบสเปกโตรเมตรีไฟฟ้า (Electrospray mass spectrometry) และเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล (Size exclusion chromatography, SEC) และวิเคราะห์โครงสร้างของโอลิโกเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear magnetic resonance, NMR) จากการทดลองพบว่า การย่อยสารตั้งต้นกลูโคแมนแนนโดยใช้เอนไซม์แมนแนนเนสจะได้แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 26 และในกรณีการย่อยโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสจะได้เซลโลโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 16 และเกิดสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ที่มีดีกรีการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (Degree of polymerization) เท่ากับ 3

ในปี ค.ศ. 2011 M. Blibech และคณะ [9] ได้ศึกษาการเตรียมแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์จากไลคัสปีนัมโดยใช้เอนไซม์ *Penicillium occitanis mannanase* ที่ผ่านการเชื่อมขวางด้วยไคติน

และกลูตาอัลดีไฮด์ เพื่อศึกษาสถานะการเชื่อมขวางและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการย่อยโดยใช้ เอนไซม์ที่ผ่านการเชื่อมขวางและไม่ผ่านการเชื่อมขวาง โดยจะสังเคราะห์เอนไซม์ที่ไม่ผ่านการเชื่อม ขวางและเตรียมเอนไซม์ที่ผ่านการเชื่อมขวางด้วยไคตินและกลูตาอัลดีไฮด์และนำเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด มาเปรียบเทียบในการย่อยโลคัสปินกัม โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในช่วง 40 ถึง 70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 2 ถึง 10 และระยะเวลาการย่อยในช่วง 30 นาที ถึง 600 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคทินแลร์ โครมาโตกราฟี จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิด คือ 70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมคือ 3 และ 4 การใช้เอนไซม์ที่ผ่านการเชื่อม ขวางในการย่อยโลคัสปินกัมให้ร้อยละผลได้ของแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ 38 ถึง 42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูง กว่าการใช้เอนไซม์ที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวาง และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทินแลร์โครมาโตกราฟี สามารถตรวจพบแมนโนเตตระโอสมากที่สุด

ในปี ค.ศ. 2013 J. Chen และคณะ [12] ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการย่อยผงบุกเพื่อ เตรียมกลูโคแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้เอนไซม์แมนแนนเนสรวมกับการออกแบบการทดลองโดยใช้สมการการตอบสนองของพื้นผิว เพื่อศึกษาสถานะการทดลองที่ดีที่สุดโดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ สัดส่วน เอนไซม์ต่อสารตั้งต้น ค่าความเป็นกรดต่าง เวลา และอุณหภูมิในการย่อย ในขั้นตอนการทดลองเริ่ม จากการเตรียมผงบุกจากหัวบุกสด จากนั้นใช้ผงบุก 1 กรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ไดโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมเอนไซม์ปีตาแมนแนนเนสเพื่อทำการ ย่อย โดยในขั้นตอนการออกแบบการทดลองจะใช้โมเดลของ Box-Behnken factorial design (BBD) และนำตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวแปรมาใช้ในการวิเคราะห์ในสมการการตอบสนองของพื้นผิว โดยเลือกช่วงที่ เหมาะสมจากค่าการทดลองแบบตัวแปรเดียวดังนี้ เวลาในการย่อย 0.5 2.5 และ 4.5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 20 50 และ 80 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 2 6 และ 10 และสัดส่วนเอนไซม์ต่อสารตั้งต้น 0.1 0.4 และ 0.7 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร่วมกับการ ทำนายด้วยสมการตอบสนองของพื้นผิวโดยใช้โปรแกรม SAS 9.0 และนำสมการที่ได้มาทำการเขียนเป็น กราฟ 3 มิติเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรและหาสถานะของการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุด จากการ ทดลองพบว่าสถานะการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุดที่สามารถเตรียมน้ำตาลรีดิวซ์ได้สูงสุด 0.3709 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร คือ อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 7.1 เวลาที่ใช้ในการย่อย 3.4 ชั่วโมง และสัดส่วนเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นเท่ากับ 0.49

ในปี ค.ศ. 2013 W. Jian และคณะ [13] ได้ศึกษาการเตรียมโอลิโกแซคคาไรด์จากหัวบุกโดย ย่อยด้วยเอนไซม์ปีตาแมนแนนเนสและการฉายรังสีแกมมา และศึกษาเทคโนโลยีการกรองเพื่อแยก โอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ในการแยกโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน โดยใน การทดลองจะนำผงบุกที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500 กิโลดาลตัน มาทำให้บริสุทธิ์ และนำผงบุกที่

ผ่านการทำบริสุทธิ์ 100 กรัม มาย่อยด้วยกระบวนการการใช้รังสีแกมมา โดยบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน และทำการฉายรังสีแกมมา ^{60}Co ที่อุณหภูมิห้อง โดยดำเนินการทดลองจนกระทั่งเกิดการดูดซับรังสีแกมมาจนถึง 10 กิโลเกรย์ และ 20 กิโลเกรย์ จากนั้นนำผงบุกที่ผ่านการฉายด้วยรังสีแกมมาทำการย่อยด้วยเอนไซม์ โดยเติมลงในสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมซिटเรตความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ค่าความเป็นกรดต่าง 4.0 ปริมาตร 1 ลิตร และตั้งทิ้งไว้ให้บวมน้ำ 30 นาที จากนั้นเติมเอนไซม์บีตาแมนแนนเนส 0.2 กรัม และนำไปเขย่าอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นหยุดการทำงานของเอนไซม์และกำจัดเกลือออก นำสารตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มาแยกน้ำหนักรวมเลกุลด้วยเยื่อแผ่นกรองพิเศษ ซึ่งสามารถแยกได้ตามน้ำหนักรวมเลกุลที่กำหนดคือ 300 กิโลดาลตัน 100 กิโลดาลตัน 50 กิโลดาลตัน 5 กิโลดาลตัน และ 1 กิโลดาลตัน ตามลำดับ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักรวมเลกุลต่ำกว่า 1 กิโลดาลตัน จะถูกนำมาแยกโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแพร่ผ่านเจล (Gel permeation chromatography, GPC) เพื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าการปรับสภาพผงบุกด้วยรังสีแกมมาก่อนนำมาย่อยด้วยเอนไซม์บีตาแมนแนนเนสจะทำให้ได้ออลิโกแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักรวมเลกุลต่ำกว่า 2,200 ดาลตัน และมีความเฉลี่ยความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์เท่ากับ 14 หน่วย

ในปี ค.ศ. 2013 A. Mikkelsen และคณะ [14] ได้ศึกษาการย่อยกลูโคแมนแนนจากหัวบุกโดยใช้เอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนไซม์ *Trichoderma reesei* mannanase เอนไซม์ *Endoglucanases* Cel7B และ เอนไซม์ *Endoglucanases* Cel5A เพื่อเตรียมกลูโคแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ ในขั้นตอนการย่อย จะนำสารตั้งต้นกลูโคแมนแนนละลายในสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียมอะซิเตตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เพื่อเตรียมเป็นสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นเติมเอนไซม์ที่ใช้การย่อยในสัดส่วน 2 มิลลิกรัมเอนไซม์ ต่อน้ำหนัก 1 กรัม ของสารตั้งต้น ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง สารละลายตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้สารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (Dinitrosalicylic acid, DNS) วิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีชนิดแลกเปลี่ยนประจุสมรรถนะสูง (High performance anion exchange chromatography, HPAEC) วิเคราะห์น้ำหนักรวมเลกุลของโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง และวิเคราะห์ตรรกะการหักเหของสาร และวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ จากผลการทดลองพบว่าเอนไซม์ *Trichoderma reesei* mannanase และเอนไซม์ *Endoglucanases* Cel7B ให้ประสิทธิภาพการย่อยดีที่สุด เนื่องจากเอนไซม์ทั้งสองชนิดมีความจำเพาะเจาะจงในการย่อยกลูโคแมนแนนดีกว่าเมื่อเทียบกับเอนไซม์ *Endoglucanases* Cel5A โดยสามารถเตรียมโอลิโกแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลไพราโนสได้

จากการวิเคราะห์แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล พบว่ามีความบริสุทธิ์สัมพัทธ์สูงถึงร้อยละ 86 ถึง 95 และมีร้อยละผลได้เท่ากับ 23

2.6.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวในการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์

ในปี ค.ศ. 2012 I. Prasertsung และคณะ [18] ได้ศึกษาการเตรียมโคโตซานโมเลกุลต่ำโดยใช้ระบบพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ในการดำเนินการทดลองจะนำสารละลายโคโตซานใส่ในถังปฏิกรณ์พลาสมา และจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่ตั้งอยู่ระหว่างถังปฏิกรณ์พลาสมาซึ่งกำหนดระยะห่างระหว่างปลายทั้งสองเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทรีตด้วยพลาสมาในช่วง 0 ถึง 300 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR จากการทดลองพบว่า ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ผ่านการทรีตด้วยพลาสมาลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทรีตพลาสมา จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี พบว่ากระบวนการพลาสมาไม่ส่งผลทำให้โครงสร้างทางเคมีของโคโตซานเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่า การประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวสามารถเตรียมโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวมีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้

ในปี ค.ศ. 2013 I. Prasertsung และคณะ [19] ได้ศึกษาการย่อยสลายปีตาโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว โดยศึกษาผลของพลาสมาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโคโตซาน โดยในการดำเนินการทดลองจะนำสารละลายโคโตซานมาทรีตด้วยพลาสมาเป็นระยะเวลาในช่วง 0 ถึง 300 นาที และความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ จากนั้นนำโคโตซานที่ผ่านการทรีตด้วยพลาสมาไปวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด วิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD (X-ray diffractometer) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR และวิเคราะห์สมบัติการละลายน้ำด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) จากผลการศึกษาพบว่า โคโตซานที่ผ่านการทรีตด้วยพลาสมาระยะเวลาที่ 15 ถึง 120 นาที มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับโคโตซานที่ไม่ผ่านการทรีตด้วยพลาสมา ซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาของโคโตซานกับหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นในระบบ จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึก พบว่าความเป็นผลึกของโคโตซานถูกทำลายและเปลี่ยนเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

พบว่า การทรีทโคโตซานด้วยพลาสมาไม่ส่งผลต่อโครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน จากการวิเคราะห์สมบัติการละลายน้ำของโคโตซานพบว่าร้อยละผลได้ของโคโตซานที่ละลายน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการทรีทพลาสมา สรุปได้ว่ากระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวสามารถนำมาใช้ในการย่อยสลายโคโตซานเพื่อเตรียมโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี ค.ศ. 2015 T. Tantiplapol และคณะ [20] ได้ศึกษาการย่อยสลายปีตาโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว โดยศึกษาผลของชนิดขั้วอิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ทังสเตน เหล็ก และทองแดง ค่าความถี่ไฟฟ้าในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ระยะเวลาการทรีท 0 ถึง 210 นาที ที่มีต่อสมบัติของโคโตซาน โดยนำโคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาไปวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด วิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึก วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR และวิเคราะห์สมบัติการละลายด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากเกิดหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลเข้าทำปฏิกิริยาการย่อยสลายโคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดขั้วอิเล็กโทรดพบว่า โคโตซานที่ทรีทด้วยพลาสมาโดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงมากที่สุด จากการวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกพบว่า ความเป็นผลึกของโคโตซานที่ทรีทด้วยขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กจะถูกทำลายมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดชนิดทังสเตนและทองแดง จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีพบว่า ชนิดของขั้วอิเล็กโทรดและความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างกระบวนการทรีทด้วยพลาสมาไม่ส่งผลต่อโครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน และจากการวิเคราะห์การละลายน้ำของโคโตซานพบว่า ขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กทำให้ได้ร้อยละผลได้ของโคโตซานที่ละลายน้ำสูงสุด

ในปี ค.ศ. 2017 I. Prasertsung และคณะ [21] ได้ศึกษาการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว โดยศึกษาผลของชนิดขั้วอิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ทังสเตน เหล็ก และทองแดง ค่าความถี่ไฟฟ้าในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ระยะเวลาการทรีท 0 ถึง 300 นาที ในการย่อยสลายสารแขวนลอยเซลลูโลสความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.04 โมลาร์ เซลลูโลสที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาจะถูกนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของแข็งและของเหลวเพื่อวิเคราะห์สมบัติต่อไป โดยส่วนของแข็งจะถูกวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกและโครงสร้างทางเคมี ส่วนของเหลวจะถูกนำไปวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเทคนิค DNS (Dinitrosalicylic method) และตะกอนของอนุภาคเหล็กจะถูกนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) จากผลการศึกษาพบว่าความเป็นผลึกของเซลลูโลสที่ผ่านการทรีทด้วยขั้วอิเล็กโทรดชนิดเหล็กจะถูกทำลายมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วอิเล็กโทรดชนิด

ทั้งสแตนและทองแดง จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีพบว่า ชนิดของซัลโฟเล็กโทรดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส จากการศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคเหล็กพบว่า การทรีทพลาสมาส่งผลให้พื้นผิวหน้าตัดของซัลโฟเล็กโทรดถูกกัดกร่อนและเกิดอนุภาคเหล็กขนาดนาโนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการทรีทที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า สารแขวนลอยเซลลูโลสที่ผ่านการทรีทพลาสมาโดยใช้ซัลโฟเล็กโทรดชนิดเหล็ก ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ระยะเวลา 300 นาที ให้ผลได้ร้อยละสูงสุดที่ร้อยละ 42 ซึ่งมากกว่าการทรีทโดยใช้ซัลโฟเล็กโทรดชนิดทั้งสแตนและทองแดง เนื่องจากอนุภาคเหล็กขนาดนาโนที่เกิดขึ้นระหว่างทรีทด้วยพลาสมาจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายเซลลูโลสโดยอาศัยปฏิกิริยาเฟนตัน

2.6.4 กระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กระบวนการอื่นๆ

ในปี ค.ศ. 2017 J. Li [5] ได้ศึกษาจลนศาสตร์การย่อยสลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและลักษณะการไหลของกลูโคแมนแนนจากหัวบุกในน้ำ ในการทดลองจะนำหัวโพรบที่ใช้ในการสร้างคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ จุ่มลงในสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่มีการควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทรีท โดยทำการทดลองในช่วงระยะเวลา 2 ถึง 60 นาที และพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก 24 และ 50 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นจะนำสารละลายที่ได้จากการทรีทด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมาวัดความหนืดโดยใช้ท่อยูนิโบล วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เทคนิค GPC วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR และ วิเคราะห์สมบัติการไหลที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการทรีทโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติการไหล จากการศึกษาความหนืดที่ลดลงและจลนศาสตร์ของการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยคลื่นอัลตราโซนิกพบว่า เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานอัลตราโซนิกส่งผลให้ความหนืดปรากฏของสารละลายลดลงเร็วขึ้นที่ระยะเวลาการทรีทเท่ากัน และเมื่อศึกษาค่าความหนืดแท้จริง (Intrinsic viscosity) พบว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการย่อยสลายจะมีจลนศาสตร์ของการย่อยสลายตั้งสมการ $1/M_t - 1/M_0 = kt/m$ ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารละลายกลูโคแมนแนนตั้งสมการของ Mark-Houwink คือ $[\eta] = k_{MH} - M^\alpha$ จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักและค่าเฉลี่ยการกระจายตัวพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการทรีทส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารละลายกลูโคแมนแนนลดลง ส่วนค่าการกระจายตัวเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเนื่องจากอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น จากการศึกษาสมบัติการไหลพบว่า การใช้คลื่นอัลตราโซนิกสามารถเปลี่ยนสารละลายเหลวหนืดเป็นของเหลวนิวโตเนียนที่มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำ โดยการเพิ่มความรุนแรงของคลื่นอัลตราโซนิกจะช่วยลดความหนืดได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus) และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus) ที่มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสารละลายกลูโคแมนแนนที่ไม่ผ่านการทรีทด้วยคลื่นอัลตราโซนิก และจากการ

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีพบว่า การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทรีทไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง
โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 ผงกลูโคแมนแนนสกัดจากหัวบุก ความบริสุทธิ์ร้อยละ 85 ขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร ยี่ห้อเซ็นไถ่ บริษัท MoKey King Food Co.,Ltd. ประเทศไทย

3.1.2 กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) บริษัท LOBA Chemie PVT., Ltd ประเทศอินเดีย

3.1.3 โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิก-โตะเดคาไฮเดรท ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) บริษัท Sigma-aldrich Co., Ltd. ประเทศอินเดีย

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ (Batch plasma reactor)

3.2.2 ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน (Circulating batch plasma reactor)

3.2.3 เครื่องกำเนิดพลังงานพลาสมา (Plasma power supply)

3.2.4 ขั้วอิเล็กโทรดชนิดทังสเตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

3.2.5 เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS 7 ประเทศมาเลเซีย

3.2.6 ปั๊มอัดรีด (Peristaltic pump) ยี่ห้อ Watson-Marlow รุ่น SCI Q บริษัท Thomas Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.7 เครื่องทำความเย็นระบบหมุนเวียน (Recirculating chiller)

3.2.8 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) ยี่ห้อ Denver รุ่น 220 บริษัท Denver instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.9 ชุดอุปกรณ์วัดความหนืดชนิดแกนหมุน (Rotational viscometer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV2T-LV บริษัท Brookfield engineering laboratories, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

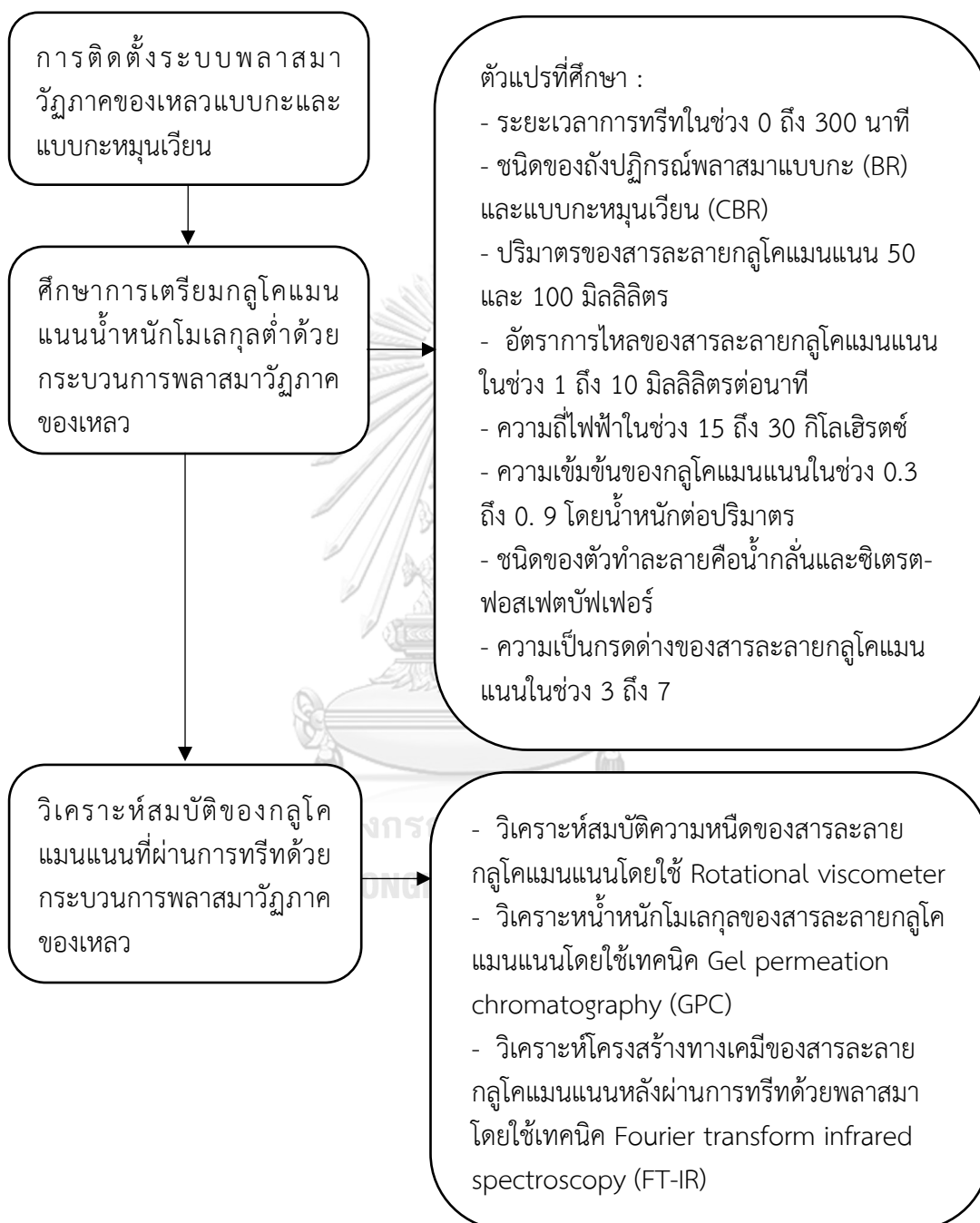
3.2.10 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dried machine) ยี่ห้อ Christ ประเทศเยอรมัน

3.2.11 เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล Gel permeation chromatography ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters 600E ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.12 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี Fourier transform infrared spectroscopy ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น FT-IR/FIR ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

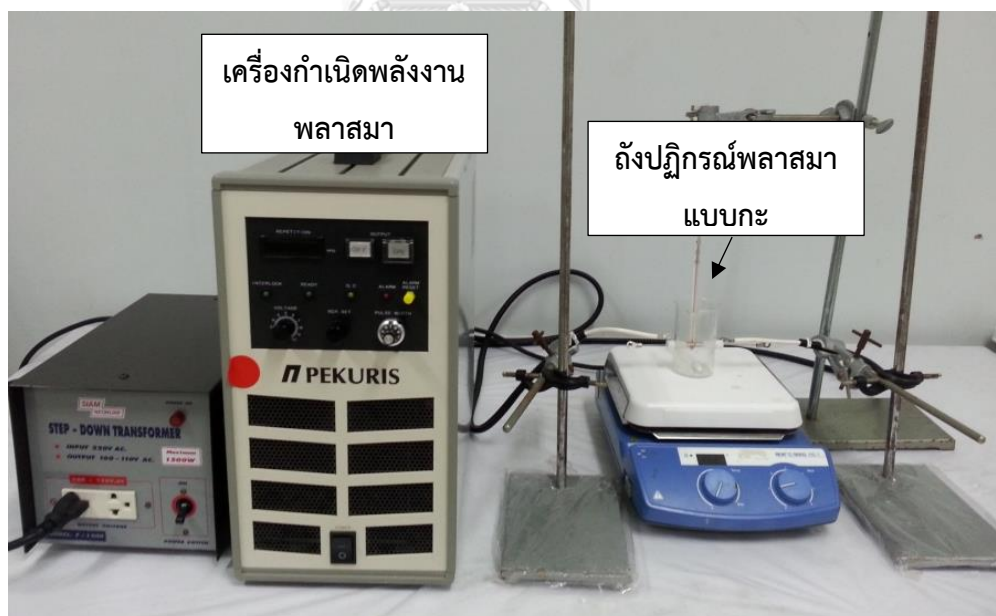
ในการศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยเปอร์เซ็นต์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



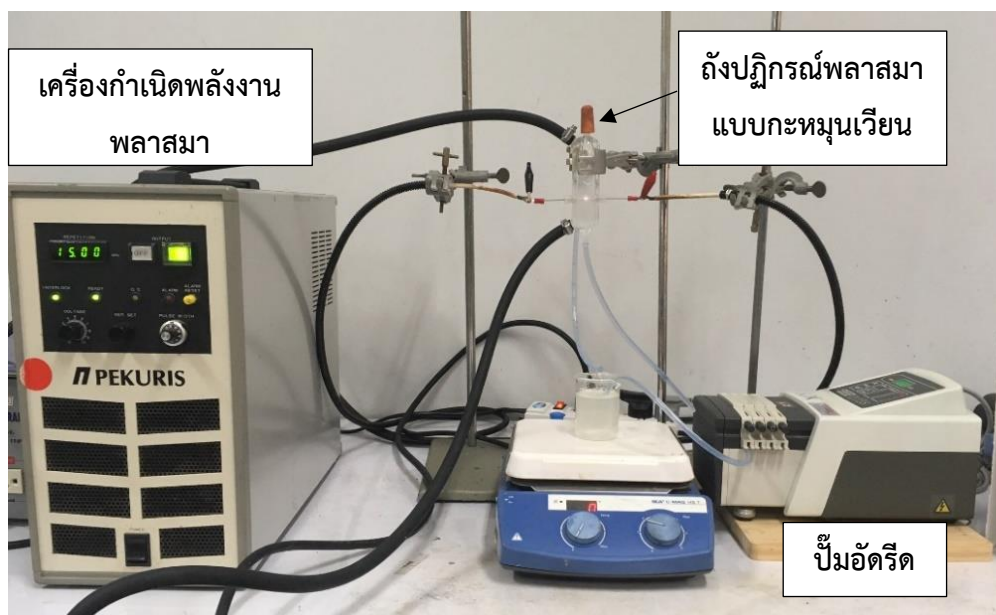
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การติดตั้งระบบพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

การติดตั้งระบบของเครื่องกำเนิดพลาสมาวิทยุภาคของเหลว พลาสมาวิทยุภาคของเหลวจะเกิดขึ้นภายในถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบปิดระหว่างปลายขั้วอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบที่มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร โดยขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองด้านจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ (Power supply) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์โดยใช้แรงดันไฟฟ้าในช่วง 2 ถึง 3 กิโลโวลต์ ความกว้างพัลส์ (Pulse width) 3 ไมโครวินาที ในงานวิจัยจะทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ 2 ชนิด คือ ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ ซึ่งมีลักษณะเป็นแก้วทรงกระบอกขนาด 100 มิลลิลิตร และถูกเจาะรูที่ตำแหน่งด้านข้างทั้ง 2 ด้านในระดับเดียวกันเพื่อติดตั้งอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตนเลส แสดงดังรูปที่ 3.2 และถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน ซึ่งเป็นแก้วลักษณะท่อข้อ 2 ชั้น และถูกเจาะรูที่ตำแหน่งด้านข้างทั้ง 2 ด้านในระดับเดียวกันเพื่อติดตั้งอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตนเลส โดยถังปฏิกรณ์ชั้นในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร โดยสารละลายจะถูกหมุนเวียนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนโดยอาศัยปั๊มอัตรัด และระหว่างทำปฏิกิริยาจะควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยเครื่องทำความเย็นระบบหมุนเวียน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวิทยุภาคของเหลวและถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาวิภูภาคของเหลวและถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน

3.3.2 การเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลว

3.3.2.1 การเตรียมสารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์

สารละลายกลูโคแมนแนนที่จะใช้ในการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกเตรียมให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 0.5 0.7 และ 0.9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น โดยสารละลายจะถูกปั่นกววนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาใช้ในการทรีทด้วยพลาสมา นอกจากนี้จะเตรียมสารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 3.5 และ 7 โดยใช้สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สารละลายโซเดียมฟอสเฟตไดเบสิด-โตนเดคาไฮเดรตความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และน้ำกลั่น เพื่อใช้ในการควบคุมความเป็นกรดต่างระหว่างทรีทด้วยพลาสมา โดยใช้เป็นตัวทำละลายแทนน้ำกลั่นสำหรับกรณีศึกษาผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายกลูโคแมนแนน

3.3.2.2 การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยพลาสมา

ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมาวิภูภาคของเหลว จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติความหนืด น้ำหนักโมเลกุล และร้อยละโดยมวลของการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ ระยะเวลาในการทรีทพลาสมาในช่วง 0 ถึง 300 นาที ชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมา คือ ถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ และถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน ปริมาตร

ของสารละลายกลูโคแมนแนน 50 และ 100 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน สำหรับถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนในช่วง 1 ถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที ความถี่ไฟฟ้าของพลาสมา ในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนนในช่วงร้อยละ 0.3 ถึง 0.9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ชนิดของตัวทำละลายคือน้ำกลั่นและสารละลายซิงเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเป็นกรดต่าง 7 และศึกษาความเป็นกรดต่างของสารละลายกลูโคแมนแนนในช่วง 3 ถึง 7 ในตัวทำละลายซิงเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาไปวิเคราะห์สมบัติต่อไป

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว

3.3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน

การวิเคราะห์ความหนืดปรากฏของสารละลายกลูโคแมนแนนก่อนและหลังผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว สารละลายจะถูกวัดความหนืดที่อุณหภูมิการวัด 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ชุดอุปกรณ์วัดความหนืด Rotational viscometer ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV2T-LV บริษัท Brookfield engineering laboratories, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ในการวัดความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนจะควบคุมความเร็วรอบในการวัดและเลือกชนิดของหัวเข็มให้เหมาะสมต่อการวัดความหนืดโดยควบคุมให้มีค่าร้อยละของแรงบิดในช่วง 40 ถึง 60

3.3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนน

การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนก่อนและหลังผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวจะใช้เครื่อง Gel permeation chromatography ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters 600E ประเทศสหรัฐอเมริกา (วิเคราะห์ที่ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ MTEC) ซึ่งในการเตรียมสารตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ทำโดยนำสารละลายตัวอย่างทำแห้งแข็ง จากนั้นเตรียมเป็นสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายโซเดียมคลอไรด์ และกรองผ่านตัวกรองเซลลูโลสแอซีเตตที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโดยใช้คอลัมน์ Ultrahydrogel linear I และตัวตรวจจับสัญญาณชนิด Refractive Index ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสารตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร จะถูกฉีดเข้าสู่คอลัมน์ โดยมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นตัวพา สารตัวอย่างเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ ที่อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการวิเคราะห์จะถูกนำไปเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Pullulans ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 5,900 ถึง 708,000 ดาลตัน

3.3.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนน

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนนก่อนและหลังผ่านการทรีตด้วยกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลวจะใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Frontier FT-IR/ FIR ประเทศสหรัฐอเมริกา (วิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิจิตร) โดยการใช้การวัดแบบ ATR ด้วยเครื่อง PIKE GladiATR ก่อนการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะถูกลำไปทำแห้งแข็งและนำไปวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่น 400 ถึง 4,000 ต่อเซนติเมตร ที่ความละเอียดของเลขคลื่น 1 ต่อเซนติเมตร



บทที่ 4

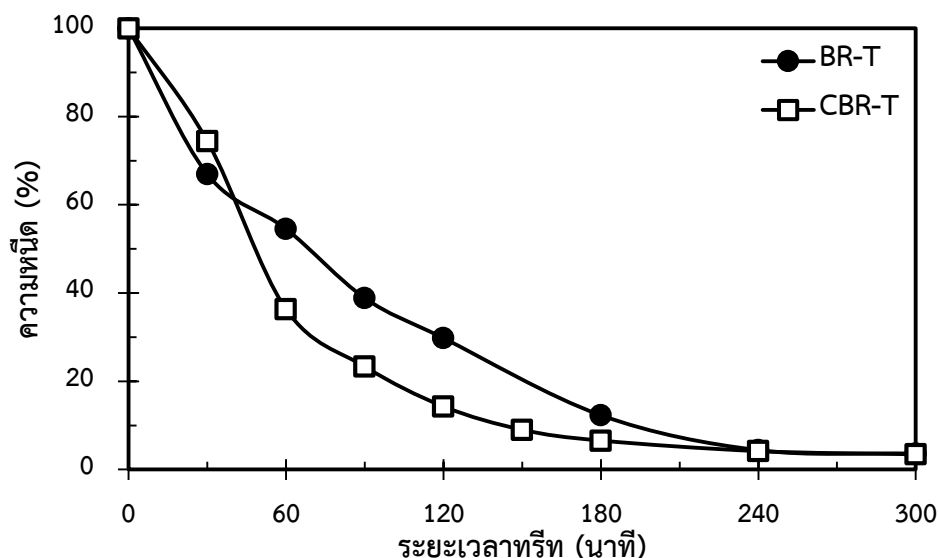
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลวจะศึกษาผลของปัจจัยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (Weight-averaged molecular weight) และร้อยละโดยมวลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low molecular weight glucomannan) และกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (Middle molecular weight glucomannan) อาทิ ระยะเวลาในการทรีทพลาสมา ชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมา ปริมาตรของสารละลายกลูโคแมนแนน อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน ความถี่ไฟฟ้า ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนน ชนิดของตัวทำละลาย และความเป็นกรดต่างของสารละลายกลูโคแมนแนน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนนหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมา ซึ่งได้แสดงผลการทดลองไว้ดังนี้

4.1 ผลของชนิดถังปฏิกรณ์และเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวิทยภาคของเหลว

การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งเปรียบเทียบกับผลของชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมาคือ ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) ในการทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืด พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก ถังปฏิกรณ์แบบกะให้ผลร้อยละความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 55 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12 จากนั้นร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อทรีทต่อเนื่องจนถึง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 4 แต่ในกรณีการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ โดยที่ช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก ร้อยละความหนืดมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 36 จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 7 และมีการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดเล็กน้อยเมื่อทรีทต่อเนื่องจนถึง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 3 ทั้งนี้จะเห็นว่าที่เวลาการทรีท

พลาสมา 240 ถึง 300 นาที การใช้ถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชนิดในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืด

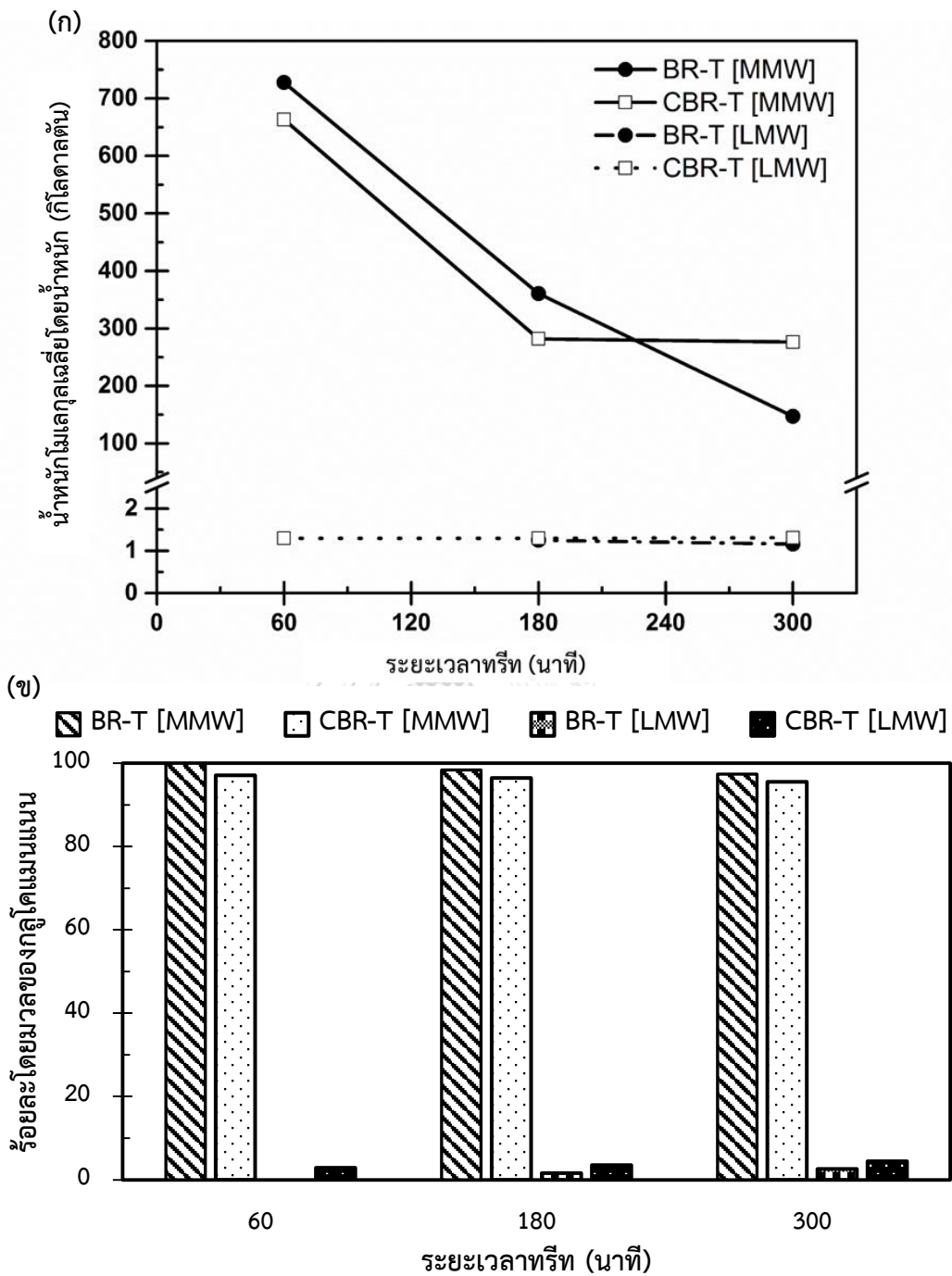


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

ผลของชนิดถังปฏิกรณ์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวแสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) โดยการเปรียบเทียบชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมา คือ ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลตามระยะเวลาการทรีทพลาสมาในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที ซึ่งในการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักด้วยเทคนิค GPC จะตรวจพบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมา ปรากฏช่วงน้ำหนักโมเลกุลแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (MMW) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 10 ถึง 1,000 กิโลดาลตัน และกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 10 กิโลดาลตัน จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลาในการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรกกรณีการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ กลูโคแมนแนนเริ่มต้นซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1,341 กิโลดาลตัน จะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว จนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนัก

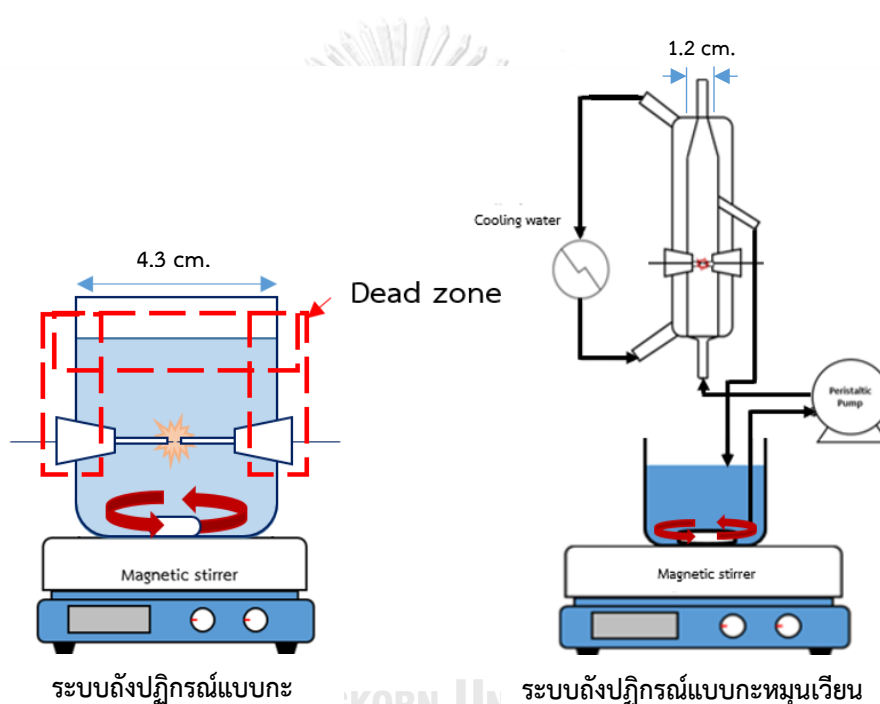
โมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 728 กิโลดาลตัน และยังไม่พบการเกิดกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 180 นาที จะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลกลูโคแมนแนนอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีค่าน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 361 กิโลดาลตัน และตรวจพบการเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.25 กิโลดาลตัน จากนั้นเมื่อทำการทรีทด้วยพลาสมาจนถึง 300 นาที พบว่ากลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีแนวโน้มลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที มีค่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดเท่ากับ 147 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity index) ประมาณ 2.9 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงเล็กน้อย (1.16 กิโลดาลตัน) โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1

สำหรับกรณีการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที การใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนจะส่งผลให้มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้รวดเร็วกว่าการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 663 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 281 กิโลดาลตัน และตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมา จาก 180 ถึง 300 นาที พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีน้ำหนักโมเลกุล 276 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.9 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนมีความสามารถในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ และยังสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ภายในระยะเวลา 60 นาที ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนส่งผลให้สารละลายมีการสัมผัสกับพลาสมาทั่วถึงและสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกอลลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (BR-T) และถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน (CBR-T) ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกอลลูโคแมนแนนในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน 5 มิลลิลิตรต่ออนาที

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของชนิดถังปฏิกรณ์พลาสมาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละโดยมวลของผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมของปฏิกิริยาและน้ำหนักรวมของปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะจะตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมที่ร้อยละโดยมวลเท่ากับ 1.61 ที่เวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 180 นาที และเมื่อทำการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 2.6 ในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนจะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมที่ร้อยละโดยมวลเท่ากับ 2.88 ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงเวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 4.47

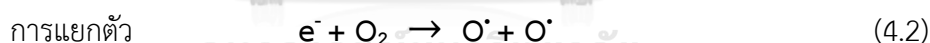


รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของระบบพลาสมาในถังปฏิกรณ์แบบกะและถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน

ซึ่งจากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมาเป็นแบบกะหมุนเวียนจะมีความสามารถในการลดความหนืดและน้ำหนักรวมเฉลี่ยโดยน้ำหนักได้เร็วกว่าการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์แบบกะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.3 เซนติเมตร และอาศัยการปั่นกววนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการหมุนเวียนสารละลายกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมให้เคลื่อนที่ผ่านจุดกำเนิดพลาสมาอย่างสม่ำเสมอ จึงส่งผลให้สารละลายกลูโคแมนแนนน้ำหนักรวมบางส่วนอยู่ในเขตได้รับการตอบสนอง (Dead zone) ไม่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายดังแสดงในรูปที่ 4.3 ในกรณีถังปฏิกรณ์พลาสมาเป็นแบบกะหมุนเวียนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กกว่าถังปฏิกรณ์แบบกะโดยมีขนาดเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร และมีการไหลเวียน

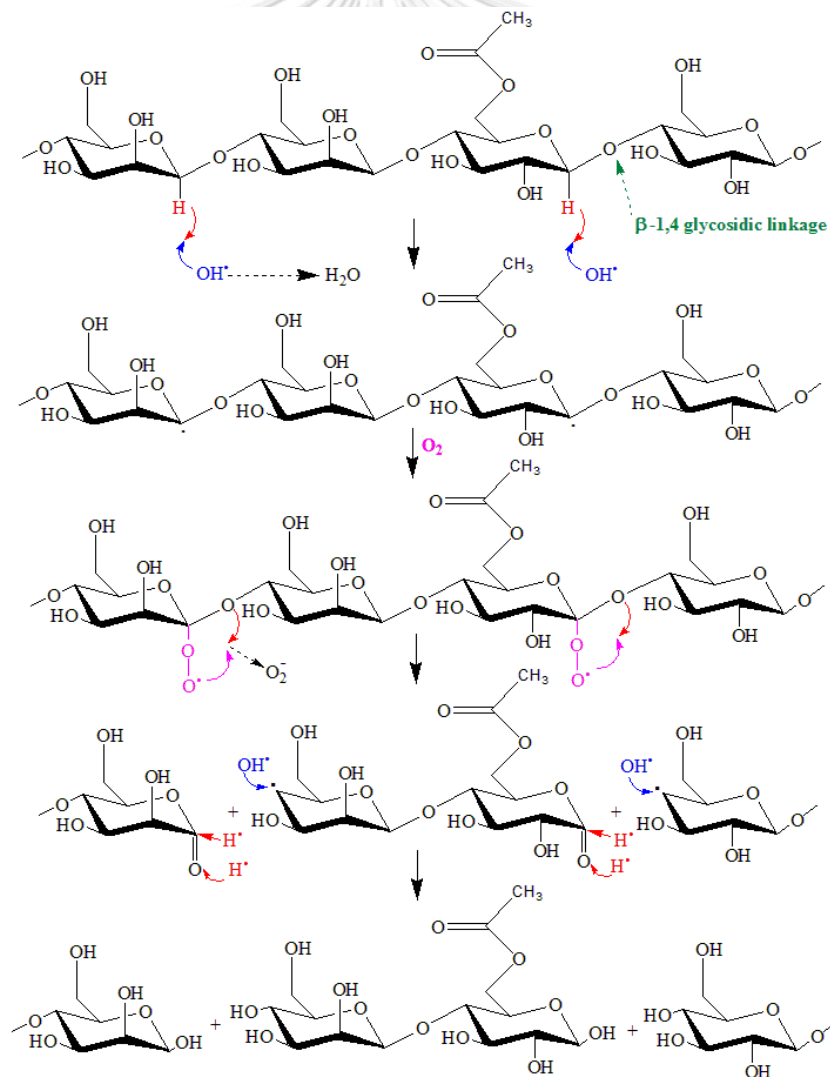
สารละลายโดยการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนให้ผ่านจุดกำเนิดพลาสมาโดยตรง จึงสามารถลดการเกิดเขตไร้การตอบสนองได้ และเพิ่มการสัมผัสระหว่างพลาสมา กับสารละลายกลูโคแมนแนทำให้ความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนลดลงได้มาก ดังนั้นถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียนจึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการย่อยสลายสารละลายกลูโคแมนแนด้วยกระบวนการพลาสมา

จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารละลายกลูโคแมนแน แสดงให้เห็นว่าความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายลดลงหลังผ่านการทรีตด้วยกระบวนการพลาสมา ซึ่งพลาสมาเกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตน เกิดพลังงานในระดับที่สามารถกระตุ้นและเกิดการไอออไนเซชันให้สารละลายเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระหลายชนิด โดยเฉพาะอนุมูลไฮดรอกซิล ($\text{OH}\cdot$) ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแน ดังแสดงในสมการที่ 4.1 จากนั้นอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบพลาสมาจะกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนและน้ำที่อยู่ในสารละลาย เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลออกซิเจน อนุมูลไฮโดรเจน และอนุมูลไฮดรอกซิล ดังแสดงในสมการที่ 4.2 และ 4.3 นอกจากนี้กระบวนการพลาสมายังสามารถผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลได้มากขึ้นจากการที่อนุมูลออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำและทำให้เกิดการรวมตัวเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ดังแสดงในสมการที่ 4.4



อนุมูลไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพลาสมาจะเข้าทำลายพันธะบีตา 1,4 ไกลโคลซิดิกของกลูโคแมนแนส่งผลให้ความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนลดลง โดยกลไกการย่อยสลายกลูโคแมนแน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เกิดจากการที่อนุมูลไฮดรอกซิลดึงอะตอมไฮโดรเจนในโครงสร้างของกลูโคแมนแนที่ตำแหน่งคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 หลุดออกและทำปฏิกิริยารวมตัวเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ จากนั้นคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 จะขาดความเสถียรและมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาโดยการดึงอนุมูลออกซิเจนในสารละลายมาทำปฏิกิริยาและเกิดเป็นก้ำออกซิเจนนำไปสู่การทำลายพันธะบีตา 1,4 ไกลโคลซิดิกของโมเลกุลกลูโคแมนแน จากนั้นหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างกลูโคแมนแนตำแหน่งที่ 1 จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮโดรเจน ในขณะที่อนุมูลไฮดรอกซิลจะก่อ

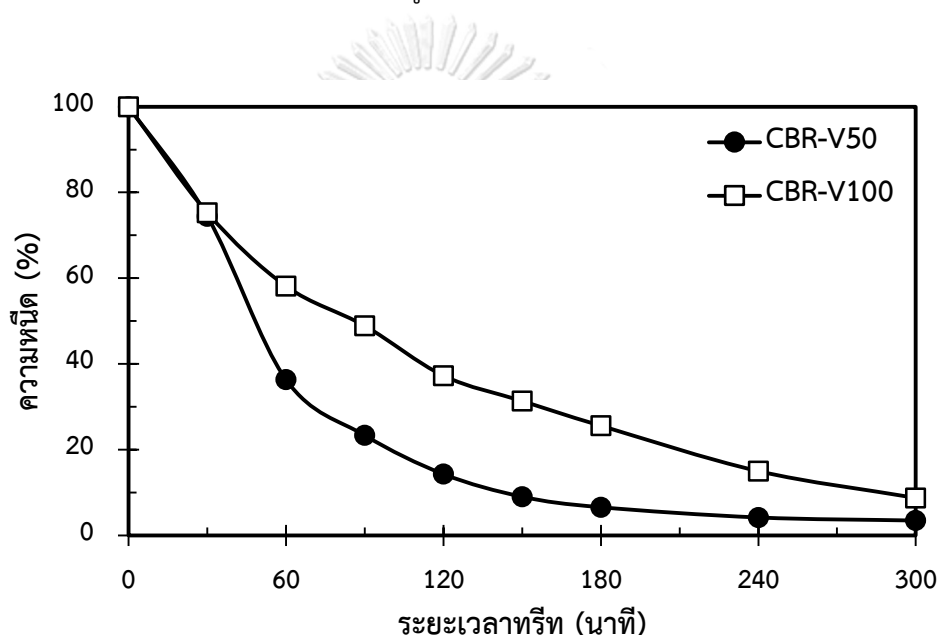
พันธะโคเวเลนต์กับอนุมูลคาร์บอนที่ตำแหน่งที่ 4 เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแมนโนส ซึ่งกลไกดังกล่าวเป็นกระบวนการที่สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Prasertsung I. และคณะ [19, 21] ที่ได้ศึกษาการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว และการเตรียมน้ำตาลรีดิวซ์จากเซลลูโลสด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว โดยพบว่ากระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวสามารถผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลเข้าทำลายพันธะปีตา 1,4 ไกลโคลซิดิกของโคโตซานส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง และทำลายพันธะปีตา 1,4 ไกลโคลซิดิกของเซลลูโลสเกิดการย่อยสลายเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ทั้งนี้เนื่องจากโคโตซานและเซลลูโลสจัดเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับกลูโคแมนแนนที่มีการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะปีตา 1,4 ไกลโคลซิดิกเช่นเดียวกันกับโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ดังนั้นกลไกในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนจึงน่าจะมี ความคล้ายคลึงกับกลไกในการย่อยสลายโคโตซานและเซลลูโลสด้วยพลาสมาซึ่งส่งผลให้มีร้อยละ ความหนืดลดลง



รูปที่ 4.4 กลไกการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว

4.2 ผลของปริมาณของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว

รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ซึ่งในการทรีทพลาสมาจะเปรียบเทียบปริมาณของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ใช้ คือ 50 มิลลิลิตร (CBR-V50) และ 100 มิลลิลิตร (CBR-V100) (การใช้งานกับถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะหมุนเวียน สามารถทรีทสารละลายที่มีปริมาตรต่ำสุด 50 มิลลิลิตร เท่านั้น) โดยทำการทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ และใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนในการทรีทโดยมีอัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

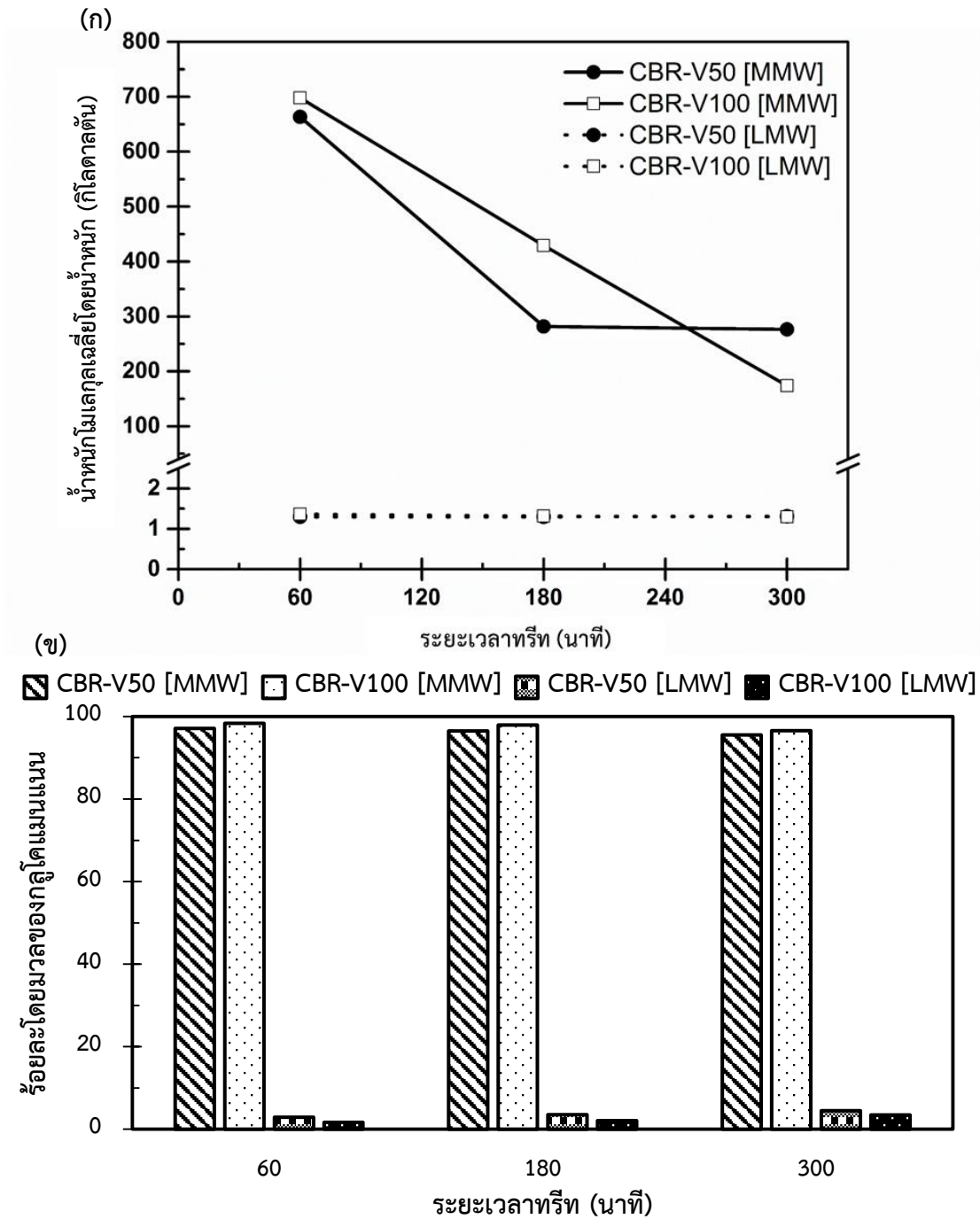


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (CBR-V50) และ 100 มิลลิลิตร (CBR-V100) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

จากผลของปริมาณสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดที่ระยะเวลาในการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที พบว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาตร 50 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที ให้ผลร้อยละความหนืดลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 30 นาทีแรก การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนทั้ง 2 ปริมาตร ไม่พบผลความแตกต่างของปริมาณของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง

ร้อยละความหนืด จากนั้นการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 100 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 300 นาที จะมีแนวโน้มของร้อยละความหนืดลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าร้อยละความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 9 สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 50 มิลลิลิตร พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 60 นาที ให้ผลร้อยละความหนืดลดลงได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร จนมีค่าเท่ากับร้อยละ 36 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเท่ากับ 7 และร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อทรีทต่อเนื่องจนถึง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาตรของสารละลายกลูโคแมนแนนลดลงจะส่งผลทำให้การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนมีแนวโน้มในการลดความหนืดได้เร็วกว่าอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาตรน้อยกว่าจะถูกไหลเวียนผ่านจุดกำเนิดพลาสมาด้วยความถี่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาตรมาก ซึ่งทำให้สารละลายกลูโคแมนแนนสามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิลที่ผลิตขึ้นภายในถังปฏิกรณ์พลาสมาได้มากขึ้น

ผลของปริมาตรสารละลายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวแสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลตามระยะเวลาการทรีทพลาสมาในช่วงเวลา 0 ถึง 300 นาที พบว่า ในช่วงเวลาในการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก กรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 50 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร จะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลได้ใกล้เคียงกันและได้ผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 663 กิโลดาลตัน และ 698 กิโลดาลตัน ตามลำดับ และตรวจพบการเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 300 นาที การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 100 มิลลิลิตร จะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีค่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดเท่ากับ 174 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 3.0 และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกอลลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (CBR-V50) และ 100 มิลลิลิตร (CBR-V100) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสติก้าของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิรตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกอลลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

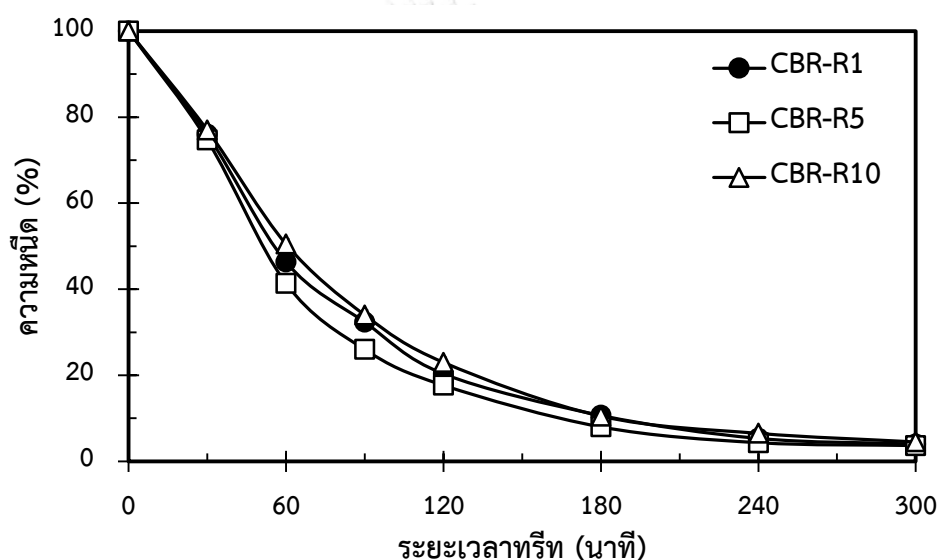
สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 50 มิลลิลิตร พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้ใกล้เคียงกับการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 663 กิโลดาลตัน และตรวจพบการเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 281 กิโลดาลตัน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีน้ำหนักโมเลกุล 276 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.9 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลซึ่งยังคงมีค่าน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 50 มิลลิลิตร มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 100 มิลลิลิตร

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของปริมาณของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละโดยมวลของผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.6 (ข) พบว่าในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที จะตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 1.63 และเมื่อทำการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 3.47 สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้โดยมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 2.88 และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งเวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที โดยมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 4.47

ดังนั้นการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาณน้อยจึงมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมา อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของระบบถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนไม่สามารถใช้ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาณน้อยกว่า 50 มิลลิลิตรได้ ซึ่งในอนาคตควรมีการพัฒนาบบถึงปฏิกรณ์ให้มีความสามารถในการทรีทสารละลายที่มีปริมาณน้อยกว่า 50 มิลลิลิตร เพิ่มเติม

4.3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว

การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนจะใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนในการทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ใช้ คือ 1 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R1) 5 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R5) และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R10) ดังแสดงในรูปที่ 4.7

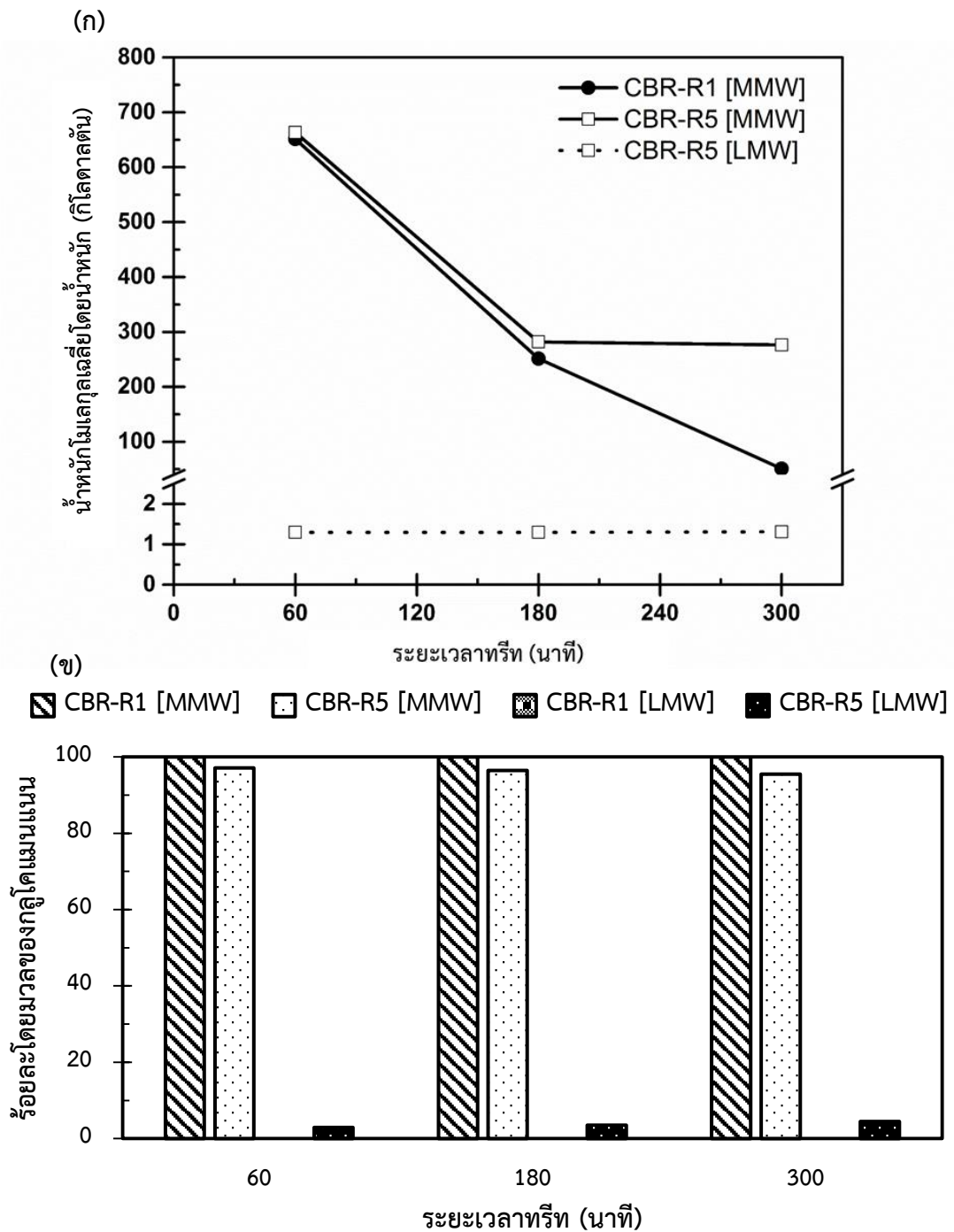


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 1 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R1) 5 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R5) และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R10) ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์

จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดโดยเปรียบเทียบอัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ระยะเวลาในการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที พบว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนทั้ง 3 อัตราการไหล คือ 1 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 นาทีแรกมีแนวโน้มของการลดร้อยละความหนืดใกล้เคียงกัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 240 นาที จะมีแนวโน้มของการลดความหนืดแตกต่างกันเล็กน้อย โดยการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ผลร้อยละความหนืดลดลงจนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 51

ที่เวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 60 นาที จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 240 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 240 นาที จะมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 7 ในขณะที่การทรีทสารละลายกลูโคแมนที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที มีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดเร็วกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการทรีทสารละลายกลูโคแมนที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที โดยในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 60 นาที จะมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 46 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 240 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 240 นาที จะมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 5 สำหรับในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนที่อัตราการไหล 1 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที โดยในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 30 ถึง 60 นาที ให้ผลร้อยละความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 41 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเท่ากับ 8 จากนั้นร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อทรีทต่อเนื่องจนกระทั่ง 240 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 4 นอกจากนี้ในช่วงเวลาทรีท 240 ถึง 300 นาที การทรีทสารละลายกลูโคแมนแห้งทั้ง 3 อัตราการไหลไม่พบการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดเมื่อทรีทด้วยพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที

จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแห้ง แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแห้งในถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีแนวโน้มในการลดความหนืดของสารละลายได้เร็วกว่ากรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแห้งที่อัตราการไหล 1 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ทั้งนี้อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแห้งที่ต่ำส่งผลให้สารละลายกลูโคแมนแห้งสามารถไหลผ่านจุดกำเนิดพลาสมาน้อยกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแห้งที่มีอัตราการไหลสูง (จำนวนรอบในการไหลน้อยกว่า) ซึ่งส่งผลให้สารละลายกลูโคแมนแห้งมีการทำปฏิกิริยาลดลงเล็กน้อย แต่การไหลเวียนสารละลายกลูโคแมนแห้งที่อัตราการไหลสูงเกินไป อาจไปรบกวนกระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแห้ง ดังนั้นอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที จึงเป็นอัตราการไหลที่เหมาะสม



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกอลลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกอลลูโคแมนแนน 1 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R1) และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (CBR-R5) ซึ่งผ่านการทรีตด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ที่เวลา 0-300 นาที ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์

ผลของอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) โดยการเปรียบเทียบอัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 1 มิลลิลิตรต่อนาที และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลตามระยะเวลาการทรีทพลาสมาในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที จากผลการทดลองพบว่า กรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลาในการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก จะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 663 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังตรวจพบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 281 กิโลดาลตัน และตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที จะมีน้ำหนักโมเลกุล 276 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.9 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2

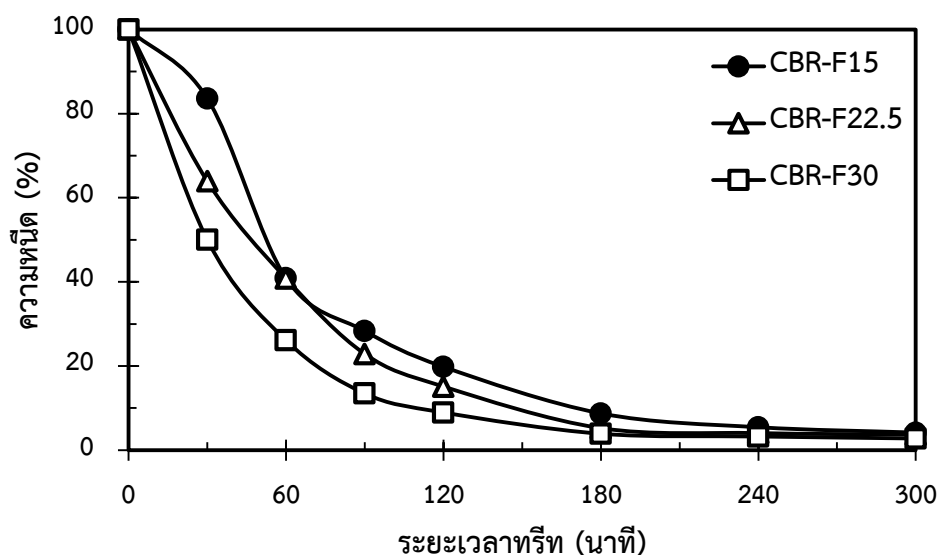
สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้ใกล้เคียงกับการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 651 กิโลดาลตัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 51 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 3.0 แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ไม่สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ตลอดทั้งช่วง 300 นาที ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อย่างชัดเจน โดยการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่อัตราการไหล 5

มิลลิลิตรต่อนาที่ สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ในขณะที่การทรีทสารละลาย กลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการใช้ 1 มิลลิลิตรต่อนาที่ ไม่สามารถเตรียมผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการใช้ต่ำ (1 มิลลิลิตรต่อนาที่) ส่งผลให้สารละลายกลูโคแมนแนนมีความถี่ในการสัมผัสกับพลาสมา น้อยกว่าการ ทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีอัตราการใช้สูงกว่า (5 มิลลิลิตรต่อนาที่) ซึ่งส่งผลให้การทรีทสาร ละลายกลูโคแมนแนนที่อัตราการใช้ต่ำทำปฏิกิริยาการย่อยสลายกับอนุภาคไฮดรอกซิลได้น้อยลง ดังนั้นการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่อัตราการใช้ 5 มิลลิลิตรต่อนาที่ จึงมีความเหมาะสมต่อ การนำมาประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมา ซึ่งผลที่ได้ สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน ดังแสดงในรูปที่ 4.7

จากผลของอัตราการใช้ของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละโดย มวลของผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข) พบว่าในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการใช้ 5 มิลลิลิตรต่อนาที่ จะตรวจพบกลูโค แมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 2.88 ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที และ เมื่อทำการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 4.47 ในขณะที่การ ทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้อัตราการใช้ 1 มิลลิลิตรต่อนาที่ ไม่สามารถเตรียมผลิตภัณฑ์ กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

4.4 ผลของความถี่ไฟฟ้าและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลว

ผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีทสาร ละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนจะใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนใน การทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที อัตราการใช้ของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที่ ซึ่งในกระบวนการทรีทด้วยพลาสมาจะเปรียบเทียบผลของความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ คือ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F15) 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F22.5) และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F30) แสดงดังรูปที่ 4.9 โดยมีข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดพลังงานที่สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ไฟฟ้า 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เท่านั้น



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นของสารละลายกลูโคแมนแนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิรตซ์ (CBR-F15) 22.5 กิโลเฮิรตซ์ (CBR-F22.5) และ 30 กิโลเฮิรตซ์ (CBR-F30)

จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นโดยเปรียบเทียบความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแน พบว่า การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิรตซ์ ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรกให้ผลร้อยละความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 41 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 240 นาที ร้อยละความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 5 เมื่อเพิ่มเวลาการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้น ในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนที่ความถี่ไฟฟ้า 22.5 กิโลเฮิรตซ์ ในช่วงเวลาการทรีท 60 นาทีแรกมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความชื้นไม่แตกต่างกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 41 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 5 เมื่อเพิ่มเวลาการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นของสารละลายกลูโคแมนแน สำหรับการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิรตซ์ พบว่ามีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความชื้นเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 และ 22.5 กิโลเฮิรตซ์ โดยในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก ให้ผลร้อยละความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว

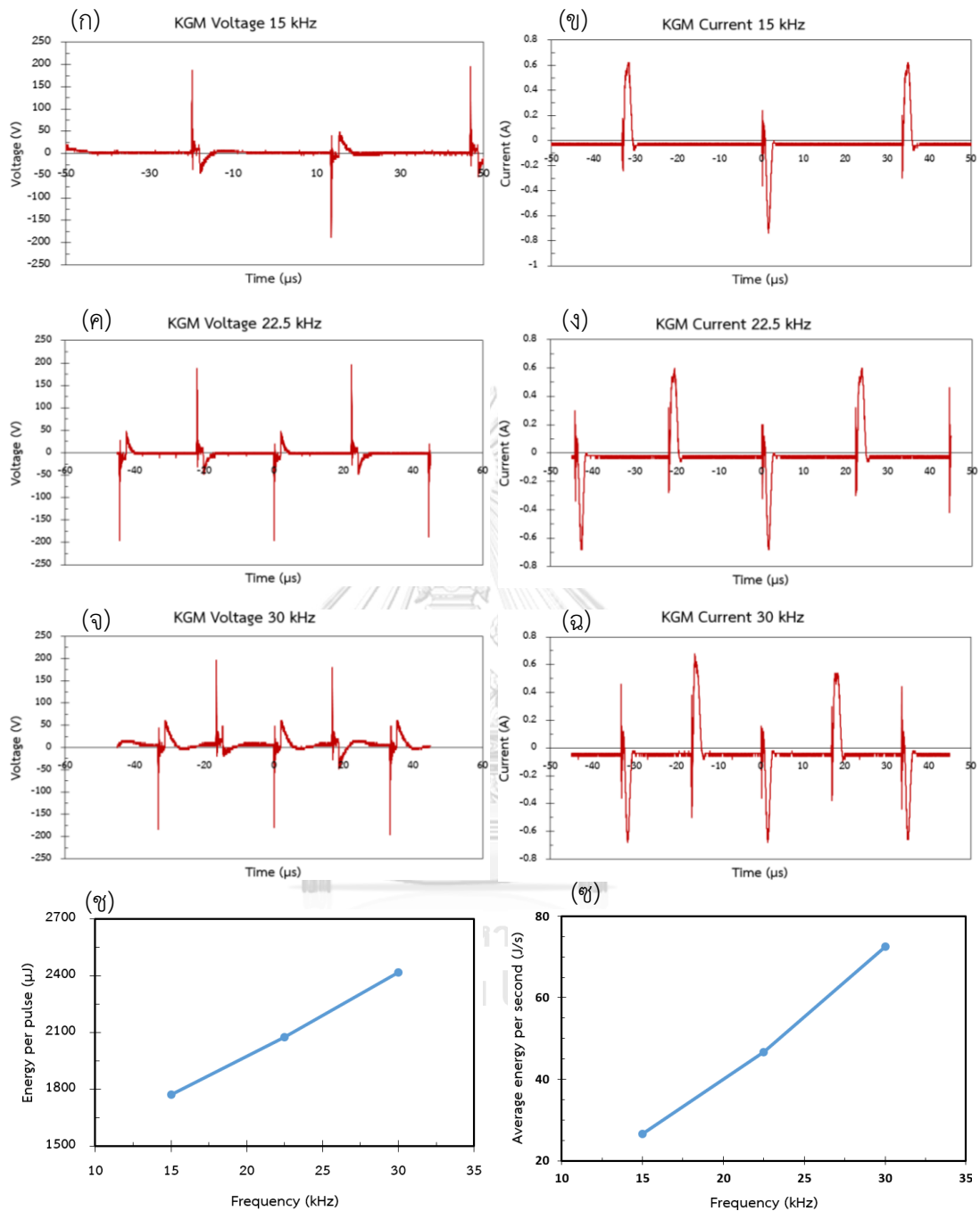
จนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 26 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 4 จากนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดเมื่อทรีทต่อเนื่องจนกระทั่ง 300 นาที

จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนแสดงให้เห็นว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ มีแนวโน้มในการลดร้อยละความหนืดได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนสูงขึ้นจาก 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็น 22.5 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในช่วงเวลา 100 ไมโครวินาที แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทรีทพลาสมาจะมีจำนวนพัลส์มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก)-(จ) การเพิ่มความถี่ไฟฟ้าจะเป็นการเพิ่มพลังงานเฉลี่ยของพลาสมาที่ใช้ในการย่อยสลายกลูโคแมนแนน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข) และ (ค) ซึ่งค่าพลังงานดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการพลังงานต่อพัลส์ (E) ดังแสดงในสมการที่ 4.5 โดยที่ V คือแรงดันไฟฟ้า I คือกระแสไฟฟ้า และ t คือความกว้างพัลส์ จากนั้นพลังงานต่อพัลส์จะถูกนำไปคำนวณเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อ 1 วินาที ดังแสดงในสมการที่ 4.6 โดยที่ f คือความถี่ไฟฟ้าของพลาสมา [31]

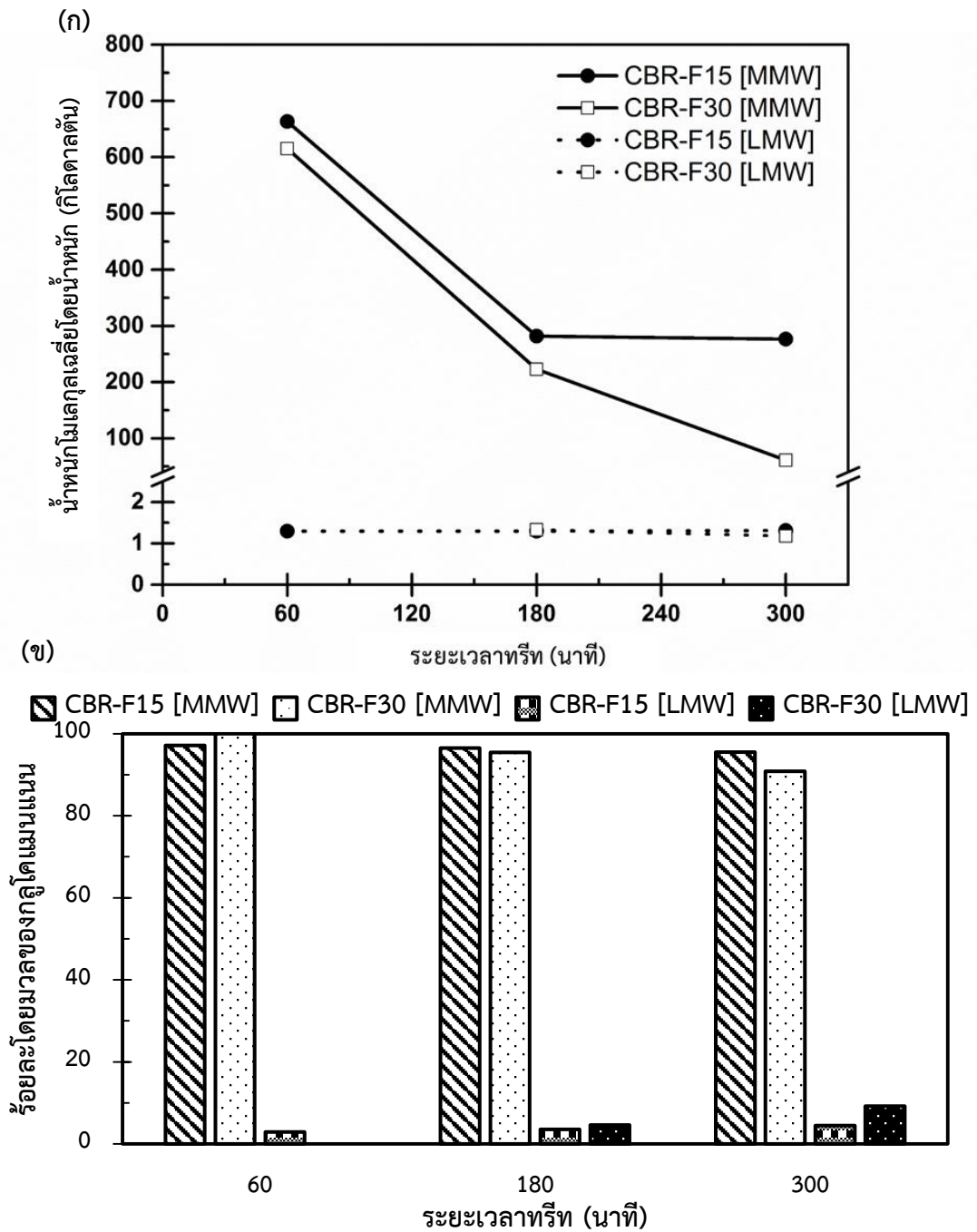
$$E \text{ (Energy per pulse)} = \int_0^t VIdt \quad (4.5)$$

$$E_{\text{avg}} \text{ (Average energy input in 1s)} = Exf \quad (4.6)$$

การเพิ่มความถี่ไฟฟ้าเป็นการเพิ่มพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นโมเลกุลของตัวทำละลาย โดยที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ จะป้อนพลังงานโดยเฉลี่ยเข้าสู่ระบบพลาสมา 26.6 วัตต์ และเมื่อเพิ่มความถี่ไฟฟ้าเป็น 22.5 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ จะทำให้พลังงานโดยเฉลี่ยในระบบพลาสมาเพิ่มขึ้นเป็น 46.7 วัตต์ และ 72.6 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มพลังงานโดยเฉลี่ยในระบบจะเพิ่มการสั่นของโมเลกุลและแตกตัวออกเป็นหมู่ไอออนไฮดรอกซิลได้ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้มีการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.10 ผลของความถี่ไฟฟ้าพลาสมาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (ค) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (ง) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ (จ) แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และ (ฉ) กระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และผลของความถี่ไฟฟ้าพลาสมาในช่วง 15-30 กิโลเฮิร์ตซ์ที่มีต่อ (ช) การเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อพัลส์ (ซ) พลังงานเฉลี่ยต่อ 1 วินาที



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกูดิเมียนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกูดิเมียนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิรตซ์ (CBR-F15) และ 30 กิโลเฮิรตซ์ (CBR-F30)

จากผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักในการเปรียบเทียบความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนน คือ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F15) และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ (CBR-F30) แสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 300 นาที จากผลการทดลองพบว่า กรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในช่วงเวลาในการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรกจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว จนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 663 กิโลดาลตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 281 กิโลดาลตัน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จากนั้นเมื่อทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีน้ำหนักโมเลกุล 276 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.9 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าคงที่ (1.3 กิโลดาลตัน) โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2

สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาทีแรก มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้ใกล้เคียงกับการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยตรวจพบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 615 กิโลดาลตัน และจะไม่พบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 223 กิโลดาลตัน และยังตรวจพบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน และเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 61 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.6 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลคงที่ (1.3) กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ มีประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลาย

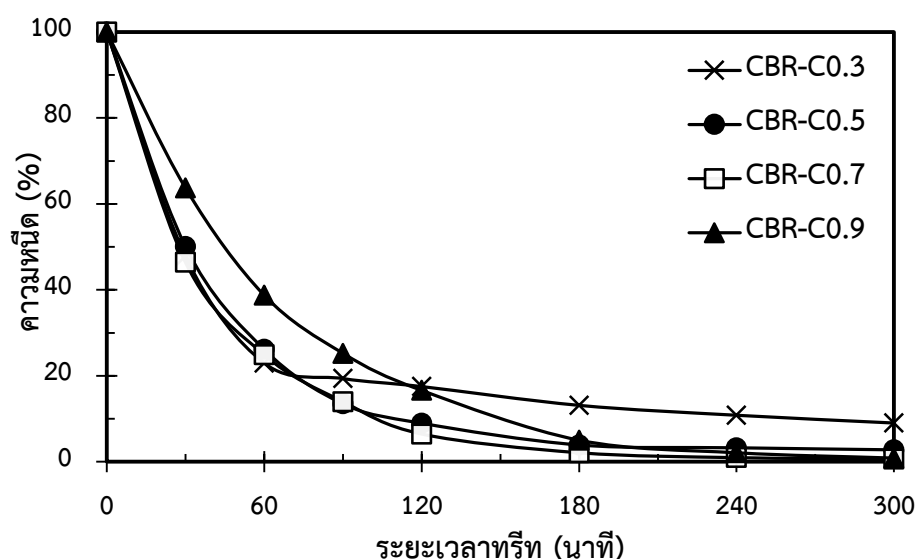
กลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการใช้การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความถี่ไฟฟ้าจะช่วยส่งเสริมการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลได้ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคแมนแนนได้เร็ว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยโดย T. Tantiplapol และคณะ [20] ซึ่งได้ศึกษาการย่อยสลายปีตาโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว โดยศึกษาผลของค่าความถี่ไฟฟ้าของพลาสมาในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีต่อสมบัติของโคโตซาน จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความถี่ไฟฟ้าส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการเกิดหมู่องไวไฮดรอกซิลเข้าทำปฏิกิริยาการย่อยสลายโคโตซานเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานลดลงอย่างมาก ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาผลของความถี่ไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละโดยมวลของผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.11 (ข) พบว่าในการย่อยสลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที จะตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 2.88 และเมื่อทำการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 4.47 ในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ในเวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที โดยมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 4.59 และเมื่อเพิ่มเวลาการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 9.19 ซึ่งการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ในร้อยละโดยมวลที่มากกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึงร้อยละ 4.72 ดังนั้นการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ความถี่ไฟฟ้าสูงสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดพลังงาน (Power supply) สามารถใช้กำเนิดพลาสมาได้ในช่วงความถี่ไฟฟ้า 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เท่านั้น จึงไม่สามารถศึกษาผลของความถี่ไฟฟ้าที่มากกว่า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ได้

4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ถูกทรีทด้วยพลาสมา คือร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (CBR-C0.3) 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (CBR-C0.5) 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (CBR-C0.7) และ 0.9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (CBR-C0.9) ซึ่งสารละลายจะถูกเตรียมที่ปริมาตร 50

มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนจะใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนโดยมีอัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที และทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 15 กิโลเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (CBR-C0.3) 0.5 (CBR-C0.5) 0.7 (CBR-C0.7) และ 0.9 (CBR-C0.9) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 300 นาที พบว่า การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก ให้ผลร้อยละความหนืดลดลงจนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 23 จากนั้นในช่วงเวลาทรีท 60 ถึง 300 นาที จะมีแนวโน้มของร้อยละความหนืดลดลงอย่างช้าๆจนมีค่าเท่ากับ 9 เมื่อทรีทด้วยพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที ในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาทรีทพลาสมาตั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที โดยในช่วงเวลาการทรีท 60 นาทีแรก ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 26 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าประมาณร้อยละ 2 ถึง 4 และ

เมื่อทรีทอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง 300 นาที จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลาย กลูโคแมนแนน และในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร มีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดในช่วงเวลาการทรีท 60 นาทีแรกช้ากว่าการ ทรีทสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยมีร้อยละความหนืดเท่ากับ 39 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5 จากนั้นร้อยละ ความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อทรีทต่อเนื่องจนกระทั่ง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืด ต่ำสุดเท่ากับ 1

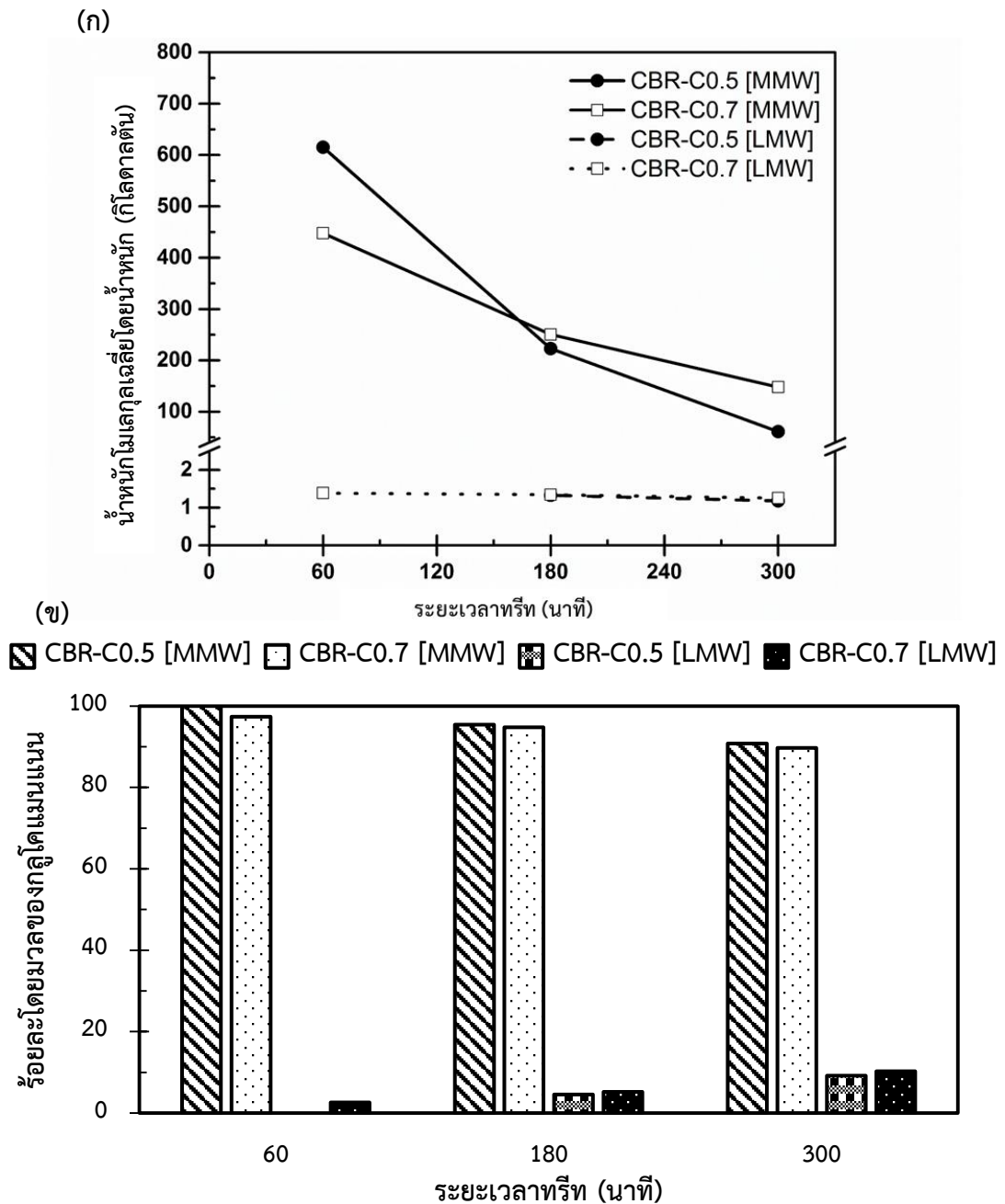
ซึ่งจากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนน แสดงให้เห็นว่า การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้น 0.5 และ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งมีค่า ความหนืด 351 และ 1,904 เซนติพอยท์ ตามลำดับ จะมีแนวโน้มในการลดร้อยละความหนืดได้อย่าง รวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนนเป็นร้อยละ 0.9 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร กลับให้ผลของการลดร้อยละความหนืดช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการ ทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เนื่องจาก สารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีความหนืดสูงถึง 4,105 เซนติพอยท์ ซึ่งจะมีโอกาสในการรวมตัวกันเป็นเจลได้มากเมื่อไม่มีแรงกระทำที่มากพอต่อการ กระจายตัวภายในถังปฏิกรณ์พลาสมา ซึ่งการเกิดเจลส่งผลให้อนุมูลไฮดรอกซิลเข้าทำปฏิกิริยาได้ น้อยลง [5] นอกจากนี้การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความหนืดสูงอาจก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อระบบถังปฏิกรณ์พลาสมาระหว่างกระบวนการย่อยสลาย เนื่องจากถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ หมุนเวียนมีข้อจำกัด คือไม่สามารถใช้ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความหนืดสูงกว่า 2,000 เซนติพอยท์ได้ โดยสารละลายที่มีความหนืดสูงจะมีการสะสมความร้อนและเกิดความดันขึ้น ภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจทำให้จุลชีลินที่ยึดติดกับถังปฏิกรณ์พลาสมาคลายตัวและหลุดออก ส่งผล ให้ระยะห่างระหว่างปลายขั้วอิเล็กโทรดกว้างมากขึ้น และเกิดความร้อนสูงขึ้นจนอาจทำให้เกิดการติด ไฟภายในถังปฏิกรณ์และสารละลายเกิดการรั่วไหลออกจากถังปฏิกรณ์ผ่านรูยึดจุลชีลิน

จากรูปที่ 4.13 (ก) แสดงให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของ กลูโคแมนแนนโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนน คือ ร้อยละ 0.5 (CBR-C0.5) และ 0.7 (CBR-C0.7) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากผลการทดลองพบว่า กรณีการทรีท สารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีแนวโน้มในการลด น้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางโดยมีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 615 กิโลดาลตัน และจะไม่พบผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เวลาการทรีท พลาสมา 60 นาทีแรก จากนั้นกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนัก

โมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 223 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.3 กิโลดาลตัน ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที จากนั้นเมื่อทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 61 กิโลดาลตัน และมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.6 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลคงที่ (1.3 กิโลดาลตัน) โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้รวดเร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 447 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.38 กิโลดาลตัน จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลช้าลงจนมีค่าน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 250 กิโลดาลตัน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 147 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 3.0 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลคงที่ประมาณ 1.3 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละโดยมวลของผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.13 (ข) พบว่าในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะตรวจพบกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 4.59 ที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที และเมื่อทำการทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 9.19 ในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้โดยมีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 2.6 ที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาที และเมื่อทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ใน

ปริมาณมากกว่าการทรินสารละลายกลูโคแมนแนมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเล็กน้อย โดยมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 10.25



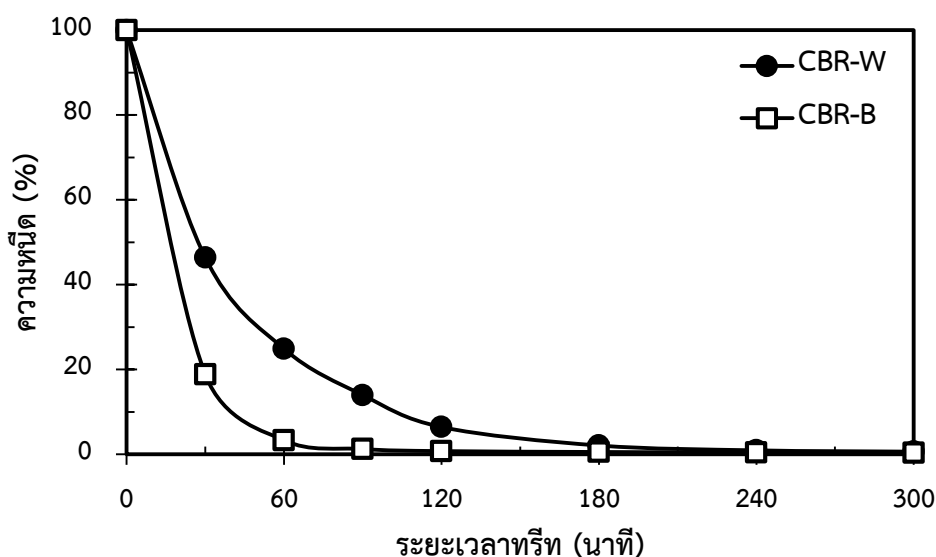
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (CBR-C0.5) และ 0.7 (CBR-C0.7) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนม 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรินด้วยพลาสติกของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิรตซ์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นอกจากนี้การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถเตรียมผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ภายในระยะเวลาทรีท 60 นาที ซึ่งปริมาณที่เตรียมได้จะมากขึ้นเมื่อเวลาการทรีทพลาสมาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรไม่สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ภายหลังการทรีทพลาสมา 60 นาที (เตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ภายหลังการทรีทมากกว่า 60 นาที) ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีสารตั้งต้นมากพอสำหรับทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล ซึ่งเมื่อสารตั้งต้นถูกย่อยสลายจนเกิดเป็นกลูโคแมนแนนที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางในช่วงต่ำกว่า 620 กิโลดาลตัน กลูโคแมนแนนจะถูกย่อยสลายเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ง่ายมากขึ้น ดังนั้นการที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้มีปริมาณสารตั้งต้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาจำนวนมากขึ้นและมีโอกาสในการเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยกระบวนการพลาสมา

4.6 ผลของชนิดของตัวทำละลายและเวลาในการทรีทด้วยพลาสมาวิภาคของเหลว

การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งเปรียบเทียบกับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ คือ น้ำกลั่นที่มีความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-W) และสารละลายซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-B) ในส่วนของกระบวนการพลาสมาจะใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที แสดงดังรูปที่ 4.14 จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืด พบว่า ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายน้ำกลั่นให้ผลร้อยละความหนืดลดลงจนมีค่าร้อยละความหนืดเท่ากับ 25 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 และร้อยละความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทรีทต่อเนื่องจนถึง 300 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จะเห็นว่าร้อยละความหนืดมีแนวโน้มการลดลงเร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่ใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายอย่างชัดเจน โดย

ในช่วงเวลาการทรีท 60 นาทีแรก ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 3.3 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 300 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.4

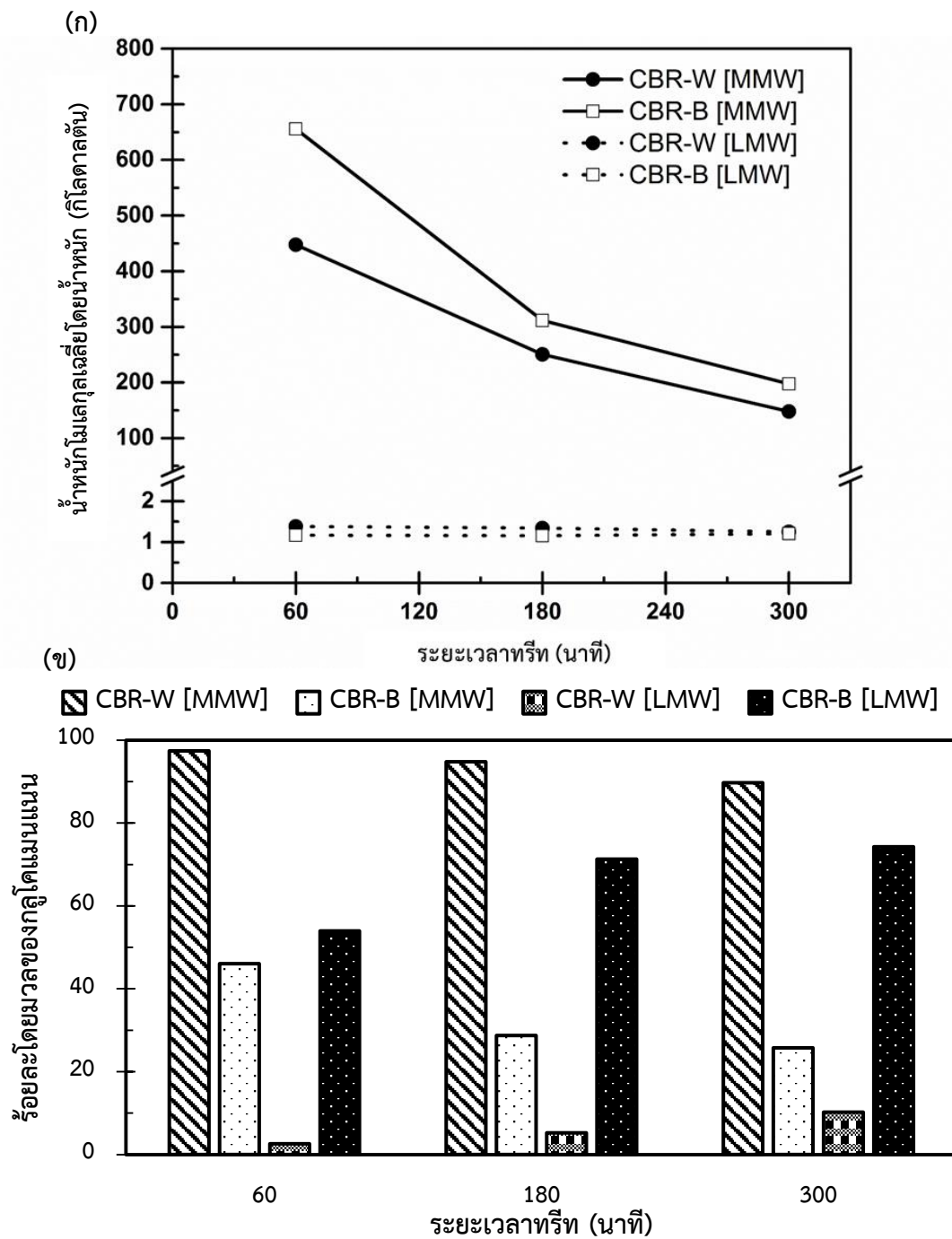


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนมความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่นที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-W) และในตัวทำละลาย ซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-B) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของ สารละลายกลูโคแมนแนม 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถึง ปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์

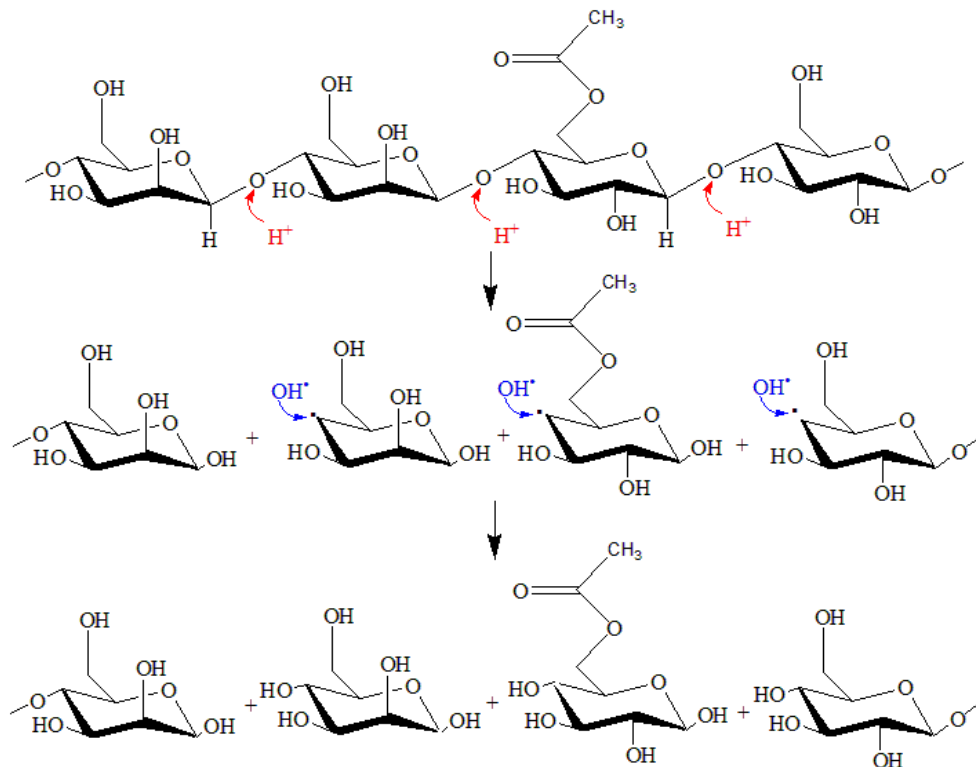
จากรูปที่ 4.15 (ก) แสดงผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของกลูโคแมนแนม และรูปที่ 4.15 (ข) แสดงผลร้อยละโดยมวลของกลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง และกลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยการเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลาย พบว่ากรณีการทรี สารละลายกลูโคแมนแนมโดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรกจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว จนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่มีน้ำหนักโมเลกุล 448 กิโลดาลตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.4 กิโลดาลตัน โดยมีร้อยละโดยมวลของกลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่ากับ 2.6 จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 จนถึง 180 นาที กลูโคแมนแนมน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 250 กิโลดาลตัน ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโค

แมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 5.2 และเมื่อทรีทพลาสมาต่อเนื่องจนกระทั่ง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงจนมีค่าเท่ากับ 147 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 3.0 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลคงที่ (1.3) กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 และมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 10.2

เมื่อเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนพบว่า ในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางได้ช้ากว่ากรณีใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรกจะเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางโดยมีน้ำหนักโมเลกุล 656 กิโลดาลตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 กิโลดาลตัน โดยผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เกิดขึ้นจะมีร้อยละโดยมวลสูงถึง 54 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้ผลของการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำในปริมาณที่มากกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายอย่างชัดเจนภายในระยะเวลาทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 180 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที ตรวจพบสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 312 กิโลดาลตัน และกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำคงเดิม แต่ที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที ผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 71 และเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับกรณีการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย (198 กิโลดาลตัน) โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.3 และกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลคงที่ (1.2 กิโลดาลตัน) มีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 โดยมีปริมาณร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็น 74



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และ ร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายเกลือโคเดแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำกลั่นที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-W) และในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 (CBR-B) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายเกลือโคเดแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีตด้วยพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.16 กลไกการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดร่วมกับกระบวนการพลาสมา

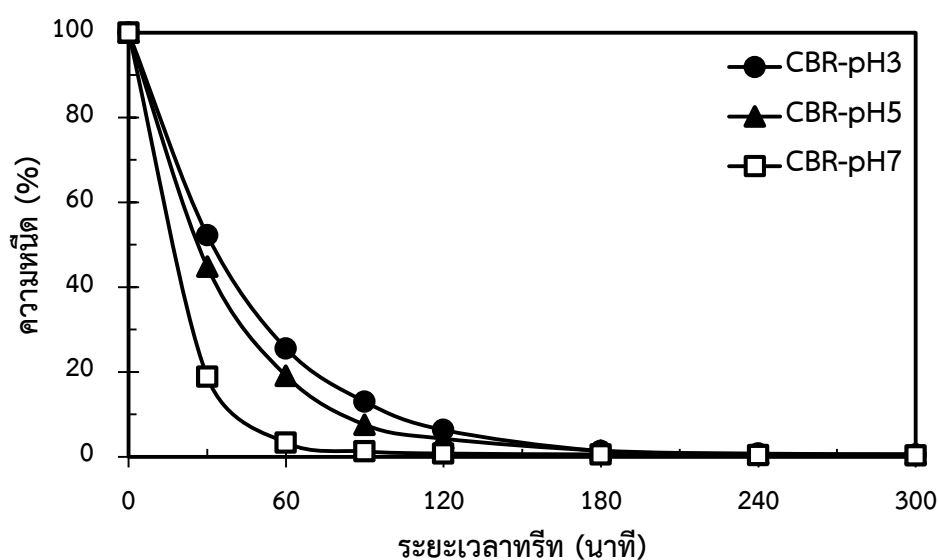
จากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืด น้ำหนักโมเลกุล และร้อยละโดยมวลของสารละลายกลูโคแมนแนน แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายจากน้ำกลั่นเป็นซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่าการทรินสารละลายกลูโคแมนแนนในซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์จะมีแนวโน้มในการลดร้อยละความหนืดได้เร็วกว่าการทรินสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้น้ำกลั่นอย่างชัดเจน และสามารถเตรียมผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 กิโลดาลตัน โดยมีร้อยละโดยมวลสูงถึงร้อยละ 54 ภายในเวลาการทรินพลาสมา 60 นาทีแรก และร้อยละโดยมวลเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 74 เมื่อสารละลายถูกทรินด้วยพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีหน้าที่ในการควบคุมความเป็นกรดต่างในสารละลายโดยอาศัยกรดซิตริกที่เป็นกรดอ่อนในการแตกตัวให้ H^+ แก่ระบบ โดย H^+ ดังกล่าวจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับกลูโคแมนแนนที่ตำแหน่งบิตา 1,4 ไกลโคซิดิก แสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งกลไกการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้กรดร่วมกับกระบวนการพลาสมาจะเกิดจากการแตกตัวของกรดซิตริกในบัฟเฟอร์ ทำให้เกิด H^+ ที่มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาเป็นจำนวนมาก โดย H^+ จะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะบิตา 1,4 ไกลโคซิดิกของกลูโคแมนแนน ทำให้เกิดการแตกพันธะ เกิดหมู่คาร์บอนเนียมไอออน จากนั้นอนุมูลไฮดรอกซิลที่ได้จากการแตกตัวของน้ำจะทำปฏิกิริยากับกลูโคแมนแนนและเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแมนโนส ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยโดย I. Prasertsung และคณะ

[21] ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายในกระบวนการย่อยสลายเซลลูโลสโดยการเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นกรดซัลฟิวริก ส่งผลให้มีผลได้ของน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดซัลฟิวริกมีความสามารถในการแตกตัวให้ H^+ ได้มากกว่าน้ำกลั่น และโครงสร้างของเซลลูโลสและกลูโคแมนแนนมีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นการย่อยสลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์จะมีความสามารถในการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้มาก

4.7 ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายและเวลาในการทรีตด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

ผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนที่เกิดจากการทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในตัวทำละลายซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน คือ 3 (CBR-pH3) 5 (CBR-pH5) และ 7 (CBR-pH7) โดยสารละลายซิเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีข้อจำกัดการใช้งานในช่วงความเป็นกรดต่าง 3 ถึง 7 เท่านั้น ระหว่างการทรีตด้วยพลาสมาจะใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 0 ถึง 300 นาที แสดงดังรูปที่ 4.17 จากผลการทดลองพบว่า การทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 7 ร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนจะลดลงจนมีค่าเท่ากับ 3.35 ในช่วงเวลาการทรีตพลาสมา 60 นาทีแรก จากนั้นร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อทรีตต่อเนื่องจนถึง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 0.36 ในกรณีการทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 5 จะมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดช้ากว่าการทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายอย่างชัดเจนในช่วงเวลาการทรีตพลาสมา 0 ถึง 180 นาที โดยในช่วงเวลาการทรีต 60 นาทีแรก ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 19 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องจนมีค่าเท่ากับ 1.46 และจะคงที่เมื่อทรีตด้วยพลาสมาต่อเนื่องจนกระทั่ง 300 นาที โดยมีค่าร้อยละความหนืดประมาณ 1 และในกรณีการทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 3 จะมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละความหนืดช้าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทรีตสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้บัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 5 และ 7 ตามลำดับ โดยในช่วงเวลาการทรีต 60 นาทีแรก ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 25.56 จากนั้นในช่วงเวลา 60 ถึง 180 นาที ร้อยละความหนืดจะมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.38 และเมื่อทรีตพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนโดยจะมีค่าประมาณร้อยละ 1

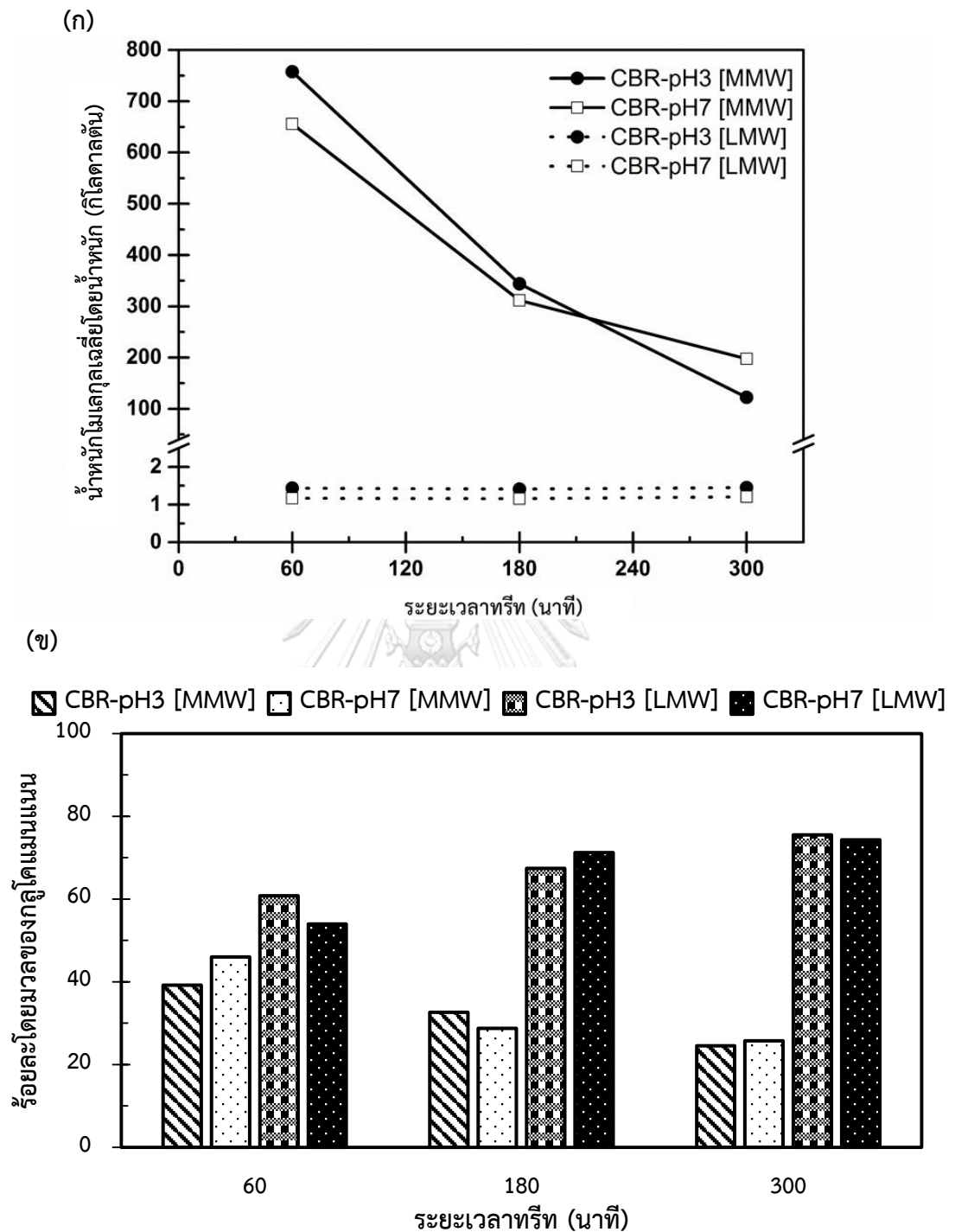
นอกจากนี้ จะเห็นว่าการทรูทสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ทั้ง 3 ค่าความเป็นกรดต่างจะไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดในช่วงเวลาทรูทพลาสมา 180 ถึง 300 นาที ซึ่งจากผลการเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดแสดงให้เห็นว่า การทรูทสารละลายกลูโคแมนแนนในสถานะที่ตัวทำละลายบัฟเฟอร์มีความเป็นกลาง (ความเป็นกรดต่าง 7) จะมีแนวโน้มในการลดความหนืดได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับกรวย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยพลาสมาในสถานะที่มีความเป็นกรด



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความหนืดของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 (CBR-pH3) 5 (CBR-pH5) และ 7 (CBR-7) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรูทด้วยพลาสมาวัฏภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์

รูปที่ 4.18 แสดงผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรูทด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว แสดงให้เห็นถึงการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลและการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำตามระยะเวลาการทรูทพลาสมา ซึ่งพบว่ากรณีการทรูทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 3 ในช่วงเวลาการทรูทพลาสมา 60 นาทีแรก จะมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง 758 กิโลดาลตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 1.4 กิโลดาลตัน โดย

มีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 61 จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 180 นาที กลูโคแมนแนน น้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่องโดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 344 กิโลดาลตัน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่จะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 67 และเมื่อทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงจนมีค่าเท่ากับ 122 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.1 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะน้ำหนักโมเลกุลคงที่ (1.4 กิโลดาลตัน) โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 นอกจากนี้กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76 สำหรับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนในตัวทำละลายไซเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 7 พบว่าในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 0 ถึง 60 นาที มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 3 เล็กน้อย โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง 656 กิโลดาลตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 1.2 กิโลดาลตัน จากนั้นกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะมีแนวโน้มการลดน้ำหนักโมเลกุลจนมีค่าใกล้เคียงกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 3 โดยที่เวลาการทรีทพลาสมา 180 นาที จะมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 312 กิโลดาลตัน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อย่างไรก็ตามร้อยละโดยมวลจะเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 71 และเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีทพลาสมาจาก 180 ถึง 300 นาที กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางยังคงมีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลได้ใกล้เคียงกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 3 ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 198 กิโลดาลตัน โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2.3 ในขณะที่กลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโดยมีค่าคงที่ประมาณ 1.2 กิโลดาลตัน และมีค่าดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.1 โดยมีร้อยละโดยมวลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 74



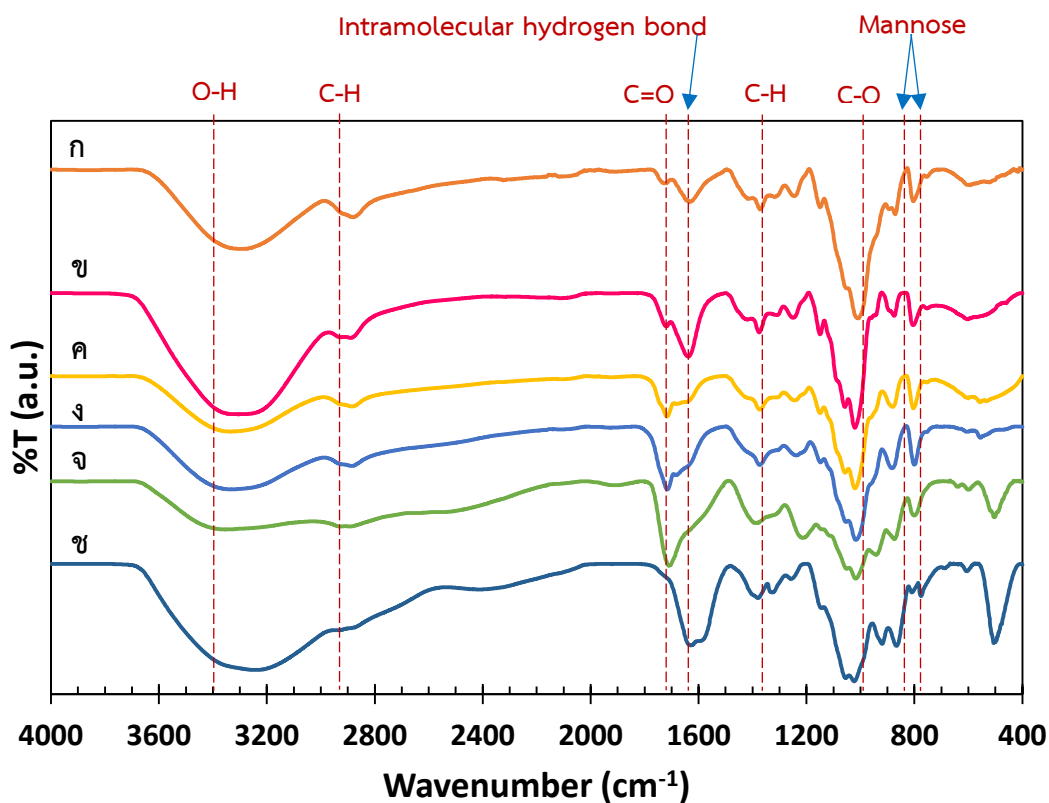
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรวมของดินเหนียว (ก) และร้อยละโดยมวล (ข) ของสารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 (CBR-pH3) และ 7 (CBR-7) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งผ่านการทรีตด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียน ระยะเวลา 0-300 นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้ตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด (ความเป็นกรดต่าง 3) มีแนวโน้มในการลดน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางได้เร็วกว่าการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกลาง (ความเป็นกรดต่าง 7) ในช่วงเวลาทรีท 60 นาทีแรก นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ในปริมาณมากกว่าถึงร้อยละ 7 ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดมากกว่าจะมีกรดซิตริกในปริมาณมากซึ่งสามารถแตกตัวให้ H^+ แก่ระบบได้มากกว่ากรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกลาง จึงเป็นเหตุผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีสภาวะเป็นกรดดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นในช่วงเวลาการทรีทพลาสมา 60 ถึง 300 นาที ร้อยละโดยมวลและน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไม่มี ความแตกต่าง ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่าตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดต่าง 7 จะมีแนวโน้มในการแตกตัวให้ H^+ ได้ใกล้เคียงกับกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 3 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยโดย W. Jian และคณะ [32] ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเป็นกรดต่างที่มีต่อสมบัติแขวนลอยและคุณลักษณะโมเลกุลของกลูโคแมนแนน โดยศึกษาผลของความเป็นกรดต่างในช่วง 4 ถึง 10 ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งพบว่าสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 4 ในตัวทำละลายกรดไฮโดรคลอริกจะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมากที่สุด ในขณะที่สารละลายกลูโคแมนแนนที่มีความเป็นกรดต่าง 7 สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลได้น้อยกว่ากรณีที่สารละลายมีความเป็นกรด

4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนนหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมา

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนนหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมาเป็นเวลา 300 นาที โดยใช้เทคนิค FT-IR โดยเปรียบเทียบกับกลูโคแมนแนนที่ไม่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมา แสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งจะตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่แสดงถึงโครงสร้างที่สำคัญของกลูโคแมนแนนจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ช่วงคลื่นดังนี้ ที่ตำแหน่ง 3,311 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ในโครงสร้างกลูโคแมนแนน ที่ตำแหน่ง 2,885 และ 1,377 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงหมู่แอลเคน (C-H) ในโครงสร้างของกลูโคแมนแนน ที่ตำแหน่ง 1,718 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=O ของหมู่แอซิดิลที่เชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสในโครงสร้างหลักของกลูโคแมนแนน ที่ตำแหน่ง 1,638 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (Intramolecular hydrogen bond) [33] ที่ตำแหน่ง 1,017 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงพันธะ C-O ใน

โครงสร้างของกลูโคแมนแนน และที่ตำแหน่ง 871 และ 803 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงโครงสร้างของน้ำตาลแมนโนส [34]



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของของสารละลายกลูโคแมนแนนก่อนและหลังผ่านการทรีทด้วยพลาสมาที่สภาวะต่างๆ (ก) กลูโคแมนแนนที่ไม่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมา (ข) CBR-F15 (ค) CBR-F30, CBR-C0.5 (ง) CBR-C0.7 (จ) CBR-pH3 (ช) CBR-pH7

จากผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารละลายกลูโคแมนแนนภายหลังการทรีทด้วยพลาสมาวิฤภาคของเหลว ในตัวทำละลายน้ำกลั่น (CBR-F15, CBR-F30 และ CBR-C0.7) และในตัวทำละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (CBR-pH3 และ CBR-pH7) พบว่าเมื่อเพิ่มความถี่ไฟฟ้าและความเข้มข้นของสารละลายในกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนในน้ำกลั่น ส่งผลให้หมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ตำแหน่ง 1,718 ต่อเซนติเมตร มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความถี่ไฟฟ้าจะส่งผลให้ปฏิกิริยามีการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลมากขึ้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลกลูโคแมนแนนถูกตัดสั้นลงมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นการเพิ่มเนื้อสาร จึงมีกลูโคแมนแนนถูกทำปฏิกิริยามากขึ้น ทั้งนี้เมื่อเปลี่ยนตัวทำละลายจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 พบว่ามีหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากในตัวทำ

ละลายดังกล่าวมีกรดซिटริกจำนวนมาก และจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอนิลจะส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (ตำแหน่ง 1,638 ต่อเซนติเมตร) ลดลง แต่เมื่อพริทสารละลายกลูโคแมนแนนนในตัวทำละลายซิทเรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 พบว่ามีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลมากขึ้นในขณะที่หมู่คาร์บอนิลลดลง และจะเห็นว่ามีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1,570 ต่อเซนติเมตร ในกรณีพริทสารละลายกลูโคแมนแนนโดยใช้บัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 ซึ่งไม่สามารถระบุหมู่ฟังก์ชันที่ชัดเจนได้จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy; NMR)

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายสารละลายกลูโคแมนแนนด้วยพลาสมาวิทยุภาคของเหลวมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและร้อยละโดยมวลของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ ชนิดของถังปฏิกรณ์พลาสมา ปริมาตรของสารละลาย อัตราการไหลของสารละลาย ความถี่ไฟฟ้าของพลาสมา ความเข้มข้นของสารละลาย ชนิดของตัวทำละลาย และความเป็นกรดต่างของสารละลาย ผลจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลและผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ สารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ใช้สารละลายซิทเรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 เป็นตัวทำละลาย ซึ่งผ่านการทรีตโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ในการทรีตด้วยพลาสมา ซึ่งสภาวะดังกล่าวมีกรดซिटริกที่สามารถแตกตัวให้ H^+ เป็นจำนวนมาก ซึ่งช่วยส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยพลาสมา และสามารถลดน้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนได้เร็วและมีผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำร้อยละ 61 ในเวลาการทรีตพลาสมา 60 นาที และเมื่อทรีตพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้สูงถึงร้อยละ 76 โดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 กิโลดาลตัน และมีค่าดัชนีการกระจายตัวของพอลิเมอร์ประมาณ 1.1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการย่อยสลายกลูโคแมนแนนเพื่อเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำโดยใช้กระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ซึ่งศึกษาปัจจัยที่มีต่อการลดน้ำหนักร้อยละและร้อยละผลได้จากการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำโดยมีการพัฒนาถึงปฏิกรณ์พลาสมาเป็นแบบกะหมุนเวียน พบว่ากระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวสามารถใช้เตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้ โดยกลูโคแมนแนนจะถูกย่อยสลายด้วยพลาสมาโดยอาศัยอนุมูลไฮดรอกซิลซึ่งเข้าทำลายพันธะไกลโคซิดิกส่งผลให้กลูโคแมนแนนเริ่มต้นที่มีน้ำหนักร้อยละ 1,341 กิโลดาลตัน ส่งผลให้น้ำหนักร้อยละลดลง และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กลูโคแมนแนนที่มีน้ำหนักร้อยละเฉลี่ยโดยน้ำหนักร้อยละ 2 ช่วง คือ กลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละปานกลาง (51-760 กิโลดาลตัน) และกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำ (1.2-1.4 กิโลดาลตัน) ตามระยะเวลาการทรีทที่เพิ่มมากขึ้น และในการพัฒนาถึงปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะเป็นแบบกะหมุนเวียน ส่งผลให้สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้ปริมาณมากขึ้น เนื่องจากสารละลายกลูโคแมนแนนมีการไหลเวียนทำให้สัมผัสกับพลาสมาและทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ดังนั้นถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนจึงมีความเหมาะสมต่อการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำ และจากผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำ พบว่าชนิดของตัวทำละลายเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำอย่างมาก โดยกรณีการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนนในน้ำกลั่นสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนได้เพียงร้อยละ 10.2 แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายจากน้ำกลั่นเป็นซิติเรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 พบว่าสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้สูงถึงร้อยละ 54 ภายในระยะเวลาทรีท 60 นาทีแรก และจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 76 เมื่อทรีทด้วยพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดเป็นตัวทำละลายจะช่วยส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายได้ นอกจากนี้การใช้ตัวทำละลายซิติเรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้มากขึ้นภายในระยะเวลาทรีท 60 นาทีแรก โดยมีร้อยละผลได้เท่ากับ 61 จากนั้นจะให้ร้อยละผลได้ที่ใกล้เคียงกับกรณีการทรีทกลูโคแมนแนนในบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 7 เมื่อทรีทจนกระทั่ง 300 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดที่มากขึ้นจะช่วยส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายได้อย่างชัดเจนในช่วงเวลา 60 นาทีแรก ทั้งนี้การเพิ่มความถี่ไฟฟ้าและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนน จะช่วยให้สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักร้อยละต่ำได้มากขึ้น เนื่องจากกระบวนการพลาสมาสามารถผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลได้

มากขึ้นและมีเนื้อสารที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ตามลำดับ นอกจากนี้ในการทรีทสารละลาย กลูโคแมนแนนด้วยพลาสมาโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในการใช้ กับสารละลายกลูโคแมนแนนที่มีปริมาตรน้อย (50 มิลลิลิตร) และอัตราการไหลของสารละลาย 5 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อให้สารละลายมีจำนวนรอบในการผ่านจุดกำเนิดพลาสมามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มี ผลผลิตกัลกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากขึ้น

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดน้ำหนักโมเลกุลและร้อยละโดยมวลของกลูโคแมนแนน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ สารละลายกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ใช้สารละลายซีเตรต-ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรดต่าง 3 เป็นตัวทำ ละลาย ซึ่งผ่านการทรีทโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนที่ความถี่ไฟฟ้า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ อัตราการ ไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวมีกรดซिटริกที่สามารถแตกตัวให้ H^+ เป็นจำนวนมากจึงช่วย ส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายกลูโคแมนแนนด้วยพลาสมา และสามารถลดน้ำหนักโมเลกุลของกลูโค แมนแนนได้เร็ว และมีผลได้ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำร้อยละ 61 ในเวลาการทรีทพลาสมา 60 นาทีแรก และเมื่อทรีทพลาสมาจนกระทั่ง 300 นาที จะสามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนัก โมเลกุลต่ำได้สูงถึงร้อยละ 76 โดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.2 กิโลดาลตัน และมีค่าดรชนีการ กระจายตัวของพอลิเมอร์ประมาณ 1.1

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรพัฒนาถึงปฏิกรณ์แบบกะหมุนเวียนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงเพื่อให้ สารละลายกลูโคแมนแนนสัมผัสกับจุดกำเนิดพลาสมาได้มากขึ้น

5.2.2 ควรทำการศึกษาผลของชนิดกรดที่นำมาใช้ในการทรีทสารละลายกลูโคแมนแนน เนื่องจากกรดแต่ละชนิดมีความสามารถในการแตกตัวให้ H^+ แตกต่างกัน เช่น กรดฟอสฟอริก กรด ไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริก เป็นต้น ซึ่งคาดว่ากรดที่สามารถแตกตัวให้ H^+ ได้ดีกว่าจะส่งผลให้ สามารถเตรียมกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ในปริมาณมากและใช้เวลาในการเตรียมสั้นลง

5.2.3 ควรศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในสารตัวอย่างที่เกิดขึ้นหลังผ่านการทรีท ด้วยกระบวนการพลาสมา ซึ่งอาจเกิดจากการสึกกร่อนของขั้วอิเล็กโทรด เพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ ของกลูโคแมนแนนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เตรียมได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตสารพรีไบโอติกต่อไป

รายการอ้างอิง

1. Pawongrat, R., กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส/*Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic-agricultural wastes*. Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University, 2015. 2(1): p. 143-157.
2. Barreteau, H., C. Delattre, and P. Michaud, *Production of Oligosaccharides as Promising New Food Additive Generation*. Food Technology & Biotechnology, 2006. 44(3).
3. Mussatto, S.I. and I.M. Mancilha, *Non-digestible oligosaccharides: a review*. Carbohydrate polymers, 2007. 68(3): p. 587-597.
4. Patel, S. and A. Goyal, *Functional oligosaccharides: production, properties and applications*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2011. 27(5): p. 1119-1128.
5. Li, J., et al., *Ultrasonic degradation kinetics and rheological profiles of a food polysaccharide (konjac glucomannan) in water*. Food Hydrocolloids, 2017. 70: p. 14-19.
6. Hendriks, A. and G. Zeeman, *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. Bioresource technology, 2009. 100(1): p. 10-18.
7. Malgas, S., J.S. van Dyk, and B.I. Pletschke, *A review of the enzymatic hydrolysis of mannans and synergistic interactions between β -mannanase, β -mannosidase and α -galactosidase*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015. 31(8): p. 1167-1175.
8. Tester, R. and F. Al-Ghazzewi, *Glucomannans and nutrition*. Food Hydrocolloids, 2017. 68: p. 246-254.
9. Blibech, M., et al., *Production of manno-oligosaccharides from locust bean gum using immobilized *Penicillium occitanis* mannanase*. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2011. 73(1-4): p. 111-115.

10. Bui, C.V., et al., *Conversion of konjac powder into glucomannan-oligosaccharides, mannose, and glucose by hydrolysis facilitated by microwave heating and HCl catalyst*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology), 2016. 12(2): p. 45-61.
11. Cescutti, P., et al., *Structure of the oligomers obtained by enzymatic hydrolysis of the glucomannan produced by the plant *Amorphophallus konjac**. Carbohydrate Research, 2002. 337(24): p. 2505-2511.
12. Chen, J., et al., *Optimization of hydrolysis conditions for the production of glucomanno-oligosaccharides from konjac using β -mannanase by response surface methodology*. Carbohydrate polymers, 2013. 93(1): p. 81-88.
13. Jian, W., et al., *Study on preparation and separation of Konjac oligosaccharides*. Carbohydrate polymers, 2013. 92(2): p. 1218-1224.
14. Mikkelsen, A., H. Maaheimo, and T.K. Hakala, *Hydrolysis of konjac glucomannan by *Trichoderma reesei* mannanase and endoglucanases *Cel7B* and *Cel5A* for the production of glucomannooligosaccharides*. Carbohydrate research, 2013. 372: p. 60-68.
15. Ojima, R., et al., *Rheological property of hydrolyzed konjac glucomannan*. Transactions of the Materials Research Society of Japan, 2009. 34(3): p. 477-480.
16. Tudella, J., et al., *Oxidation of mannosyl oligosaccharides by hydroxyl radicals as assessed by electrospray mass spectrometry*. Carbohydrate research, 2011. 346(16): p. 2603-2611.
17. Takai, O., *Solution plasma processing (SPP)*. Pure and Applied Chemistry, 2008. 80(9): p. 2003-2011.
18. Prasertsung, I., et al., *Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system*. Carbohydrate Polymers, 2012. 87(4): p. 2745-2749.
19. Prasertsung, I., S. Damrongsakkul, and N. Saito, *Degradation of β -chitosan by solution plasma process (SPP)*. Polymer degradation and stability, 2013. 98(10): p. 2089-2093.

20. Tantiplapol, T., et al., *Influences of solution plasma conditions on degradation rate and properties of chitosan*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015. 32: p. 116-120.
21. Prasertsung, I., et al., *Conversion of cellulose into reducing sugar by solution plasma process (SPP)*. Carbohydrate polymers, 2017. 172: p. 230-236.
22. Moran-Mirabal, J.M., *Advanced-microscopy techniques for the characterization of cellulose structure and cellulose-cellulase interactions*, in *Cellulose-Fundamental Aspects*. 2013, InTech.
23. Matsagar, B.M. *Biorefinery hemicellulose-ionic liquid-sugar-hydrolysis-matsagar-paresh dhepe-ncl*. [2016 Oct 5]; Available from: <https://www.slideshare.net/babasahebmatagar/biorefinery-hemicelluloseionic-liquidsugarhydrolysis-matsagar-paresh-dhepencl>.
24. Mulimani, V. and K. Naganagouda, *Research in Food Science Education: Simple Laboratory Exercise for Induction of β -Mannanase from Aspergillus niger*. Journal of Food Science Education, 2010. 9(3): p. 76-79.
25. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำจากศูนย์กลางต่อของเหลวที่ระยะทางแตกต่างกัน. [2017 Oct 26]; Available from: http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2864/7/249421_ch3.pdf.
26. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดแกนหมุน. [2017 Oct 26]; Available from: <https://www.pballtechno.com/article/28>.
27. หวังทวีทรัพย์, เ. แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง *Gel permeation chromatography*. [2017 Oct 26]; Available from: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/208_67-70.pdf.
28. *Fourier Transform InfraRed Spectrometer*. [2017 Oct 26]; Available from: <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/fourier-transform-infrared-spectrometer>.
29. ตัวอย่าง *Interferogram* ของ *aniline*. [2017 Oct 26]; Available from: <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/images/articles/FTIR/FT-IR01.jpg>.
30. แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง *Fourier transform infrared spectroscopy*. [2017 Oct 26]; Available from: <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/images/articles/FTIR/FT-IR02.jpg>.

31. Kang, J., O.L. Li, and N. Saito, *Synthesis of structure-controlled carbon nano spheres by solution plasma process*. Carbon, 2013. 60: p. 292-298.
32. Jian, W., K.-C. Siu, and J.-Y. Wu, *Effects of pH and temperature on colloidal properties and molecular characteristics of Konjac glucomannan*. Carbohydrate polymers, 2015. 134: p. 285-292.
33. An, N.T., et al., *Characterization of glucomannan from some Amorphophallus species in Vietnam*. Carbohydrate Polymers, 2010. 80(1): p. 308-311.
34. Jin, W., et al., *Degraded konjac glucomannan by γ -ray irradiation assisted with ethanol: Preparation and characterization*. Food Hydrocolloids, 2014. 36: p. 85-92.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคแมนแนนด้วย GPC

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ : Gel Permeation Chromatography, Waters 600E

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ:

| | |
|--------------------|--|
| Eluent | : 0.1 M sodium chloride |
| Flow rate | : 0.6 ml/min |
| Injection volume | : 20 μ l |
| Temperature | : 30°C |
| Column set | : Ultrahydrogel linear 1 column + guard column [M_w resolving range \sim 1,000 – 20,000,000 Daltons] |
| Polymer standard | : Polysaccharide (Pullulan: M_w 5,900 – 708,000 Daltons) |
| Calibration method | : Polysaccharide standard calibration |
| Detector | : Refractive index detector |

การเตรียมตัวอย่าง:

ละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2 %w/v ใน eluent จากนั้นกรองสารละลายด้วยตัวกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 μ m ก่อนฉีดตัวอย่างเข้าเครื่อง

เอกสารแนบ :

- เอกสารแนบที่ ก.1: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง Untreat Sample
- เอกสารแนบที่ ก.2: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.3: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.4: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.5: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.6: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.7: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.8: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.9: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.10: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.11: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.12: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.13: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.14: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.15: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.16: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.17: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.18: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.19: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.20: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.21: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.22: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 300 min
- เอกสารแนบที่ ก.23: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 60 min
- เอกสารแนบที่ ก.24: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 180 min
- เอกสารแนบที่ ก.25: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 300 min

เอกสารแนบที่ ก.1: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง Untreat Sample



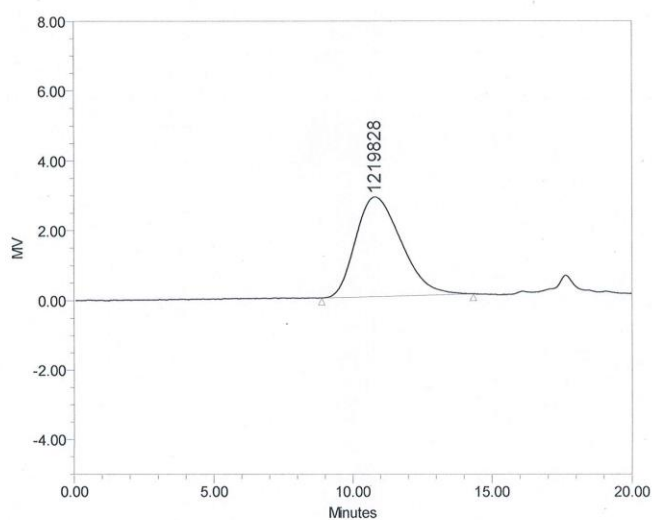
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 1

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Sample Name: | Untreat Sample | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,1 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 9:52:19 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 9:24:46 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 535442 | 1341252 | 1219828 | 2394765 | 3541830 | 2.504946 |

เอกสารแนบที่ ก.2: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 60 min



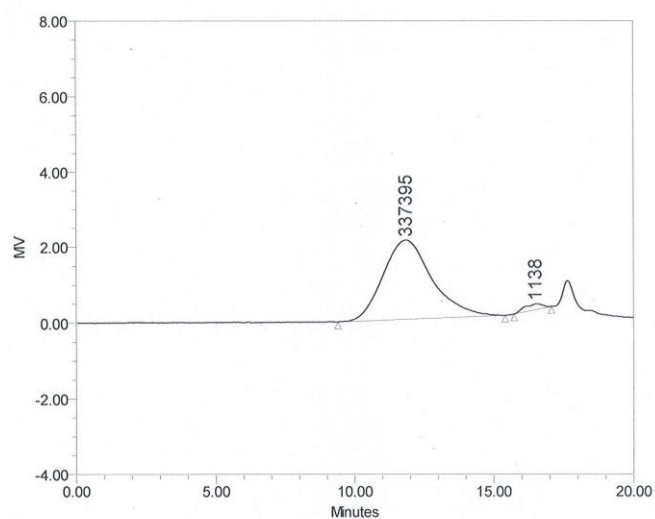
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 2

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 0.7%w/v 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,2 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 10:15:04 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:11:18 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 139417 | 447659 | 337395 | 952947 | 1644706 | 3.210943 | 97.40 |
| 2 | 1248 | 1383 | 1138 | 1524 | 1660 | 1.108144 | 2.60 |

เอกสารแนบที่ ก.3: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 180 min



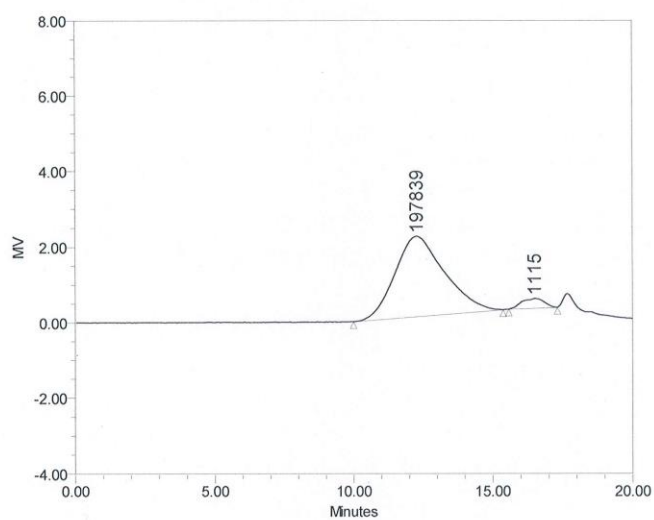
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 3

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 0.7%w/v 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,3 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 10:37:48 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:11:34 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 84124 | 250627 | 197839 | 532991 | 886686 | 2.979243 | 94.78 |
| 2 | 1139 | 1343 | 1115 | 1572 | 1802 | 1.179450 | 5.22 |

เอกสารแนบที่ ก.4: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 0.7% w/v 300 min



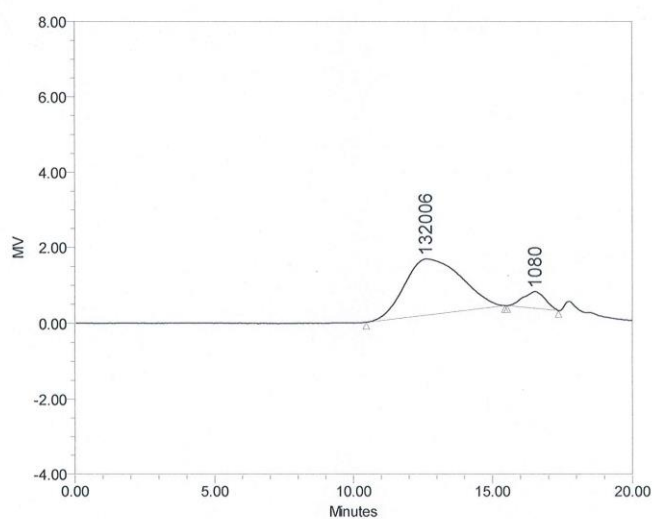
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 4

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 0.7%w/v 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,4 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 11:00:31 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:12:05 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 49808 | 147891 | 132006 | 325307 | 531590 | 2.969236 | 89.75 |
| 2 | 1048 | 1251 | 1080 | 1491 | 1746 | 1.193889 | 10.25 |

เอกสารแนบที่ ก.5: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 60 min



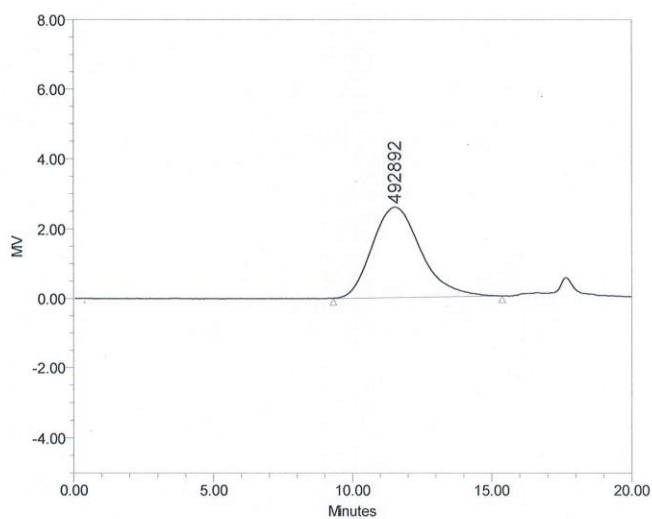
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 5

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 1 ml/min 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,5 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 11:23:15 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:12:21 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 208128 | 651411 | 492892 | 1318157 | 2132571 | 3.129864 |

เอกสารแนบที่ ก.6: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 180 min



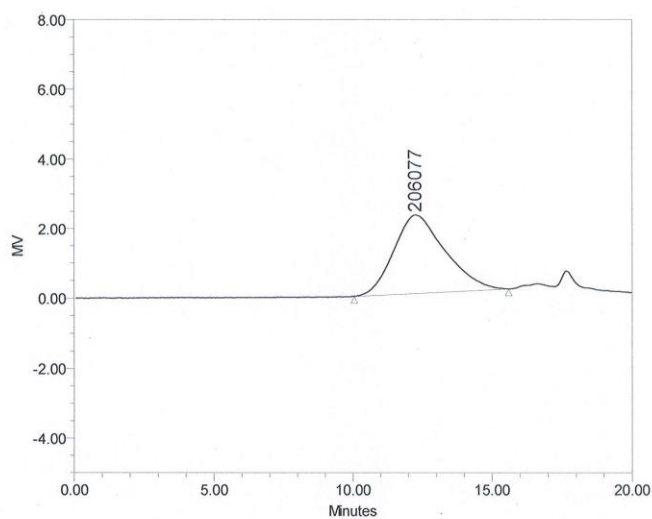
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 6

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 1 ml/min 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,6 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 11:46:00 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:12:29 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 77739 | 251375 | 206077 | 550296 | 923511 | 3.233589 |

เอกสารแนบที่ ก.7: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 1 ml/min 300 min



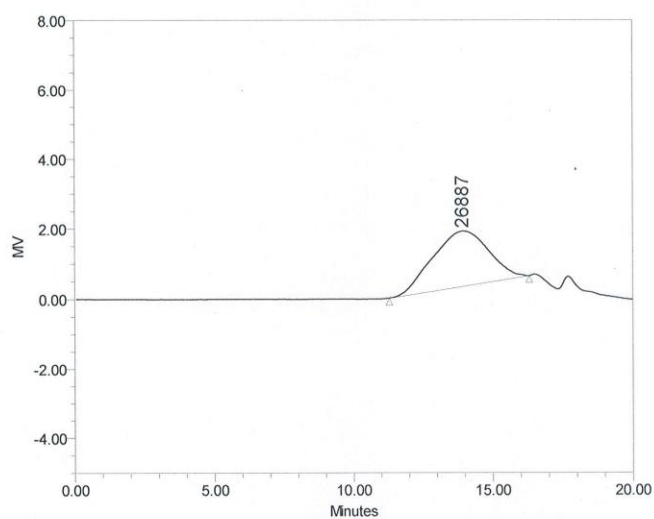
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 7

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 1 ml/min 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,7 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 12:08:46 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:13:14 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 17019 | 51029 | 26887 | 121260 | 202081 | 2.998327 |

เอกสารแนบที่ ก.8: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 60 min



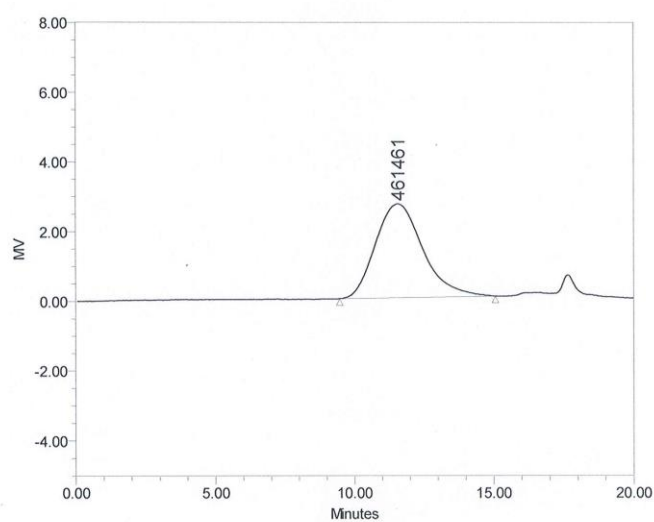
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 8

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 30 kHz 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,8 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 12:31:30 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:13:26 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 210113 | 615194 | 461461 | 1192354 | 1861222 | 2.927914 |

เอกสารแนบที่ ก.9: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 180 min



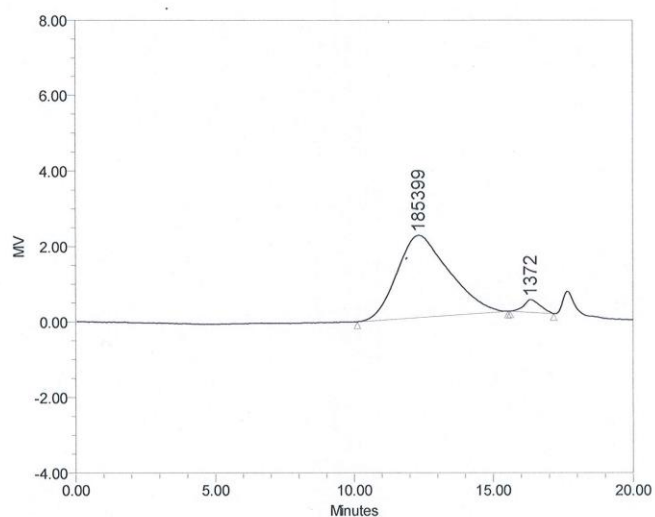
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 9

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 30 kHz 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,1 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 16:00:38 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 9:32:34 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 70658 | 223095 | 185399 | 482519 | 799113 | 3.157406 | 95.41 |
| 2 | 1183 | 1326 | 1372 | 1482 | 1647 | 1.120759 | 4.59 |

เอกสารแนบที่ ก.10: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง 30 kHz 300 min



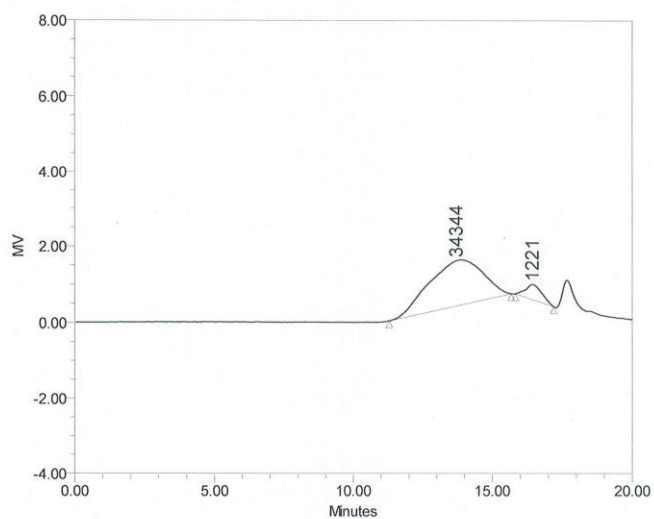
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 10

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | 30 kHz 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,2 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 13:16:58 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:14:22 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 23554 | 61164 | 34344 | 133849 | 211017 | 2.596814 | 90.81 |
| 2 | 1063 | 1179 | 1221 | 1305 | 1434 | 1.109123 | 9.19 |

เอกสารแนบที่ ก.11: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 60 min



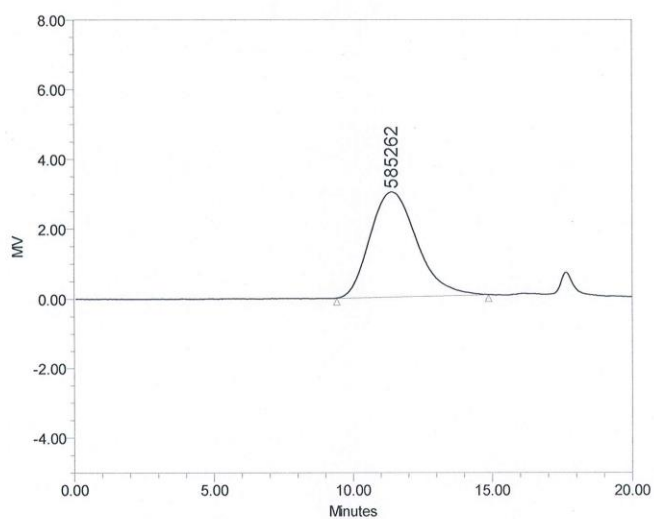
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 11

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | BR 50 ml 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,3 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 13:39:42 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:14:36 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 268788 | 727664 | 585262 | 1368065 | 2096471 | 2.707200 |

เอกสารแนบที่ ก.12: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 180 min



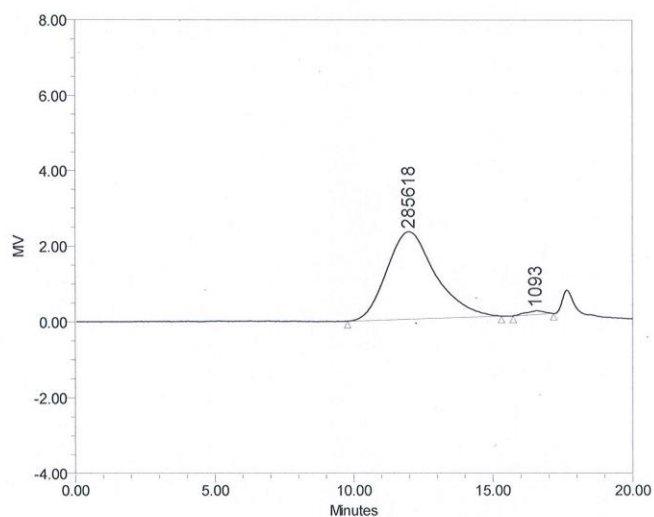
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 12

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | BR 50 ml 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,4 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 14:02:25 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:14:47 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 117190 | 360678 | 285618 | 742953 | 1210945 | 3.077727 | 98.39 |
| 2 | 1098 | 1253 | 1093 | 1427 | 1604 | 1.140760 | 1.61 |

เอกสารแนบที่ ก.13: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง BR 50 ml 300 min



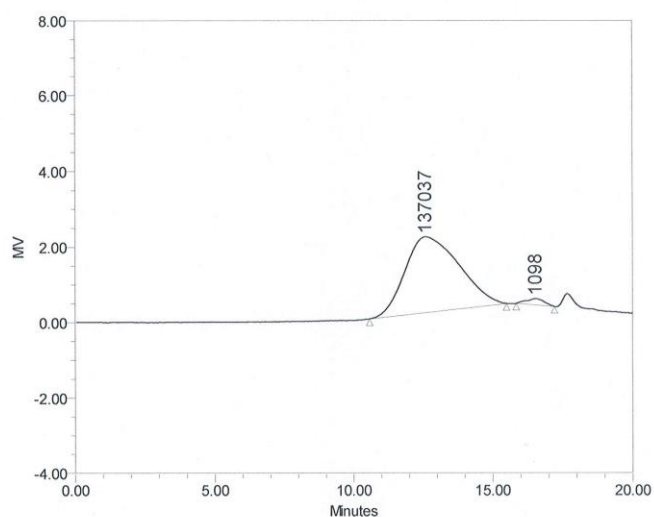
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 13

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | BR 50 ml 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,5 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 14:25:10 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:14:58 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 50678 | 147207 | 137037 | 308090 | 491372 | 2.904722 | 97.40 |
| 2 | 1034 | 1161 | 1098 | 1302 | 1448 | 1.122403 | 2.60 |

เอกสารแนบที่ ก.14: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 60 min



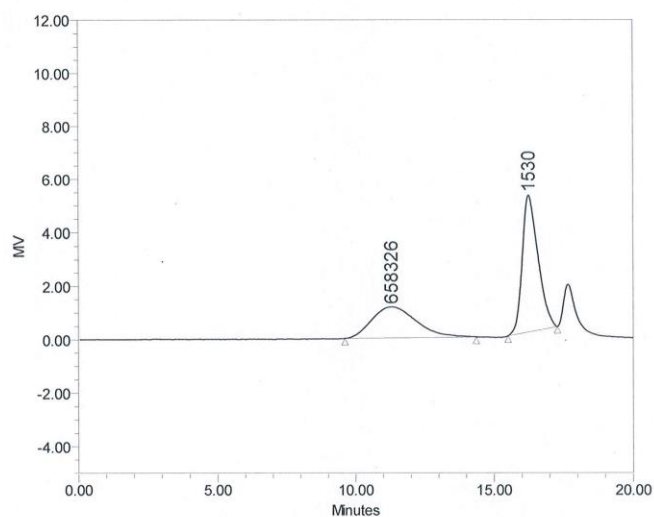
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 14

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH3 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,6 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 14:47:54 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:15:29 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 315787 | 757652 | 658326 | 1317416 | 1882401 | 2.399253 | 39.21 |
| 2 | 1284 | 1437 | 1530 | 1587 | 1733 | 1.118791 | 60.79 |

เอกสารแนบที่ ก.15: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 180 min



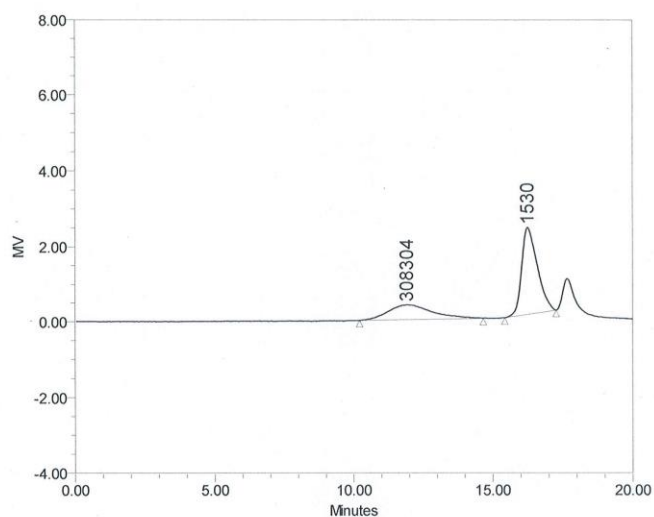
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 15

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH3 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,7 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 15:10:37 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:15:47 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 139787 | 343910 | 308304 | 614024 | 898255 | 2.460237 | 32.61 |
| 2 | 1263 | 1409 | 1530 | 1553 | 1695 | 1.116002 | 67.39 |

เอกสารแนบที่ ก.16: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 3 300 min



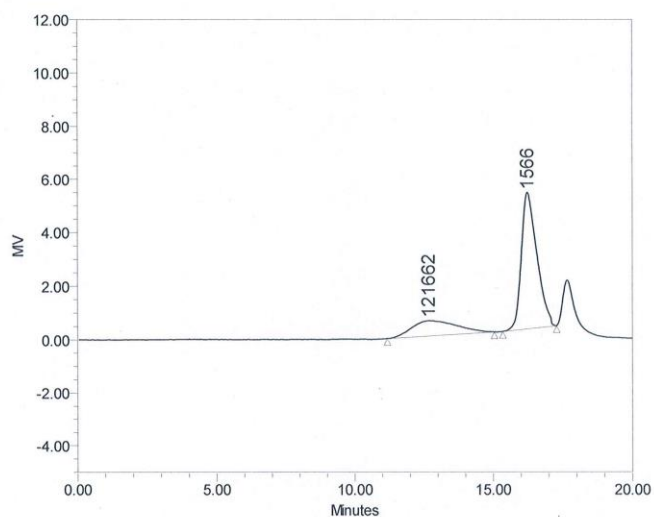
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 16

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH3 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,8 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 15:33:22 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 6/3/2018 16:16:05 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 58110 | 122295 | 121662 | 205926 | 285892 | 2.104549 | 24.51 |
| 2 | 1297 | 1451 | 1566 | 1606 | 1762 | 1.118995 | 75.49 |

เอกสารแนบที่ ก.17: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 60 min



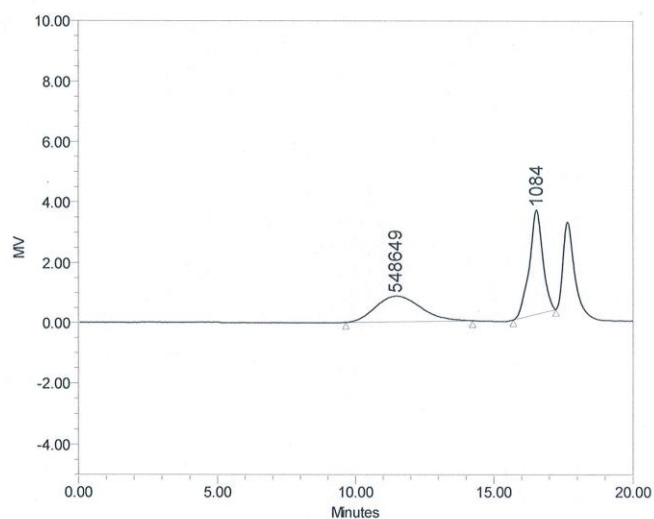
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 17

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH7 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,2 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_inA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 16:23:22 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:04:02 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 282733 | 655752 | 548649 | 1190165 | 1772350 | 2.319335 | 46.03 |
| 2 | 1068 | 1166 | 1084 | 1277 | 1400 | 1.091968 | 53.97 |

เอกสารแนบที่ ก.18: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 180 min



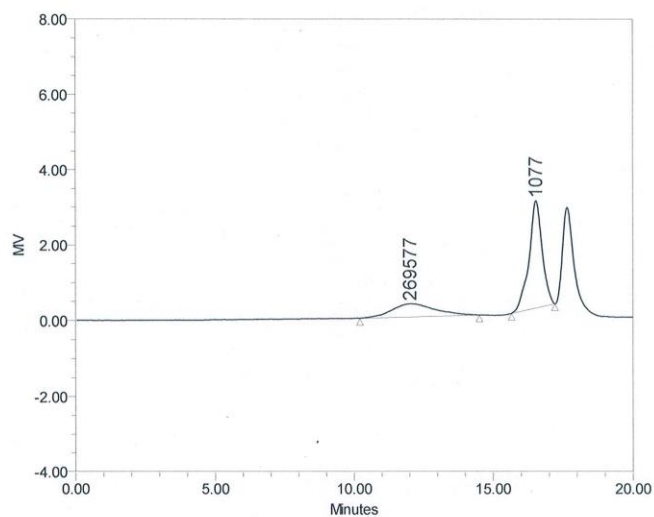
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 18

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH7 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,3 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 16:46:06 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:04:27 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 138484 | 311598 | 269577 | 575356 | 891565 | 2.250063 | 28.74 |
| 2 | 1060 | 1158 | 1077 | 1272 | 1404 | 1.092124 | 71.26 |

เอกสารแนบที่ ก.19: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง pH 7 300 min



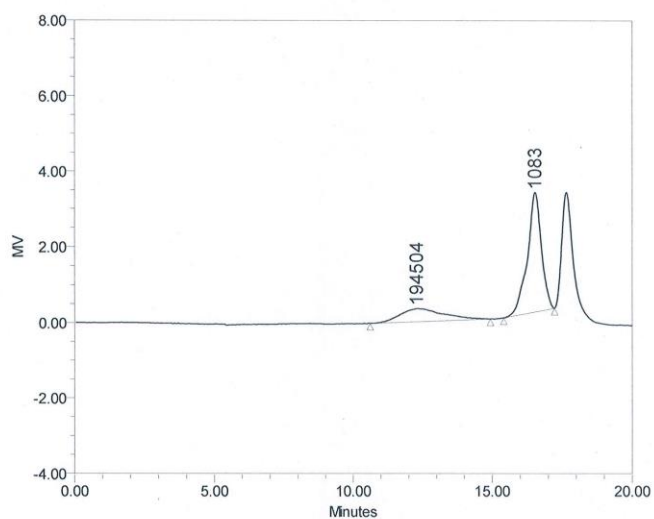
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 19

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | pH7 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,4 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 17:08:50 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:04:55 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 84244 | 197522 | 194504 | 341983 | 483616 | 2.344629 | 25.72 |
| 2 | 1087 | 1206 | 1083 | 1356 | 1539 | 1.109850 | 74.28 |

เอกสารแนบที่ ก.20: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 60 min



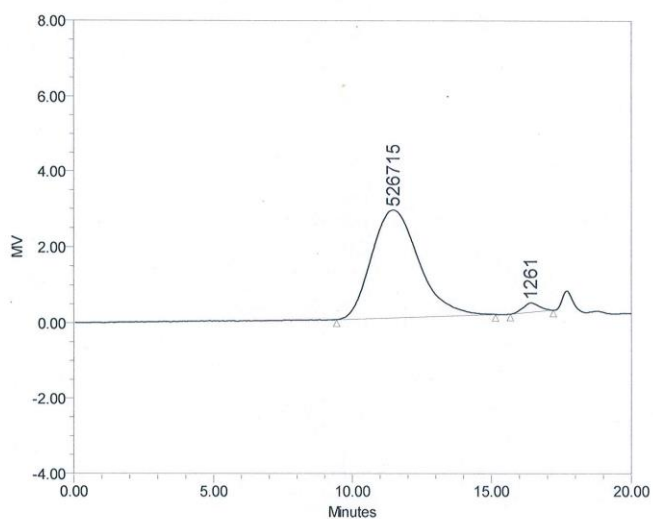
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 20

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 50ml 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,1 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 7/3/2018 8:59:15 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 10:07:44 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 228368 | 663330 | 526715 | 1269653 | 1963439 | 2.904654 | 97.12 |
| 2 | 1165 | 1297 | 1261 | 1436 | 1578 | 1.113070 | 2.88 |

เอกสารแนบที่ ก.21: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 180 min



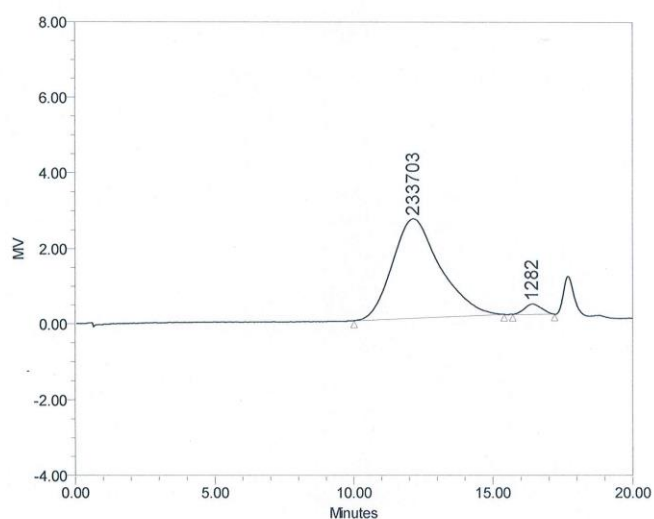
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 21

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 50ml 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,1 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 7/3/2018 10:33:32 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 10:56:07 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 96873 | 281657 | 233703 | 567478 | 913600 | 2.907471 | 96.48 |
| 2 | 1130 | 1259 | 1282 | 1396 | 1535 | 1.114291 | 3.52 |

เอกสารแนบที่ ก.22: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 50 ml 300 min



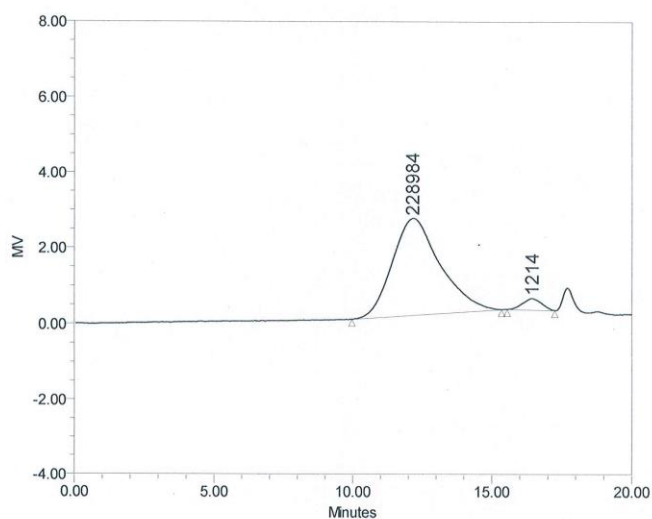
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 22

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 50ml 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,3 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 7/3/2018 9:44:44 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 10:08:01 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 94717 | 276588 | 228984 | 566440 | 937043 | 2.920146 | 95.53 |
| 2 | 1139 | 1310 | 1214 | 1508 | 1722 | 1.150494 | 4.47 |

เอกสารแนบที่ ก.23: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 60 min



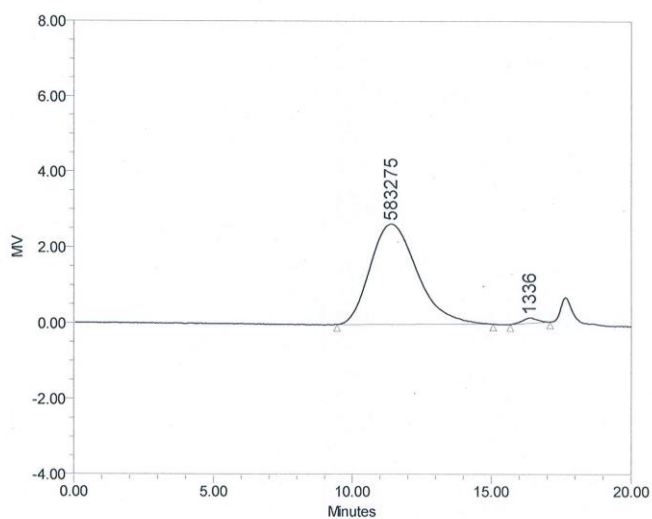
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 23

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 100 ml 60m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:A,8 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 18:39:48 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:07:27 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 242825 | 697850 | 583275 | 1313043 | 1993099 | 2.873874 | 98.37 |
| 2 | 1249 | 1364 | 1336 | 1487 | 1611 | 1.092839 | 1.63 |

เอกสารแนบที่ ก.24: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 180 min



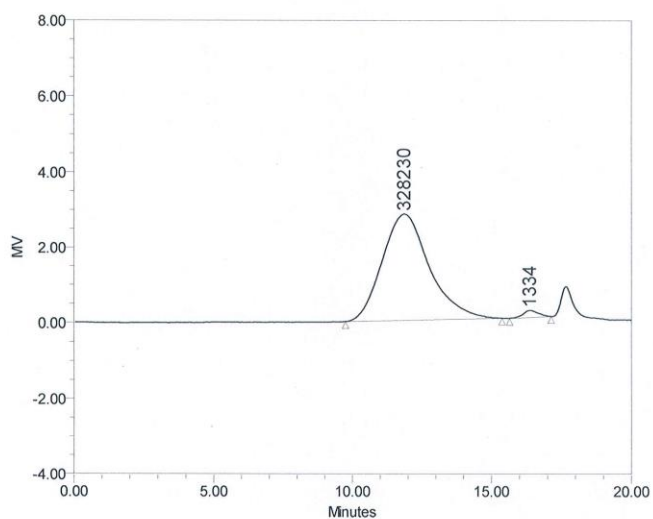
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 24

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 100 ml 180m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,1 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 19:02:33 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:07:38 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 147173 | 429118 | 328230 | 848421 | 1340884 | 2.915728 | 97.95 |
| 2 | 1194 | 1316 | 1334 | 1447 | 1586 | 1.102023 | 2.05 |

เอกสารแนบที่ ก.25: GPC Chromatography ของสารตัวอย่าง SBR 100 ml 300 min



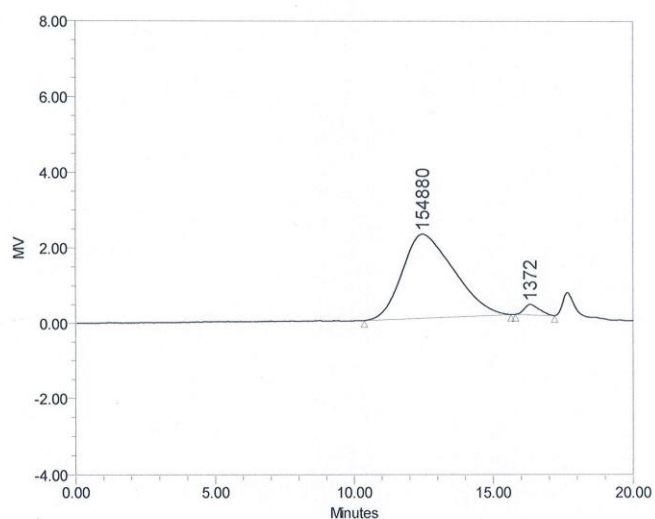
MTEC1116/61

เอกสารแนบที่ 25

Page: 1 of 1

SAMPLE INFORMATION

| | | | |
|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|
| Sample Name: | SBR 100 ml 300m | Acquired By: | System |
| Sample Type: | Broad Unknown | Acq. Method Set: | GPC_F06 |
| Vial: | 1:B,2 | Processing Method: | 01MNaCl_Pull_linA_1 |
| Injection #: | 1 | Channel Name: | 410 |
| Injection Volume: | 20.00 ul | Date Acquired: | 6/3/2018 19:25:18 ICT |
| Run Time: | 22.0 Minutes | Date Processed: | 7/3/2018 8:07:49 ICT |



| | Mn (Daltons) | Mw (Daltons) | MP (Daltons) | Mz (Daltons) | Mz+1 (Daltons) | Polydispersity | % Area |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 58373 | 173911 | 154880 | 364273 | 591547 | 2.979318 | 96.53 |
| 2 | 1189 | 1301 | 1372 | 1410 | 1513 | 1.093417 | 3.47 |

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนนด้วย FT-IR

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ : Fourier transform infrared spectroscopy, PerkinElmer, FT-IR/FIR, USA

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ:

Wave number : 400 – 4,000 cm^{-1}
 Resolution : 1 cm^{-1}
 Mode : ATR

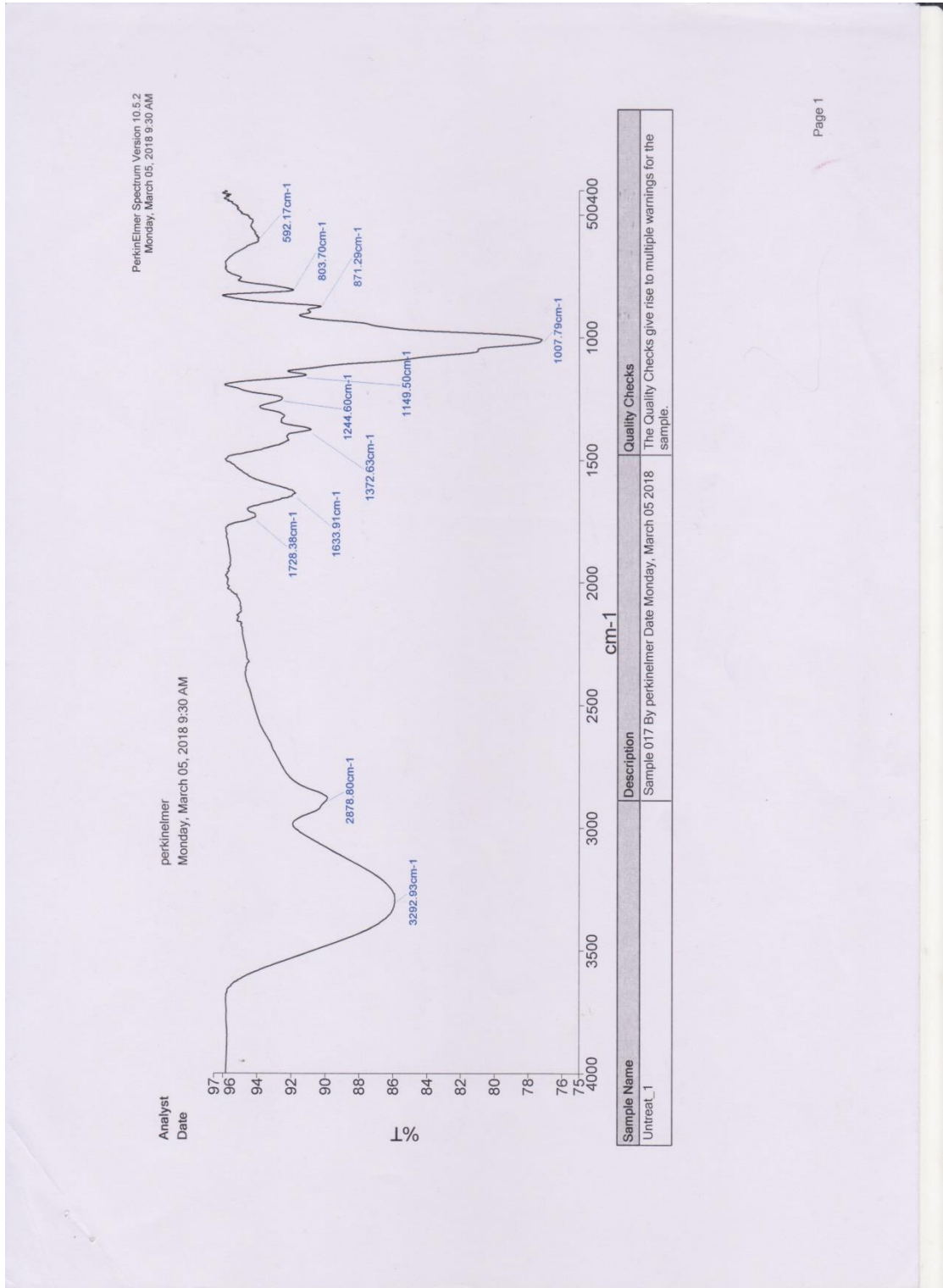
การเตรียมตัวอย่าง:

นำสารละลายกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมา 300 นาที จะถูกนำไปทำแห้งแข็งก่อนการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

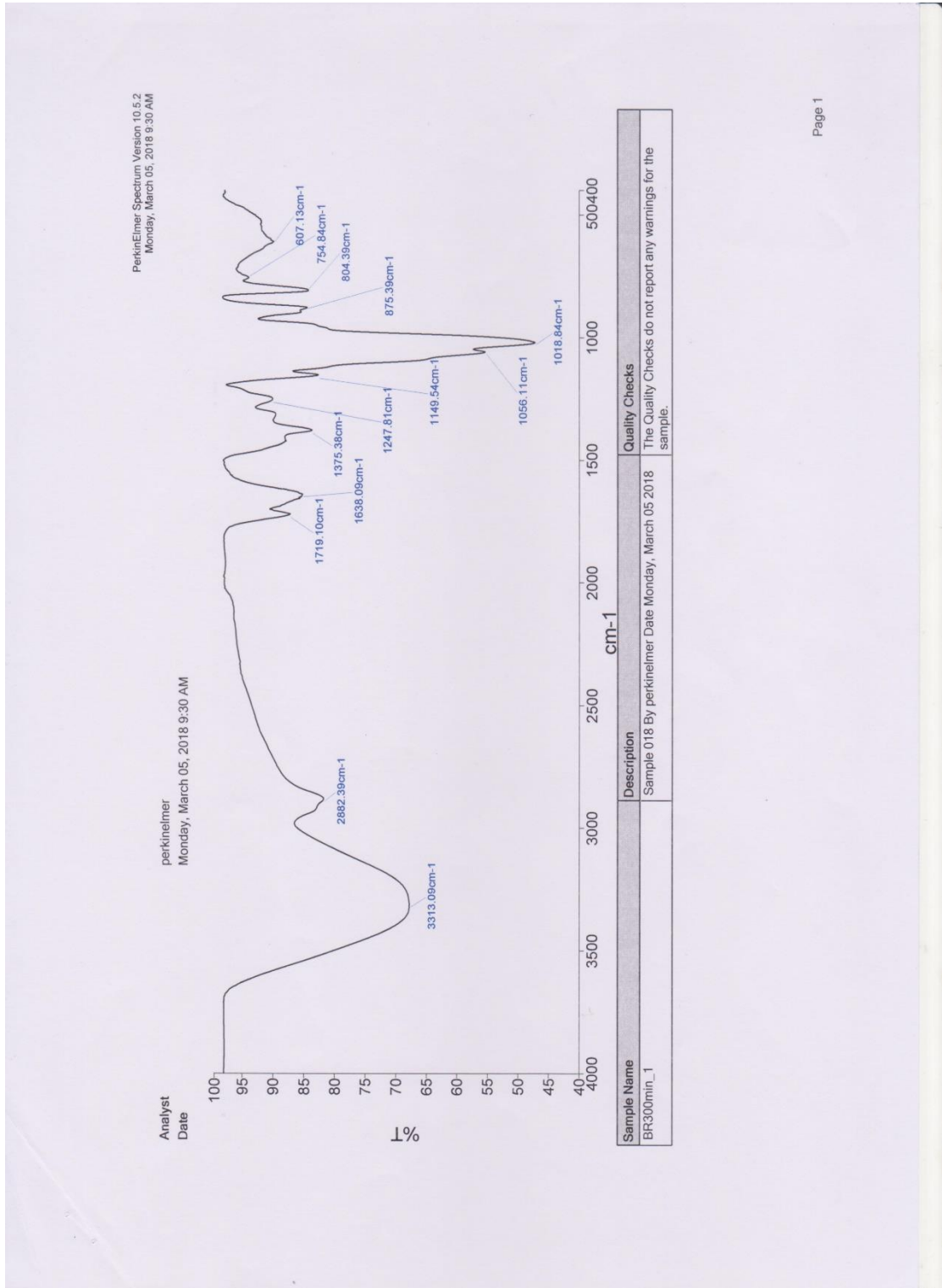
เอกสารแนบ:

- เอกสารแนบที่ ข.1: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง Untreat
- เอกสารแนบที่ ข.2: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง BR
- เอกสารแนบที่ ข.3: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR
- เอกสารแนบที่ ข.4: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR 30 kHz
- เอกสารแนบที่ ข.5: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR 0.7 %w/v
- เอกสารแนบที่ ข.6: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR pH 3
- เอกสารแนบที่ ข.7: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR pH 7

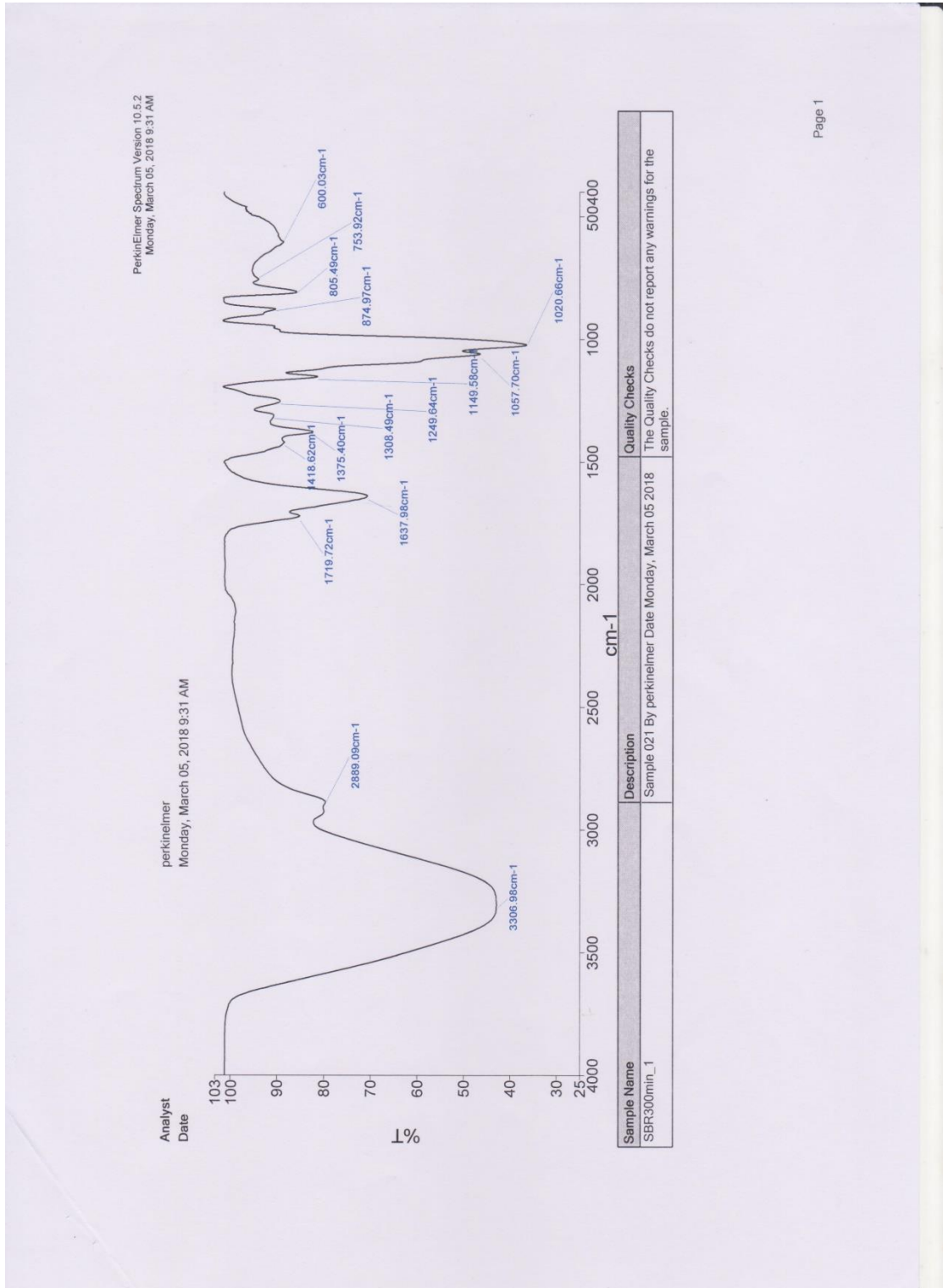
เอกสารแนบที่ ข.1: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง Untreat



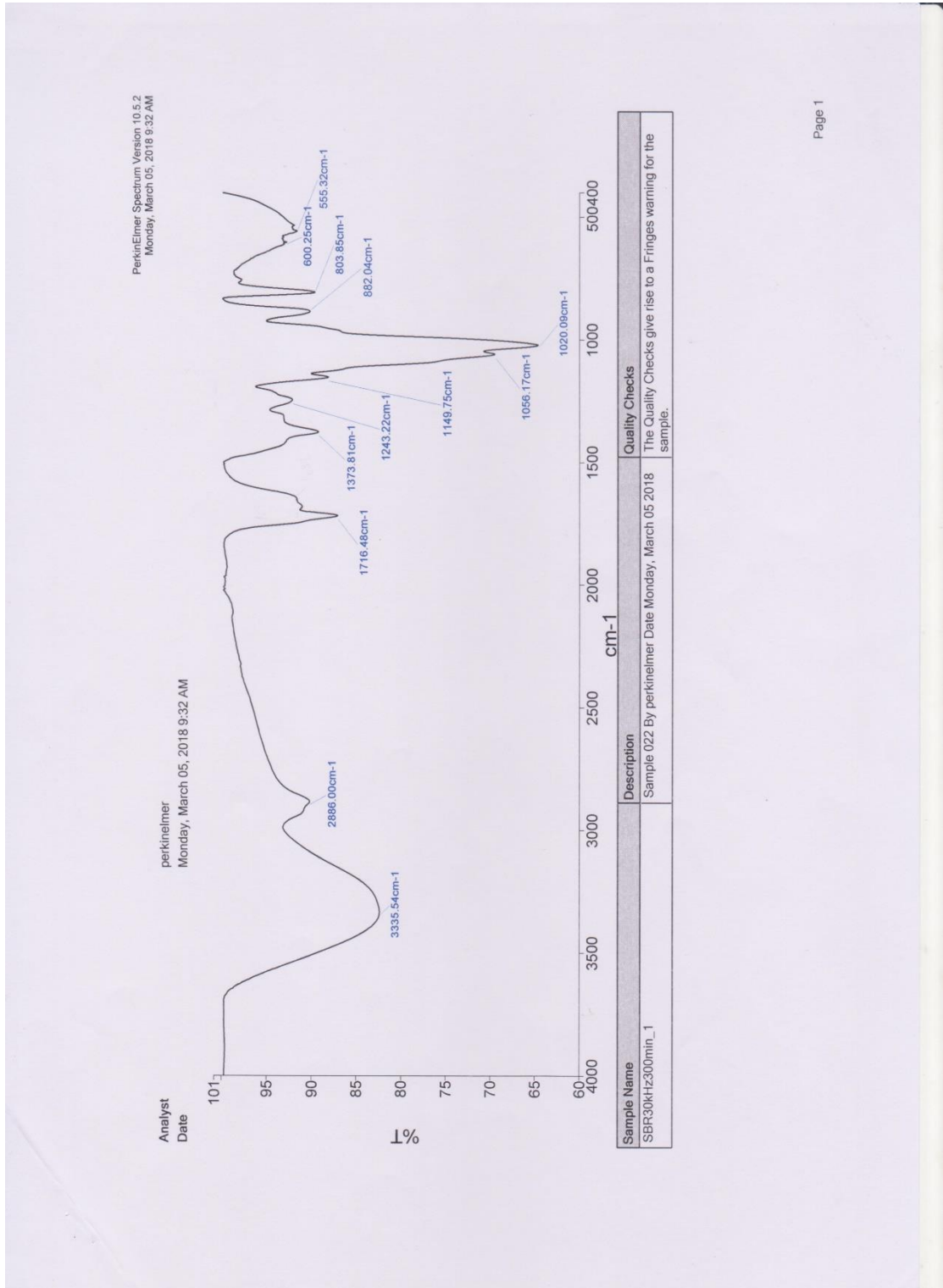
เอกสารแนบที่ ข.2: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง BR



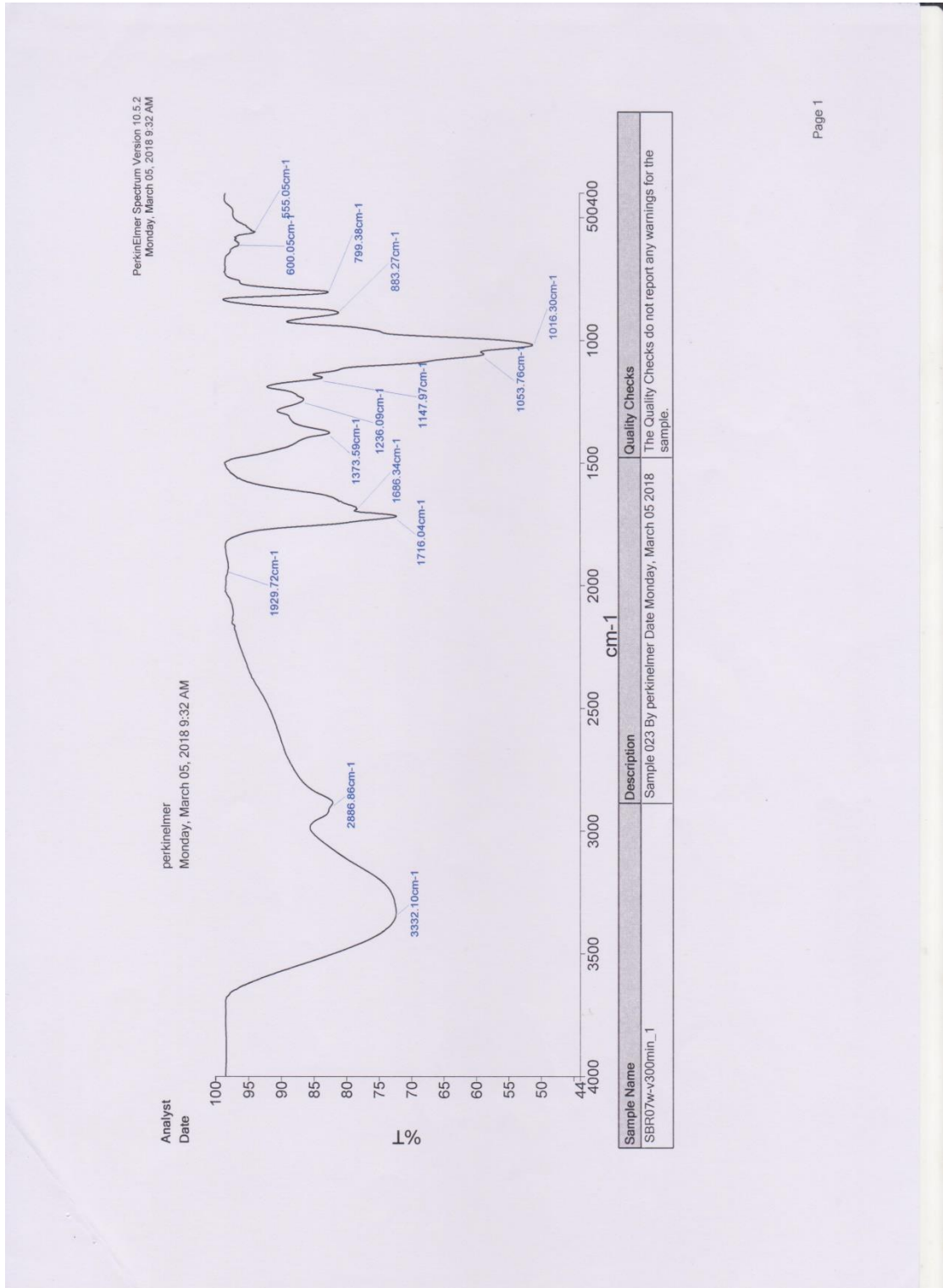
เอกสารแนบที่ ข.3: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR



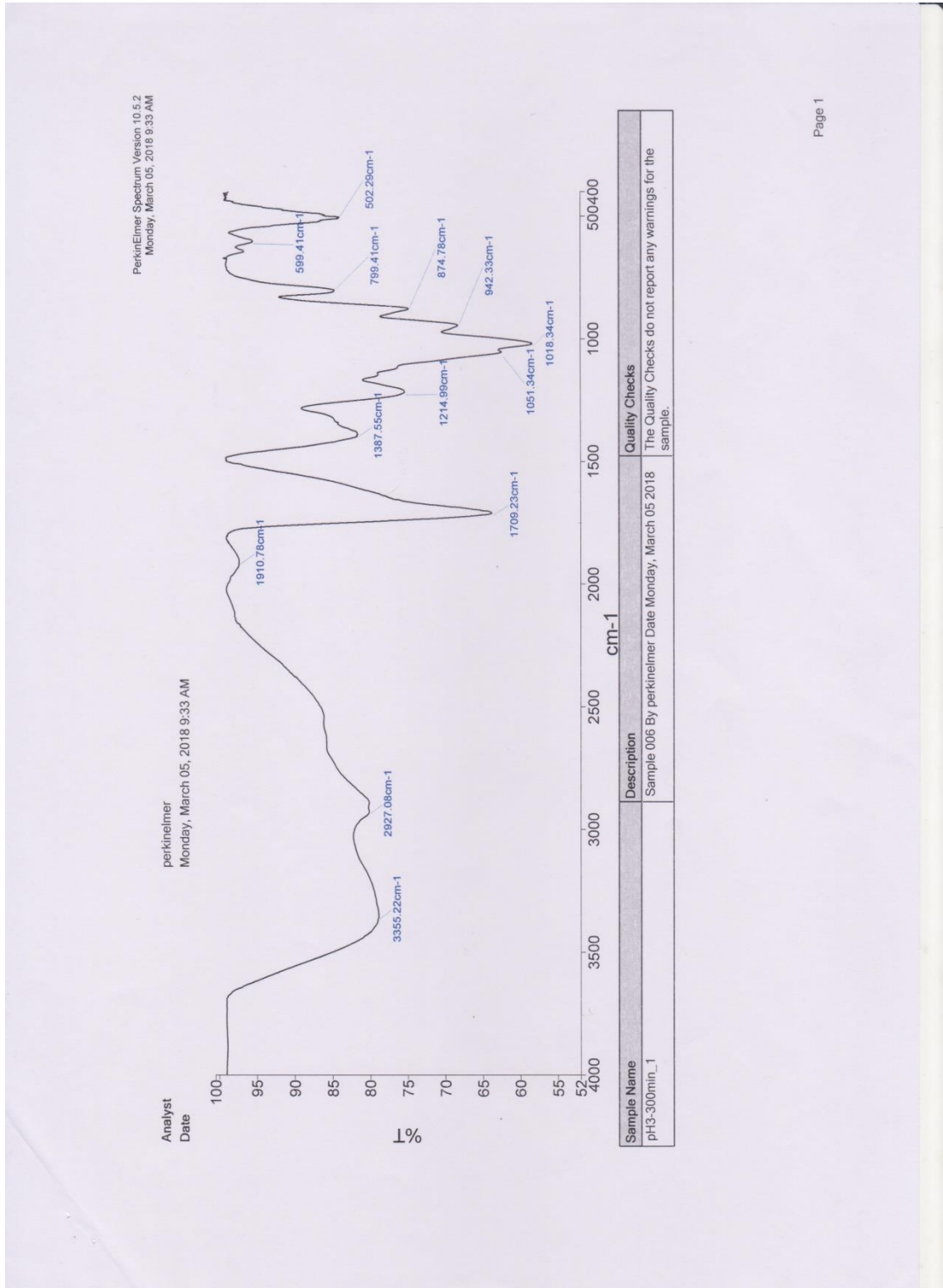
เอกสารแนบที่ ข.4: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR 30 kHz



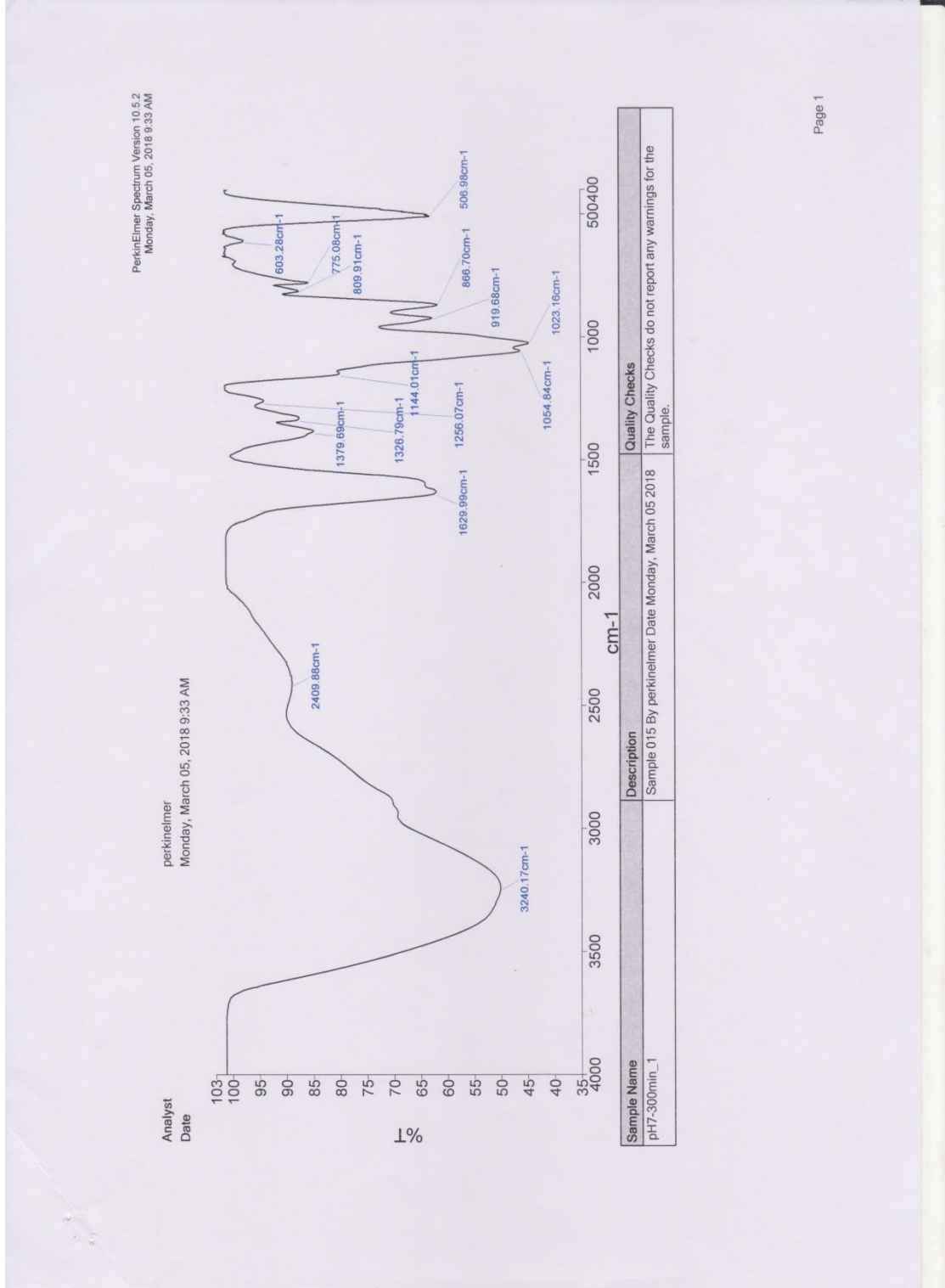
เอกสารแนบที่ ข.5: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR 0.7 %w/v



เอกสารแนบที่ ข.6: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR pH 3



เอกสารแนบที่ ข.7: FT-IR Spectra ของสารตัวอย่าง SBR pH 7



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศศิน แก้วเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดนครสวรรค์ เข้าศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนนวมินทราชูทิศมัธยม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในปีการศึกษา 2557 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2558

การเผยแพร่งานวิจัยในการประชุมระดับนานาชาติ

S. Kaewcharoen, I. Prasertsung, R. Pttchayankura, N. Saito, and S. Damrongsakkul, Preparation of low molecular weight konjac glucomannan by solution plasma process (SPP), Poster Presentation, The 24th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers and the 9th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology (PPC&PETROMAT Symposium 2018), Mandarin Hotel Managed by Centre Point Bangkok, Thailand, Tuesday June 5, 2018

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY