การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด

นายวัฒนา พุ่มมะลิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 0 7 0 4 3 7 5 2 1

PRODUCTION OF SUGAR FROM SUNFLOWER HEADS AND STALKS BY ACID HYDROLYSIS AND GAMMA IRRADIATION FOLLOWED BY ACID HYDROLYSIS

Mr. Wattana Pummali

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด
โดย	นายวัฒนา พุ่มมะลิ
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

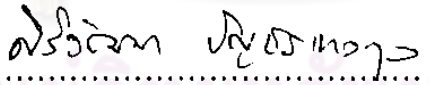
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรโยธา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัฒนา พุ่มมะลิ : การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด. (PRODUCTION OF SUGAR FROM SUNFLOWER HEADS AND STALKS BY ACID HRDROLYSIS AND GAMMA IRRADIATION FOLLOWED BY ACID HYDROLYSIS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล, 127 หน้า.

การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและลำต้นทานตะวัน โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้นไม่เกิน 15%) พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกสำหรับฐานดอกและลำต้นทานตะวันคือ กรดซัลฟิวริก 5% อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi เวลา 15 นาที และสภาวะที่ดีที่สุดของการไฮโดรไลซ์กากที่เหลือ คือ กรดซัลฟิวริก 15% ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi เวลา 20 นาที สำหรับฐานดอกทานตะวันควรทำการไฮโดรไลซ์ต่อเนื่องสองครั้ง (ไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันครั้งแรก แล้วไฮโดรไลซ์กากที่เหลือซ้ำอีกหนึ่งครั้ง) สำหรับลำต้นทานตะวันควรทำการไฮโดรไลซ์ต่อเนื่องสี่ครั้ง (ไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันครั้งแรก จากนั้นไฮโดรไลซ์กากที่เหลือซ้ำอีกสามครั้ง) การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 25.83% ต่อน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอก หรือคิดเป็น 134.11% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่วนการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 37.63% ต่อน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในลำต้น หรือคิดเป็น 70.00% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่วนการฉายรังสีวัสดุทั้งสองในช่วงปริมาณรังสี 100-700 kGy ก่อนทำการไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพิ่มขึ้น 19.54% ในกรณีลำต้นทานตะวัน แต่ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยลง 3.35% ในกรณีฐานดอกทานตะวัน และการแยกน้ำตาลออกจากสารละลาย (ที่ไฮโดรไลซ์ด้วยกรด) ด้วยวิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่ ได้ %Recovery ของน้ำตาลเท่ากับ 93.10% ในกรณีฐานดอกทานตะวัน และ 97.10% ในกรณีของลำต้นทานตะวัน ตามลำดับ

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา2553

5070437521 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : ACID HYDROLYSIS / GAMMA IRRADIATION / SUNFLOWER HEADS / SUNFLOWER STALKS

WATTANA PUMMALI : PRODUCTION OF SUGAR FROM SUNFLOWER HEADS AND STALKS BY ACID HYDROLYSIS AND GAMMA IRRADIATION FOLLOWED BY ACID HYDROLYSIS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 127pp.

Production of monosaccharide sugars from sunflower heads and stalks by diluted acid hydrolysis were studied. The optimum hydrolysis conditions were found to be 5% (w/v) sulfuric acid, 121 ^{0}C, 15 psi and 15 minutes for first hydrolysis, and 15% (w/v) sulfuric acid, 121 ^{0}C, 15 psi and 20 minutes for residue hydrolysis. After first hydrolysis, one time residue hydrolysis was needed for sunflower heads while 3 times for sunflower stalks. The overall monosaccharide sugars of 25.83% (w/w), for sunflower heads were obtained in this study. This value is equivalent to 64.26% of the total monosaccharide sugars or 134.11% of the total fibers (cellulose& hemicelluloses). And the overall monosaccharide sugars of 37.63% (w/w), for sunflower stalks were obtained in this study. This value is equivalent to 64.26% of the total monosaccharide sugars or 70.00% of the total fibers. Irradiation of both materials at gamma dose of 100-700 kGy range before diluted acid hydrolysis could yield monosaccharide sugars up 19.54% (w/w) for sunflower stalks, while drop down 3.35% (w/w) for sunflower heads in comparison with un-irradiated results. And sugar-acid separation by ion exclusion technique could recover the acid for reusing. At 60 ^{0}C, the sugar recovery of 93.10% for sugar-acid from sunflower heads, and 97.10% for sugar-acid from sunflower stalks were obtained in this study.

Department : Nuclear Technology Student's Signature .....

Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ หน่วยงานบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนวิจัย ในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย ทำให้การศึกษาวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ทำให้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆในงานวิจัยได้รับการแก้ไขและผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสุนันท์ รังสีกาญจน์ส่อง ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆด้วยเครื่อง HPLC และคำแนะนำต่างๆที่มีประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณบัญชา อุนพานิช ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ได้แก่ เครื่องให้กำเนิดรังสี Chamber ควบคุมอุณหภูมิ และให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำ Chamber ควบคุมอุณหภูมิ อีกทั้งคอยแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเหล่านี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสนิท ปรีนคร วิทยาลัยปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำอุปกรณ์ Chamber ควบคุมอุณหภูมิ โดยไม่คิดมูลค่า

ขอกราบขอบพระคุณ คุณไพโรจน์ อนันตะเศรษฐกูล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนจัดทำ Chamber ควบคุมอุณหภูมิ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวพุ่มมะลิ ที่ได้มีส่วนร่วมในงานวิจัย ได้แก่ การจัดหาฐานดอกและต้นทานตะวันมาใช้ในงานวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

ทฤษฎี..... 4

2.1 การย่อยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 4

2.2 การไฮโดรไลซ์โมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 9

2.3 เคมีรังสีของพอลิเมอร์..... 11

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทานตะวัน..... 15

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 19

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง..... 23

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... 23

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย..... 24

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 24

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย..... 24

การทดลองตอนที่ 1..... 25

การทดลองตอนที่ 2..... 27

การทดลองตอนที่ 3..... 30

บทที่	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในฐานดอกทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest	33
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน โดยใช้วิธีของ ASTM Standard	34
4.3 ผลการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก	34
4.4 ผลการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก	44
4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในต้นทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest	58
4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน โดยใช้วิธีของ ASTM Standard	58
4.7 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก	59
4.8 ผลการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก	69
4.9 เปรียบเทียบผลการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันและต้นทานตะวัน ในกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก	80
4.10 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดด้วยวิธี Ion exclusion เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่	83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	92
ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	92
รายการอ้างอิง	101
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก	103
ภาคผนวก ข	107
ภาคผนวก ค	113
ภาคผนวก ง	116
ภาคผนวก จ	118
ภาคผนวก ฉ	120
ภาคผนวก ช	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	127

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของเซลลูโลสถูกกระตุ้นด้วยรังสี.....	13
2.2	ส่วนประกอบของต้นทานตะวันที่แยกสกัดด้วยวิธี Hydrothermal treatments and ethanol pulping.....	16
2.3	ส่วนประกอบของฐานดอกทานตะวันที่ได้จากการแยกสกัดด้วยตัวทำละลาย Ammonium oxalate oxalic-acid.....	17
4.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในฐานดอกทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest....	33
4.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน.....	34
4.3	%Brix สูงสุดในแต่ละความเข้มข้น กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C และ 121 ^{0}C (15 psi).....	37
4.4	ผลการวิเคราะห์เยื่อใยในต้นทานตะวัน.....	58
4.5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน.....	58
4.6	%Brix สูงสุดในแต่ละความเข้มข้นของกรด กรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C และ 121 ^{0}C (15 psi).....	61
4.7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล (%) ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากมาทำซ้ำอีก 3 ครั้งโดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาทีในแต่ละครั้ง.....	68
4.8	ผลการเปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก.....	80
4.9	ผลการเปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก.....	82
4.10	ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดในสารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในกรดซัลฟิวริก ชนิด B.....	87
4.11	ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดในสารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C.....	88
4.12	ผลการหา %Recovery ของกรด ในกรณีล้างกรดด้วยน้ำกลั่นปริมาตรต่างๆกันเพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่.....	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของผนังเซลล์พืช ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง.....	4
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส.....	5
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสในลักษณะต่างๆ.....	6
2.4	Furanose form และ Pyranose form.....	6
2.5	โครงสร้างของ Pectic acid และ pectin.....	7
2.6	โครงสร้างของ Lignin.....	8
2.7	แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำตาลโดยมีกรดและด่างเป็นตัวคะตะลิสต์..	9
2.8	แสดงกลไกการย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริก.....	10
2.9	แสดงกลไกการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสเมื่อถูกรังสี.....	12
2.10	โครงสร้างของเซลลูโลสแรดิคัลแบบ d และ 3 เท่านั้นที่สามารถเกิดการตัดทอนโมเลกุลของเซลลูโลสได้.....	13
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับ กับค่า G (Scission) เมื่อฉายรังสีในสภาพมีอากาศและสุญญากาศ.....	14
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับ กับสัมประสิทธิ์ความหนืดของเซลลูโลส ซึ่งวัดทันทีที่ฉายรังสีแกมมาเสร็จสิ้น (กราฟจุดโปร่ง) และภายหลังที่ฉายรังสีไปแล้ว 21 วัน (กราฟจุดทึบ) ในสภาพมีอากาศและสุญญากาศ.....	15
4.1	ผลของการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C.....	35
4.2	ผลของการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi.....	36
4.3	ตัวอย่างพีคของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที.....	38
4.4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ในเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi.....	39

ภาพที่ หน้า

4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข โดยไฮโดรไลซ์กากด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 นาที..... 40

4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข รวมกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 42

4.7 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15 นาที 45

4.8 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 20 นาที 46

4.9 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 25 นาที 47

4.10 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 30 นาที 49

4.11 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ในฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 51

4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากฐานดอกทานตะวัน ที่ปริมาณรังสี 300-700 kGy โดยไฮโดรไลซ์กาก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi 52

4.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 54

4.14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน..... 57

4.15 ผลของการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C..... 59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ หน้า

4.16 ผลของการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 60

4.17 ตัวอย่างพีคของน้ำตาลที่พบในต้นทานตะวัน เมื่อวัดด้วยเครื่อง HPLC กรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi..... 62

4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi..... 63

4.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในแต่ละเงื่อนไข ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 64

4.20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข รวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข..... 66

4.21 ผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กับปริมาณเส้นใยและปริมาณน้ำตาลน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน..... 69

4.22 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15 นาที..... 70

4.23 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา20 นาที..... 71

4.24 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 25 นาที..... 72

4.25 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 30 นาที..... 73

4.26 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (%) ในต้นทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi..... 75

4.27 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากต้นทานตะวัน ที่ปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยไฮโดรไลซ์กาก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi..... 76

ภาพที่ หน้า

4.28 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi..... 78

4.29 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันกรณีฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่ออีกสามครั้ง กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน..... 79

4.30 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C..... 84

4.31 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C..... 84

4.32 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C..... 85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ทานตะวันเป็นพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกกันทั่วไปในเขตภาคกลางตอนบนและเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ให้น้ำมันสูงและสามารถเพาะปลูกได้สองครั้งในรอบปี เมื่อเกษตรกรได้ทำการเก็บเกี่ยวดอกทานตะวันเรียบร้อยแล้ววัสดุที่เหลือทิ้งคือต้นทานตะวัน ส่วนดอกทานตะวันเมื่อผ่านการเก็บเกี่ยวและกระบวนการคัดแยกเมล็ดออกแล้วจะเหลือฐานดอก ซึ่งในแต่ละปีต้นทานตะวันและฐานดอกทานตะวันนี้จะถูกปล่อยทิ้งให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติไม่ก่อให้เกิดคุณค่าทางเศรษฐกิจ จากความต้องการน้ำมันทานตะวันต่อปี 14,000-15,000 ตัน และประเทศไทยมีผลผลิตเฉลี่ย 180 กิโลกรัมต่อไร่ จากพื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งหมด 160,000 ไร่ ซึ่งผลผลิตซึ่งเป็นเมล็ดทานตะวันนี้ คิดเป็น 30% ของปริมาณต้นทานตะวันและฐานดอกทานตะวันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว ทำให้แต่ละปีมีปริมาณวัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวสูงถึง 20,000 ตันต่อปี

เส้นใยที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวันและต้นทานตะวันเป็นพอลิเมอร์กลุ่มเซลลูโลส (Cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) ในฐานดอกมีปริมาณเส้นใยเซลลูโลส 10-20% เฮมิเซลลูโลส 5-10% ลิกนิน 2-3% และในต้นทานตะวันมีปริมาณเซลลูโลส 30-40% เฮมิเซลลูโลส 10-20% ลิกนิน 10-15% เส้นใยของพืชซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สามารถถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ ได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลกาแลกโทส น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลฟรักโทส เป็นต้น

กระบวนการสลายโมเลกุลเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสามารถทำได้โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่าง ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม หรืออาจใช้การฉายรังสีที่มีปริมาณรังสีสูงๆ เพื่อสลายพันธะภายในโมเลกุล หรืออาจใช้รังสีเพื่อสลายโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลงก่อนแล้วจึงไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่างภายหลัง

ในกรณีที่ทำการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่าง นิยมใช้กรดหรือด่างที่มีความเข้มข้นสูงๆ เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ กรดหรือด่างที่มีความเข้มข้นสูง เมื่อใช้ในการไฮโดรไลซ์แล้ว กรดหรือด่างเหล่านั้นจะปนอยู่กับสารละลายน้ำตาลที่ได้ หากต้องนำน้ำตาลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการไปใช้ประโยชน์ต่อจำเป็นต้องสะเทินกรดหรือด่างให้เป็นกลางเสียก่อน กรดหรือด่างจึงถูกใช้หมดไป เป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนในการผลิต และการนำกรดหรือด่างกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก จำเป็นต้องมีกระบวนการแยกกรดหรือด่างออกจากสารละลายน้ำตาล ซึ่งต้องใช้ต้นทุนเพิ่มเติมอีกมาก และใน

กรณีที่มีการฉายรังสีปริมาณรังสีสูงๆ เพื่อสลายโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสนั้น ต้องใช้ต้นทุนในการผลิตมาก และแหล่งกำเนิดรังสีในประเทศไทยที่สามารถให้รังสีปริมาณรังสีสูงๆนั้น มีอยู่น้อย จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะจะนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวัน โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้นไม่เกิน 15% โดยมวลต่อปริมาตร) และใช้วิธีฉายรังสีที่ปริมาณรังสีไม่สูงมากนัก (ปริมาณรังสีไม่เกิน 700 kGy) ร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง และหาวิธีในการแยกกรดกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้วิธี Ion exclusion

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.หาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในฐานดอก และต้นทานตะวันให้เป็นน้ำตาล โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด และปริมาณรังสีที่ใช้

2.วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่ได้ด้วยวิธีทางเคมีและ/หรือใช้เครื่องมือวิเคราะห์

3.หาวิธีการแยกน้ำตาลออกจากสารละลายกรดกับน้ำตาลเพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.เตรียมตัวอย่างฐานดอก และต้นทานตะวัน โดยการนำมาบดให้ละเอียดและอบให้แห้ง

3.นำตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวันจากข้อ 2 ไปวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

4.หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด และปริมาณรังสีที่ใช้

5.วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่ได้

6.หาวิธีการแยกน้ำตาลออกจากสารละลายกรดกับน้ำตาล

7.วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

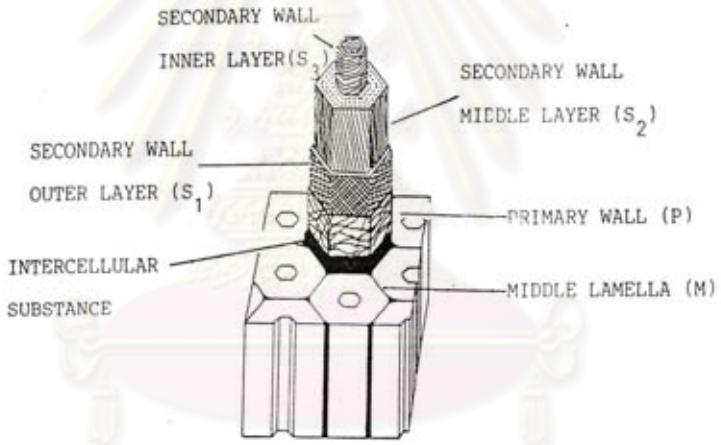
ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในฐานดอกและต้นทานตะวันซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร เพื่อผลิตเป็นน้ำตาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

พืชและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆจะมี เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) เซลลูโลส (Celluloses) และสารประกอบเพคติน (Pectic substances) เป็นองค์ประกอบอยู่มาก สารประกอบดังกล่าวมานี้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่พบมากในผนังเซลล์ (Cell wall) ของพืชในขณะที่พืชยังมีชีวิตและอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ไม่ถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ต่างๆเนื่องจากมีสารที่ยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ แต่หลังจากที่พืชตายหรือมีบาดแผลเกิดขึ้น สารยับยั้งจะถูกทำลายจึงทำให้โครงสร้างของพืชถูกย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ โครงสร้างผนังเซลล์พืช ทั้งไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) จะแบ่งออกเป็นชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง

ผนังเซลล์ของพืช แบ่งออกเป็นสามชั้น ดังนี้

ชั้น Primary wall (P) จะหนาประมาณ 0.1–0.2 μm ซึ่งประกอบด้วย Cellulose microfibril ที่มีการจัดเรียงตัวกันแบบสุ่ม (Random) และถูกห่อหุ้มไว้ด้วยร่างแหของ เฮมิเซลลูโลสและ Pectic substances

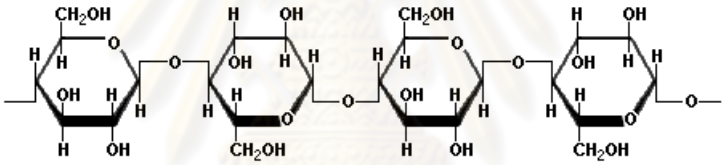
ชั้น Secondary wall (S) จะพบเฮมิเซลลูโลสกระจายอยู่ทั่วไป ชั้น S จะแบ่งย่อยออกเป็นชั้น S_1, S_2, และ S_3 ชั้น S_1 หนาประมาณ 0.1– 0.3 μm มีลักษณะเป็น Cellulose microfibril ที่มีการจัดเรียงตัวกันแบบ Cross hatch ในชั้น S_2 จะหนาประมาณ 1–5 μm ชั้นนี้เป็นชั้นที่ใหญ่ที่สุดในผนังเซลล์ของพืชและการเรียงตัวของ Cellulose microfibril จะเป็นระเบียบแบบเส้นขนาน

(Parallel) ส่วนชั้น S_3 จะหนาประมาณ 0.1 μm การจัดเรียงตัวของ Cellulose microfibril ในชั้นนี้เป็นแบบ Flat helix และพบลิกนินบ้างเล็กน้อย

ชั้น Middle lamella (M) จะเป็นชั้นที่เชื่อมต่อกันระหว่างเซลของผนังเซลล์พืชที่อยู่ติดกัน ชั้นนี้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยลิกนินและ Pectic substances

2.1.2 สารประกอบเซลลูโลส

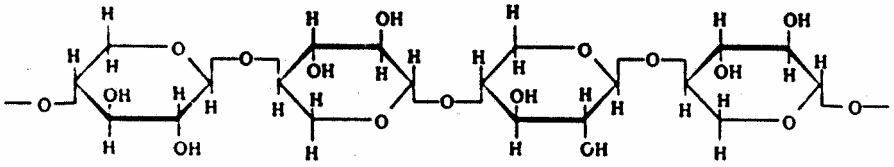
เซลลูโลส เป็นสารประกอบโพลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ชนิดหนึ่งที่พบในผนังเซลล์ของพืชโครงสร้างของโมเลกุลประกอบไปด้วยโมเลกุลของกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะแบบ β (1-4)-glucosidic bond แบบไม่มีกิ่งก้านสาขา เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ สารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายในกรดและด่างแก่ เมื่อย่อยสลายโดยสมบูรณ์จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียว แต่ถ้าย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะได้น้ำตาลเซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharides) หรืออาจจะได้โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) อื่นๆ โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.2



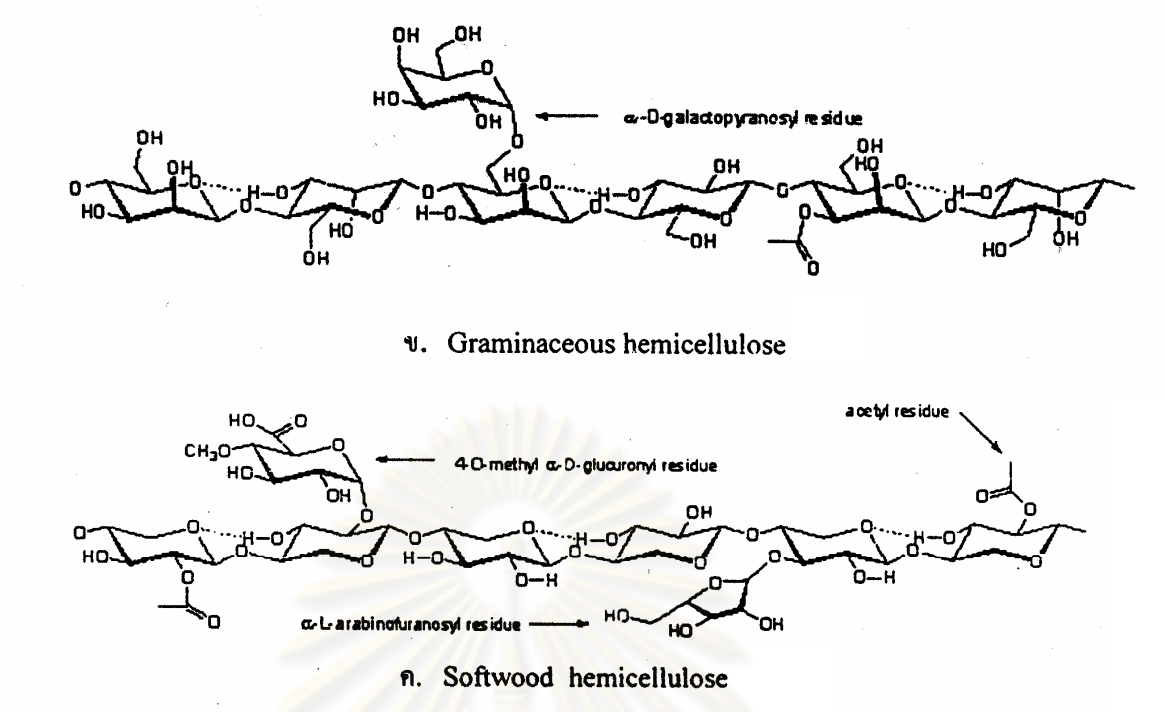
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

2.1.3 สารประกอบเฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพวก Amorphous polymeric carbohydrate พบมากในไม้เนื้อแข็งและพืชตระกูลหญ้า เฮมิเซลลูโลสละลายในสารละลายที่เป็นด่างหรือกรดเจือจาง โดยปกติจะพบอยู่กับเซลลูโลส ลิกนิน และ Pectic substance ในผนังเซลล์ของพืช โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.3

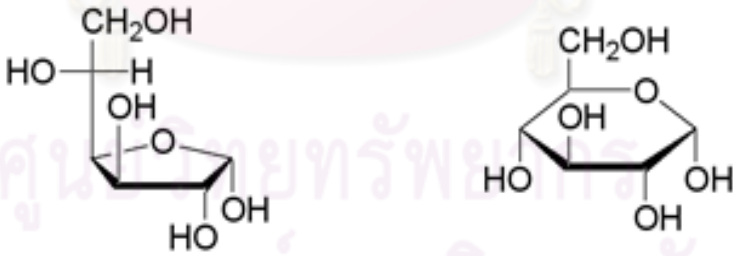


ก. hemicellulose



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ในลักษณะต่างๆ

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสมีลักษณะเป็น Heteroglycan ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดมาต่อกัน เช่น β-D-xylopyranose, □-L-arabofuranose, □-D-glucopyranose, □-D-galactopyranose, □-L-rhamnopyranose, และ □-L-fucopyranose น้ำตาลทั้งหมดจะมีลักษณะเป็น Pyranose form ยกเว้น Arabofuranose ที่มีลักษณะเป็น Furanose form ดังแสดงในรูปที่ 2.4

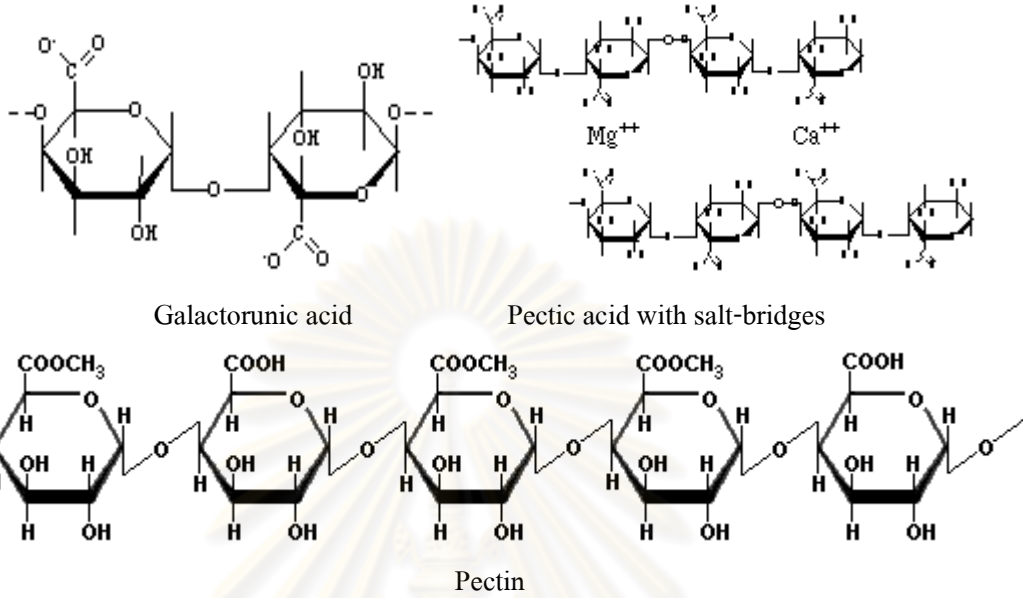


รูปที่ 2.4 furanose form และ pyranose form

2.1.4 สารประกอบ Pectic substance

Pectic substance เป็นสารประกอบพวก Heteropolysaccharides ที่มีน้ำหนักประมาณ 30,000-300,000 ดาลตัน ส่วนใหญ่อยู่ในชั้น Middle lamella ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ของผนังเซลล์ที่อยู่ติดกัน ปริมาณของ pectic substance มีผลต่อความแข็งและความเหนียวของเนื้อเยื่อพืช โครงสร้างหลักของ pectic substance จะเป็นพอลิเมอร์ของ Galactorunan chain เชื่อมกับ

L-rhamnopyronose ที่ตำแหน่ง C1 และ C2 galactorunan โดยทั่วไปสารพวก pectic substance จะมีอยู่ 2 รูป คือ อยู่ในรูปของ free carboxyl group (Pectic acid) และอยู่ในรูปที่ถูก Esterified โดยหมู่ methyl group (Pectin) แสดงดังรูปที่ 2.5



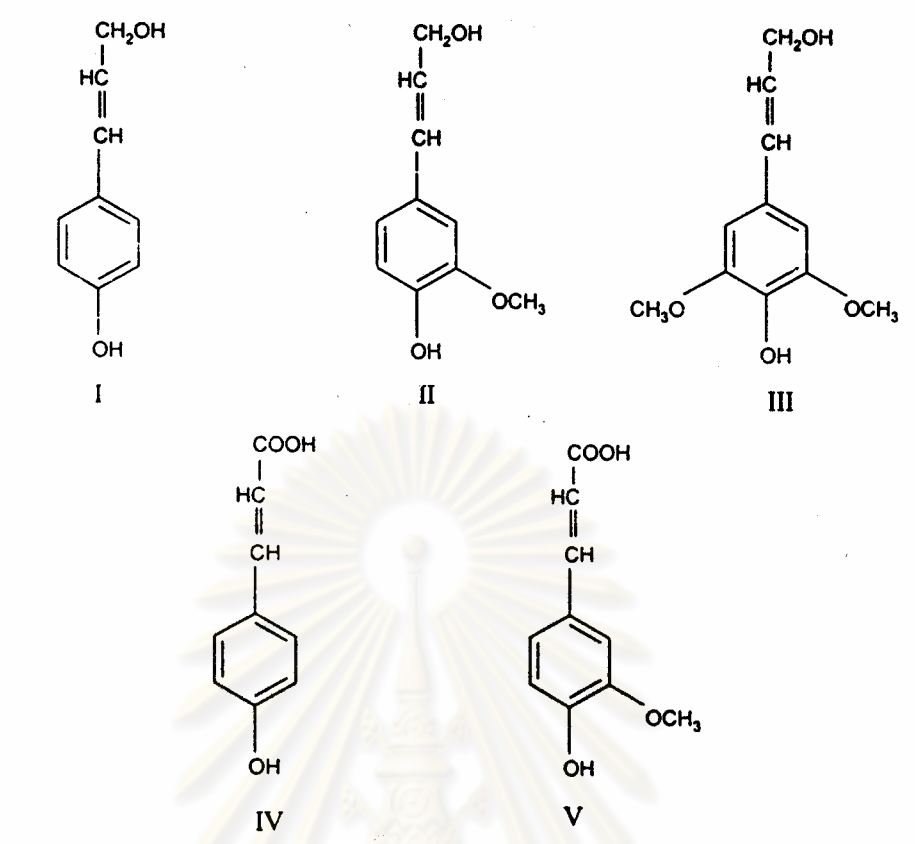
Galactorunic acid Pectic acid with salt-bridges

Pectin

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Pectic acid และ pectin

2.1.5 สารประกอบลิกนิน

ลิกนินไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่จะทำหน้าที่เคลือบผนังเซลล์พืช เป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) หรือเรียกว่าเป็น ฟีโนลิกพอลิเมอร์ (Phenolic polymer) โดยมีหน่วยฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane unit) เรียงต่อกันแบบสุ่ม (random) ที่หน่วยฟีนอล (phenol) อาจจะเป็น กัวอิเอซิล (guaiacyl) หรือไซรินกิล (syringyl) ดังแสดงในรูป ที่ตำแหน่ง α และ β ของโมเลกุลลิกนิน อาจเกิดการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุล หรือคาร์บอนในหน่วยฟีนอลอาจเกิดพันธะกับคาร์บอนในอีกหน่วยหนึ่งภายในสายพอลิเมอร์ที่ประกอบกันเป็นโมเลกุลลิกนิน ทำให้ลิกนินมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น ในเอทานอล (ethanol) หรือ เมทานอล (methanol) ที่ร้อน และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปกติลิกนินจะอยู่ในโครงสร้างของเซลล์พืชบริเวณรอบๆเซลลูโลส โดยเป็นตัวป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยอีกด้วย แสดงโครงสร้างโมเลกุลของลิกนินในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของลิกนิน

2.1.6 น้ำตาลรีดิวซ์

น้ำตาลรีดิวซ์ คือน้ำตาลที่สามารถถูกออกซิไดซ์กลายเป็น Carboxylic acids ได้แก่โมโนแซคคาไรด์ประเภทแอลดีไฮด์ (Aldehyde) เนื่องจากหมู่แอลดีไฮด์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ เช่น น้ำตาลกลูโคส ไซโลส อะราบิโนส และกาแลกโทส และไดแซคคาไรด์ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น แลคโทส มอลโทส และเซลโลไบโอส

สารที่นิยมใช้ทดสอบคุณสมบัติของน้ำตาลรีดิวซ์คือ สารละลายเบเนดิกต์ (Benedict's sulotion) และสารละลายเฟลลิ่ง (Fehling's solution) สารละลายทั้งสองชนิดนี้มีสภาพเป็นด่าง และมีสารออกซิไดซ์ในรูปของเกลือของทองแดง (Cu^{2+}, $CuSO_4$) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น หมู่แอลดีไฮด์ในน้ำตาลจะรีดิวซ์ Cu^{2+} ให้กลายเป็น Cu^{+} และทำให้เกิดตะกอนสีแดงอิฐขึ้นในสารละลาย

โมโนแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ (Reducing agent) คือ โมโนแซคคาไรด์ชนิดอัลโดส (Aldose) คือ สามารถให้อิเล็กตรอนได้เหมือนกับสารประกอบแอลดีไฮด์ทั่วไป โดยอัลโดสเมื่อละลายอยู่ในน้ำ สามารถเปลี่ยนรูปจากวงแหวนกลายเป็นโครงสร้างแบบอะลิฟาติก (Aliphatic) ซึ่งหมู่แอลดีไฮด์สามารถทำปฏิกิริยากับคอปเปอร์ไอออนได้

โมโนแซคคาไรด์ชนิดคีโตส (Ketose) สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์และสารละลายเฟลลิ่งได้ เนื่องจากสารละลายที่เป็นด่างสามารถเปลี่ยนรูปหมู่ฟังก์ชั่นคีโตนให้กลายเป็นแอลดีไฮด์โดยปฏิกิริยา Tautomerization ดังนั้นน้ำตาลคีโตส เช่น ฟรุกโทส จึงมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ด้วย

2.2 การไฮโดรไลซ์โมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2.2.1การไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมี (Chemical hydrolysis)

เป็นการย่อยด้วยสารละลายกรดหรือสารละลายด่าง ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการสลายพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่หนึ่ง กับออกซิเจน (oxygen) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาล กลูโคส (glucose) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ที่มีคาร์บอนหกอะตอม เรียกว่าน้ำตาลเฮกโซส (hexose) สมการแสดงดังรูปที่ 2.7

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6$$

เฮกโตแซน เฮกโซส

$$(C_5H_8O_4)_m + mH_2O \longrightarrow mC_5H_{10}O_5$$

เพนโตแซน เพนโตส

รูปที่ 2.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำตาลโดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวคะตะลิสต์

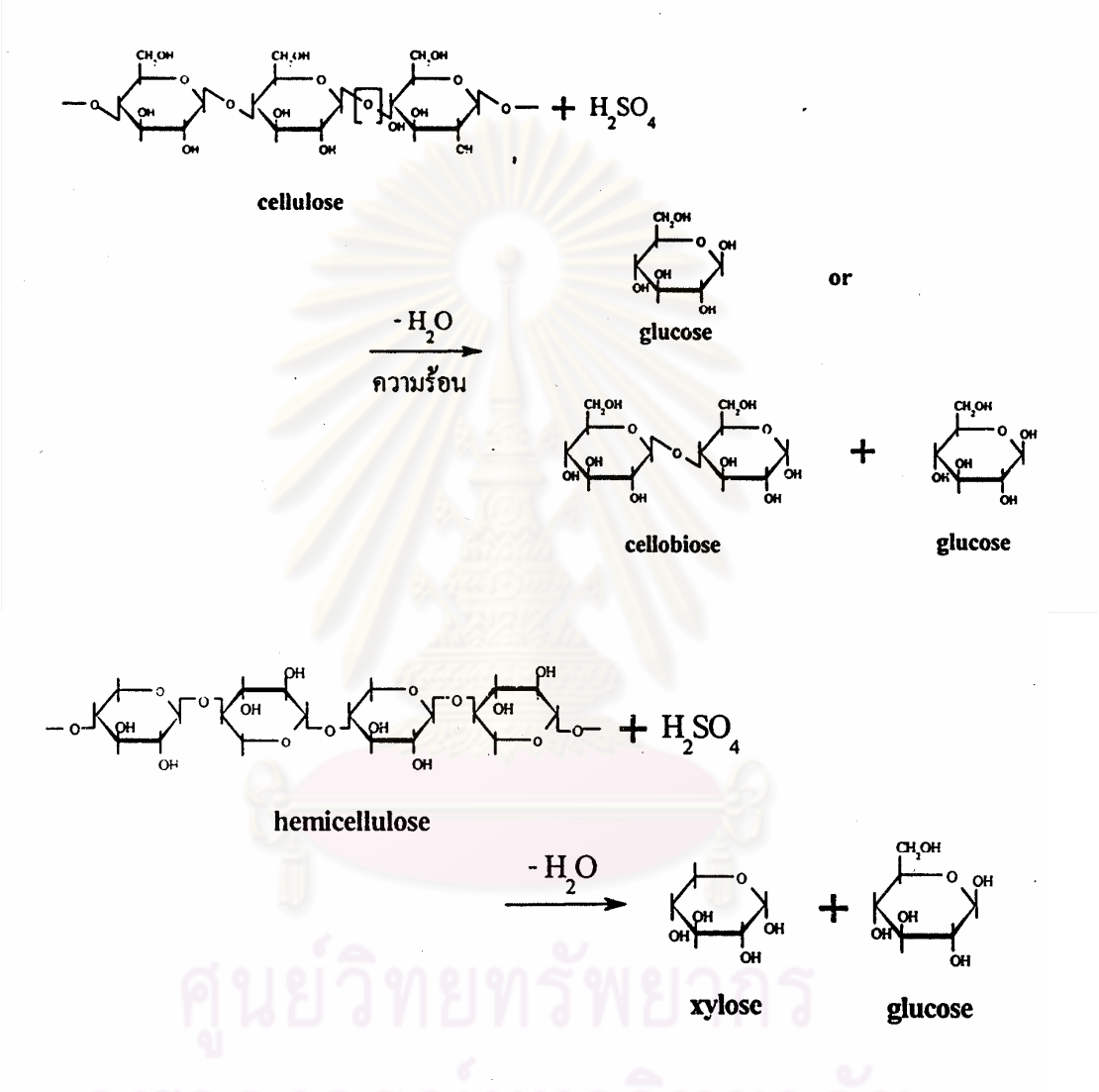
ถ้าเซลลูโลสถูกย่อยอย่างสมบูรณ์ จะให้น้ำตาลกลูโคสเพียงอย่างเดียว ถ้าการย่อยไม่สมบูรณ์จะได้ทั้งน้ำตาลกลูโคส เซลโลไบโอส (Cellobiose) และโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ปนกัน ส่วนเฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อย จะให้น้ำตาลเพนโทส (pentose) หลายชนิดปนกัน ขึ้นกับโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

การย่อยด้วยสารเคมีแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1. การย่อยด้วยกรด (Acid hydrolysis) แบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ

กระบวนการโฮโมจีเนียส (Homogeneous process) เป็นกระบวนการที่ใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือน้ำตาลกลูโคส

กระบวนการแบบเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous process) เป็นกระบวนการที่ใช้กรดอ่อนกว่าแต่ต้องใช้อุณหภูมิสูง กลไกแบบต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกลไกการย่อยโมเลกุลเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริก

2.2.1.1 การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจาง

กรด (HCl, H_2SO_4, CH_3COOH, หรือ HF) สามารถที่จะแตกตัวให้โปรตอนเพื่อมาสลายพันธะ heterocyclic ether ระหว่างน้ำตาลโมโนเมอร์ ในรูปของสาย polymeric ของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ในการสลายพันธะนี้ จะได้น้ำตาลไซโลส กลูโคส อะราบิโนส และสารอื่นๆเช่นโอลิโกเมอร์ (oligomer) เฟอร์ฟูรัล (furfural) และกรดอะซิติก (acetic acid) ในการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางเกือบทั้งหมดจะเกิดในเฮมิเซลลูโลส เนื่องจากพันธะของเฮมิเซลลูโลสสลายได้ง่ายกว่า

พันธะของเซลลูโลส กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ คือ เซลลูโลส และลิกนิน สามารถนำกากเหล่านี้ไปผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคส หรือนำน้ำตาลกลูโคสที่ได้ไปผลิตกรดแลกติก (lactic acid) หรือเอทานอล ส่วนสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในตัวอย่างสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารไซลิทอล (xylitol) หรือ single cell protein

ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ของน้ำตาลโพลิเมอร์ด้วยกรดเจือจาง ในตัวอย่างที่ใช้มีสถานะเป็นของแข็งและมีลักษณะเป็นผง และทำปฏิกิริยาในสถานะของเหลว มีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

1. โปรตอนจากกรดเข้าไปจับกับ lignocellulosic matrix
2. เกิดการให้โปรตอนของออกซิเจน จากพันธะ heterocyclic ether ระหว่างน้ำตาลโมโนเมอร์
3. เกิดการแตกของพันธะ ether
4. เกิด carbocation intermediate
5. carbocation ละลายในน้ำ
6. มีการสร้างโปรตอน เพิ่มขึ้นมาใหม่ พร้อมกับการเกิดน้ำตาลโมโนเมอร์ โอลิโกเมอร์ หรือโพลิเมอร์ ขึ้นกับตำแหน่งการแตกของพันธะ ether

2.2.1.2 การย่อยด้วยด่าง (Alkaline hydrolysis)

สารละลายที่นิยมใช้ คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง (NaOH) เอทิลีนไดอะมีน (ethylene diamine) และแอมโมเนีย (ammonia NH_3) เป็นต้น การใช้สารละลายด่างในการย่อย จะทำให้สายของพอลิแซคคาไรด์สั้นลง

2.3 เคมีรังสีของพอลิเมอร์

2.3.1 ผลเบื้องต้นที่เกิดในโพลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสี

โดยทั่วไปเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีโดยสสาร จะเกิดอันตระกิริยาขึ้นทั้งในนิวเคลียสและอิเล็กตรอนในวงโคจร แต่ถ้าพลังงานรังสีนั้นมีค่าต่ำกว่า 10 MeV แล้วอันตรกิริยาที่เกิดในนิวเคลียสจะมีน้อยมาก และมักไม่เกิดขึ้นโดยเฉพาะกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วยธาตุที่มีอะตอมขนาดเล็ก เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ เป็นต้น เมื่อรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรจะมีกระบวนการ 3 รูปแบบคือ ผลจากโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton's scattering) และการเกิดคู่ของอิเล็กตรอนที่มีประจุบวกและลบ (pair production) การจะเกิดรูปแบบใดมากน้อยต่างกันขึ้นกับพลังงานของรังสีนั้น และเลขอะตอม (ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในวงโคจร) ของตัวกลางที่รังสีผ่าน ในทุกๆรูปแบบที่เกิดจะได้อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ที่มาจากอะตอมของ

ตัวกลางนั้นเสมอ อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ได้จะมีพลังงานมากพอที่จะก่อให้โมเลกุลข้างเคียงเกิดเป็นไอออน อิเล็กตรอนและโมเลกุลในภาวะถูกกระตุ้น (excited molecule) ต่อไปได้ ในสารอินทรีย์ยังเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เหล่านี้ทั้งหมดจะเป็นอนุภาคหรือหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (active species) และชักนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปเป็นลูกโซ่จนกว่าจะรวมกันเองกลายเป็นโมเลกุลเดิม หรือโมเลกุลใหม่ที่สะเทิน

2.3.2 ผลของรังสีแกมมาต่อโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเซลลูโลสถูกกระตุ้นด้วยรังสีแกมมา เป็นไปดังแสดงในรูปที่ 2.9

$$\text{Cell—H} \xrightarrow{\gamma} \text{Cell}^{\cdot} + \text{H}^{\cdot}$$

$$\text{Cell}^{\cdot} + \text{Cell}^{\cdot} \xrightarrow{\Delta} \text{Cell—Cell}$$

$$\text{Cell}^{\cdot} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cell—O—O}^{\cdot}$$

$$\text{Cell}^{\cdot} + \text{Cell—O—O}^{\cdot} \xrightarrow{\Delta} \text{Cell—O—O—Cell}$$

$$\text{Cell—O—O}^{\cdot} + \text{Cell—H} \xrightarrow{\Delta} \text{Cell—O—OH} + \text{Cell}^{\cdot}$$

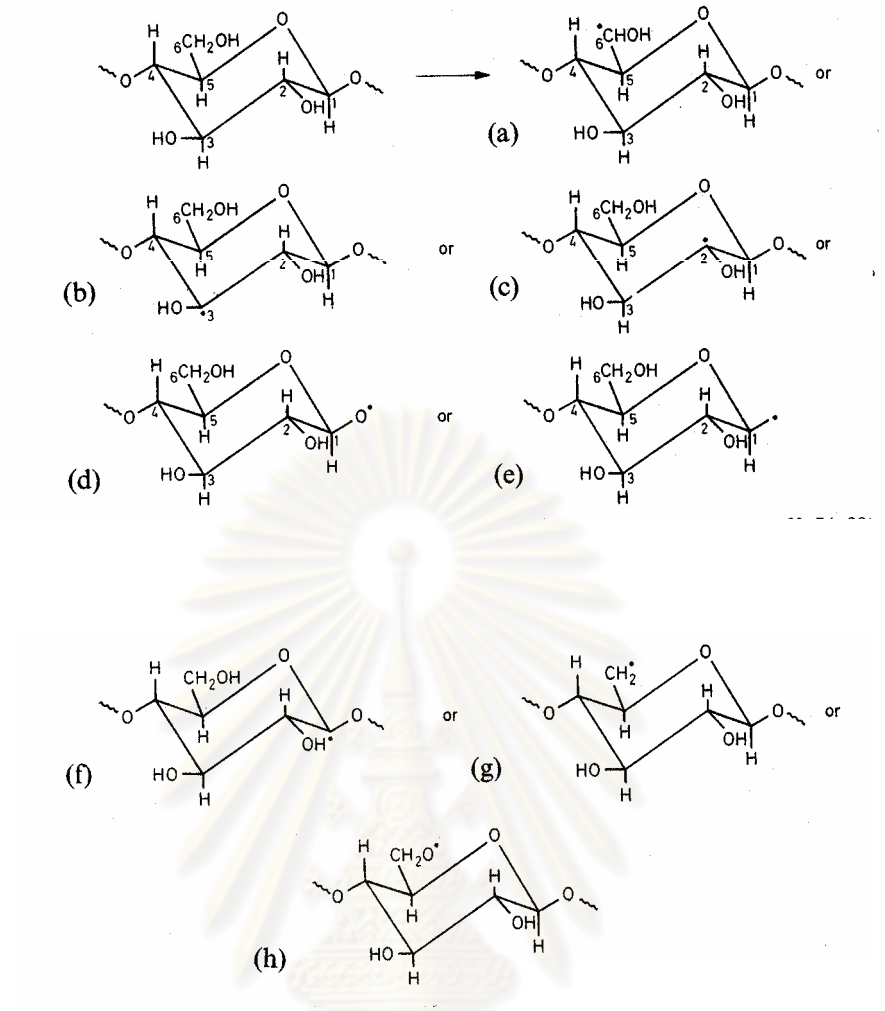
รูปที่ 2.9 แสดงกลไกการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสเมื่อถูกรังสี

เมื่อ Cell หมายถึง โมเลกุลของเซลลูโลส γ หมายถึง ฉายด้วยรังสีแกมมา และ Δ หมายถึง heating process

ในสมการปฏิกิริยาที่หนึ่ง เมื่อฉายรังสีแกมมา พันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนในโมเลกุลของเซลลูโลสจะแตกออกเกิดเป็นไฮโดรเจนแรดิคัล และเซลลูโลสแรดิคัล โมเลกุลของเซลลูโลสที่เกิดเป็นแรดิคัลนี้อาจจะรวมกันเองเกิดเป็นเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ภายใต้ภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน และอุณหภูมิของระบบสูง (มีการ Heating 26-60 ^{0}C) ในสมการปฏิกิริยาที่สอง

ในสมการปฏิกิริยาที่สาม ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน เซลลูโลสที่มีสภาพเป็นแรดิคัลอาจจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง ได้เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ของเซลลูโลส และเซลลูโลสที่มีสภาพเป็นแรดิคัล

เซลลูโลสที่มีสภาพเป็นแรดิคัลนี้ สามารถเกิดได้หลายชนิด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเซลลูโลสแรดิคัลแบบ (d) และ (e) เท่านั้นที่สามารถเกิดการตัดทอนโมเลกุลของเซลลูโลสได้

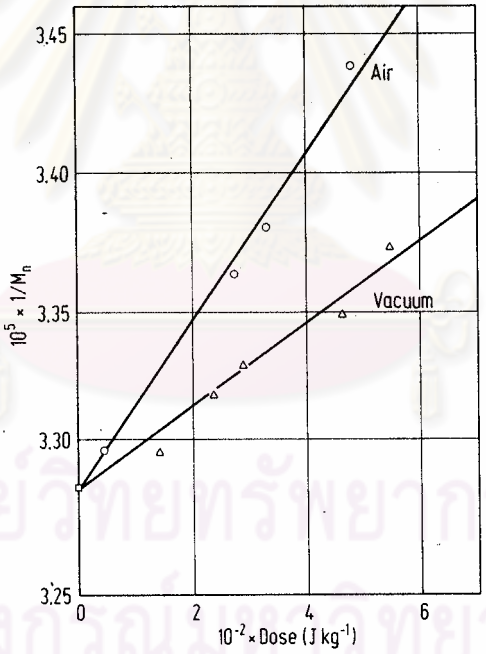
ชนิดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของเซลลูโลสถูกกระตุ้นโดยรังสี เป็นไปดังตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของเซลลูโลสถูกกระตุ้นด้วยรังสี

Dosage (roentgens)	Zero	1×10^5	1×10^6	5×10^6	1×10^7	5×10^7	1×10^8
Degree of polymerization	4400	3100	800	290	180	72	39
Carbonyl Groups (mmol/g)	0.00	0.01	0.06	0.29	0.58	1.92	3.04
Carboxyl Groups (mmol/g)	0.002	0.004	0.007	0.022	0.039	0.107	0.155
Water Solubility (%)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	4.5	9.7
Alkali Solubility (%)	0.8	1.5	4.0	15.8	30.1	61.4	74.4
Pressley Index (lb/mg)	7.61	7.78	7.12	5.86	4.31	—	—

เมื่อฉายรังสีแกมมา โมเลกุลของเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายไปบางส่วน เนื่องจากค่า G (Scission) ของเซลลูโลสมีค่าสูง (G(S) about 11) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G-value กับปริมาณรังสีแกมมาที่เซลลูโลสได้รับ เป็นไปดังรูปที่ 2.11



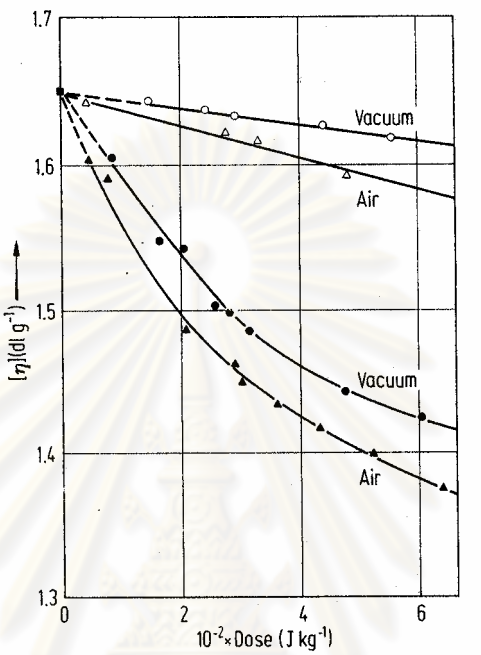
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับ กับค่า G (Scission) เมื่อฉายรังสีในสภาพมีอากาศและสภาพสุญญากาศ

ที่มา : Courtesy of John Wiley and Sons, Inc.

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า จำนวนโมเลกุลที่ถูกย่อยสลายมีจำนวนมากขึ้นเมื่อปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับมีค่าสูงขึ้น ค่า M_n หมายถึง น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลส ที่ถูกฉายรังสี ค่าความชัน

ของกราฟข้างต้นสามารถคำนวณหาค่า G (Scission) ของเซลลูโลสได้ดังนี้ ค่าความชันของกราฟ = $1.036\times10^{-6}\times$G (Scission)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของเซลลูโลส ทั้งในขณะที่มีการฉายรังสี และภายหลังเมื่อฉายรังสีไปแล้ว พิจารณาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับ และสัมประสิทธิ์ความหนืดของเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่เซลลูโลสได้รับ กับสัมประสิทธิ์ความหนืดของเซลลูโลส ซึ่งวัดทันทีที่ฉายรังสีแกมมาเสร็จสิ้น (กราฟจุดโปร่ง) และภายหลังที่ฉายรังสีไปแล้ว 21 วัน (กราฟจุดทึบ) ในสภาพที่มีอากาศและสุญญากาศ

ที่มา : Courtesy of John Wiley and Sons, Inc.

จากกราฟพบว่า แม้ภายหลังจากที่ฉายรังสีไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงบนโมเลกุลของเซลลูโลสยังคงเกิดขึ้น และทำให้สัมประสิทธิ์ความหนืดของเซลลูโลสลดลงอย่างต่อเนื่อง

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทานตะวัน

ทานตะวันเป็นพืชตระกูลเดียวกับ ดาวเรือง เบญจมาศ มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางด้านตะวันออกของแคนาดา อเมริกา และทางด้านตอนเหนือของเม็กซิโก ในตอนแรกที่เริ่มปลูกนั้นปลูกกันเพื่อเป็นไม้ประดับ ต่อมาได้นำเมล็ดมาขบเคี้ยวและสกัดน้ำมัน และมีการปลูกเป็นพืชไร่เพื่อสกัดน้ำมันโดยตรง ปัจจุบันมีหลายประเทศที่ปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ เช่น ทางด้านตอนเหนือของเทือกเขาคอเค

ซีส อาร์เจนตินา โรดิเซีย แอฟริกาใต้ เยอรมัน อุรุกวัย และปากีสถาน เป็นต้น ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ปลูกทานตะวันเพื่อบริโภคภายในประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2549, 2550)

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทานตะวัน

ทานตะวัน (Sunflowers) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า **Helianthus annuus, L.** อยู่ในตระกูล **Compositae** เป็นพืชฤดูเดียว รากเป็นระบบรากแก้วหยั่งลึกลงไป 150 ถึง 270 เซนติเมตร มีรากแขนงค่อนข้างแข็งแรงแผ่ขยายด้านข้างได้ยาวถึง 60 ถึง 150 เซนติเมตร เพื่อช่วยพยุงลำต้นและสามารถช่วยดูดซับความชื้นและอาหารที่ระดับผิวดินได้ดี ลำต้นส่วนใหญ่ไม่มีแขนงสูง 150 ถึง 180 เซนติเมตร ขนาดลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ถึง 4 เซนติเมตร ใบเป็นใบเดี่ยวเกิดตรงข้ามกันหลังจากที่มีใบเดี่ยวเกิดตรงข้ามอยู่ 5 คู่แล้ว ใบที่เกิดหลังจากนั้นจะมีลักษณะวน จำนวนใบบนต้นมีตั้งแต่ 8 ถึง 70 ใบ ก้านใบอยู่ในแนวตั้งจนกระทั่งใบมีความยาว 1 เซนติเมตร ปลายยอดจะค่อยๆโค้งลงจนใบแก่แล้วก็จะค่อยๆโค้งเป็นรูปตัวยู (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2537) ดอกเป็นรูปจานเกิดอยู่บนตายอดของลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางดอก 6 ถึง 37 เซนติเมตร ดอกมีลักษณะเป็นช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อย 700 ถึง 3000 ดอก เมล็ดประกอบด้วยเนื้อในซึ่งถูกห่อหุ้มไว้ด้วยเปลือกที่แข็ง เมื่อเมล็ดสุกแก่ส่วนของดอกที่อยู่เหนือรังไข่จะร่วง เมล็ดที่มีขนาดใหญ่จะอยู่วงรอบนอก ส่วนเมล็ดที่อยู่ข้างในใกล้ๆกึ่งกลางดอกจะเล็กลง (ศรีสุดา เตชะสาน และคณะ, 2537)

ทานตะวันเป็นพืชที่มีการปรับตัวเข้ากับเขตร้อนได้ดีพอสมควร ไม่ไวต่อแสง สามารถออกดอกให้ผลได้ทุกสภาพช่วงแสง ปลูกได้ในพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวโพด ข้าวฟ่าง เมื่อทานตะวันตั้งตัวได้แล้ว จะมีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งและร้อนได้พอสมควร และจะเริ่มเติบโตทันทีเมื่อมีฝน นอกจากนี้ทานตะวันยังมีความทนทานต่อสภาพอากาศเย็นจัดได้ดีกว่าข้าวโพด ข้าวฟ่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะต้นกล้า ทานตะวันขึ้นได้กับดินหลายประเภท แต่จะขึ้นได้ดีในสภาพดินที่มีผิวดินหนาและอุ้มความชื้นไว้ได้ดี สามารถทนต่อสภาพความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ตลอดจนสภาพดินเกลือและเป็นด่างจัดได้พอสมควร ซึ่งดินเหล่านี้จะมีอยู่จำนวนมากในเขตแห้งแล้งทั่วๆไป ทานตะวันชอบอากาศอบอุ่นในเวลากลางวันและอากาศเย็นในเวลากลางคืน อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ อยู่ระหว่าง 18-25 องศาเซลเซียส ดินมีความเป็นกรดเป็นด่าง 5.7-8 มีหน้าดินลึก อุ้มน้ำได้ดี ไม่ทนต่อน้ำขังและดินที่เป็นกรด หากดินที่ปลูกมีความชื้นต่ำ ผลผลิตของเมล็ดจะต่ำลงมาก

2.4.2 ประโยชน์ของทานตะวัน

เมล็ด ใช้บริโภคโดยตรง เป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ได้ ในเมล็ดมีธาตุเหล็กสูงเท่าเทียมกับธาตุเหล็กจากไข่แดงและตับสัตว์ เมื่อบดทำแป้งจะได้แป้งสีขาว มีไขมันสูง มีโปรตีนมากกว่า 50% ของปริมาณแป้ง

เปลือกของลำต้น มีลักษณะเหมือนเยื่อไม้ นำมาทำกระดาษสีขาวได้คุณภาพดี ลำต้นใช้ทำเชื้อเพลิงได้ เมื่อไถกลบจะเป็นปุ๋ยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ดี

ราก ใช้ทำแป้งเค้ก สปาเก็ตตี้ ในรากมีวิตามินบี 1 และธาตุอีกหลายชนิด แพทย์แนะนำให้ใช้รากทานตะวันประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

น้ำมัน เมล็ดทานตะวันมีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35% เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิค ลิโนเลนิค สูงถึง 60-70% ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดคลอเลสเตอรอลที่เป็นสาเหตุของโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ และยังประกอบด้วยวิตามินเอ ดี อีและ เค ซึ่งคุณภาพของวิตามินอีจะสูงกว่าในน้ำมันพืชอื่นๆ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะไม่เกิดกลิ่นหืน และรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากใช้เป็นน้ำมันพืชแล้วยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำเนยเทียม สี น้ำมันชักเงา สบู่ และน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

กาก การเมล็ดทานตะวันที่กะเทาะเปลือกและบีบน้ำมันออกแล้ว มีโปรตีนประมาณ 42% ใช้เป็นแหล่งแคลเซียมสำหรับปศุสัตว์ได้ดี แต่จะมีปริมาณกรดอะมิโนอยู่เล็กน้อย และขาดไลซีน จึงต้องใช้อย่างรอบคอบ เมื่อจะนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ที่มิใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง

ส่วนต้นทานตะวันและฐานดอกทานตะวันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว มีงานวิจัยที่แยกสกัดองค์ประกอบที่อยู่ในต้นทานตะวันและฐานดอกทานตะวันได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของต้นทานตะวันที่ได้จากการแยกสกัดด้วยวิธี Hydrothermal treatments and ethanol pulping.

Component	Sunflower stalks	Solid fraction by hydrothermal treatments
Glucan	33.8	43.4
Xylan	23.9	12.9
Araban	0.37	0.05
Acetyl groups	4.3	3.10
Lignin	19.9	25.5

ที่มา : Caparos, S., Ariza, J., Lopez, F., Nacimiento, J.A., Garrote, G., and Jimenez, L. Hydrothermal treatment and ethanol pulping of sunflower stalks, Bioresource Technology 99 (2008), 1368-1372.

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของฐานดอกทานตะวันที่ได้จากการแยกสกัดด้วยด้วยตัวทำละลาย Ammonium oxalate-oxalic acid

Compositions	Percent
Lignin	12.3%
Pectin	27.5%
Alkaline-soluble polysaccharide	8.2%
Alpha-cellulose	52.0%

ที่มา : Bishop, C.T. carbohydrate of sunflower heads, Canadian Journal of Chemistry (1955),Vol. 33., 1521-1529.

จากตารางด้านบน ส่วนประกอบของพอลิแซคคาไรด์ที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยมวลต่อปริมาตร มีส่วนประกอบของ Neutral sugars ดังนี้ D-xylose 59.3%, D-glucose 23.5%, D-galactose 16.2%, and trace of Arabinose and Rhamnose และ Aldobiouronic acid

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชมพูนุช หาญนันทวิวัฒน์ (2004) ทำการวิจัยเรื่อง การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟิวริก เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แก่ ชานอ้อย เปลือกทุเรียนและฟางข้าวไปฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก และวิเคราะห์หาค่า NDF ADF และ ADL เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นน้ำตาล ผลการวิจัยพบว่า การฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟิวริกมีสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ 3% กรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 120 ^{0}C และใช้ระยะเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากชานอ้อย เปลือกทุเรียน และฟางข้าวคือ 53.73%, 47.83%, 49.83% ตามลำดับ การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 100 kGy ร่วมกับการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดที่ 3% กรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 120 ^{0}C และใช้ระยะเวลา 30 นาที พบว่าตัวอย่างชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2% เปลือกทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ส่วนฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ที่ 75 kGy
2. Casas, L., Mantell, C., Rodriguez, M., Torres, A., Macias, F.A., and Martinez de la Ossa, E. (2007) ทำการวิจัยเรื่อง Extraction of natural compounds with biological activity from sunflower leaves using supercritical carbon dioxide เป็นงานวิจัยที่ใช้สภาวะ supercritical carbon dioxide ในการสกัดแยกสารประกอบชีวโมเลกุลออกมาจากใบของทานตะวัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การ pretreatment ตัวอย่างทดลอง การใช้ภาวะอุณหภูมิและความดันในการทดลอง อุณหภูมิที่ใช้คือ 35 ^{0}C, 40 ^{0}C, 45 ^{0}C และ 50 ^{0}C และความดัน 100, 200, 300, 400 และ 500 bar ได้ extraction yield สูงสุดที่การอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C และความดัน 500 bar
3. Chang, K.C., Dhurandha, N., You, X., and Miyamoto, A. (2007) ทำการวิจัยเรื่อง Sunflower Head Residue Pectin Extraction As Affected by Physical Conditions งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดเพกทินออกจากฐานดอกทานตะวัน ด้วยกรรมวิธีทางฟิสิคัล โดยใช้ตัวแปรต้นคือ ค่า pH อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดแยกเพกทินออกจากยอดทานตะวัน เมทอกซิล เพกทิน (Methoxyl Pectin) สามารถสกัดออกมาได้โดยการใช้ 0.75% Sodium Hexametaphosphate ที่ค่า pH 3, 4 และ 5 และอุณหภูมิ 75 ^{0}C, 85 ^{0}C 95 ^{0}C ในช่วงเวลาการสกัด 20, 40 และ 60 นาที และทำการวิเคราะห์ yield ที่เกิดขึ้น ค่ามวลโมเลกุล และสภาพการเกิดเป็นเจลของเพกทิน ได้ค่า yield สูงสุดที่ pH 5, 95 ^{0}C ใช้เวลา 20 นาที และ pH 4, 85 ^{0}C ใช้เวลา 40 นาที เพกทินที่สกัดได้เมื่อใช้เวลา 40 นาที ที่ pH 3, 4 อุณหภูมิ 85 ^{0}C และ 75 ^{0}C จะมีค่ามวลโมเลกุลสูงสุด เพกทินที่ได้จากฐานดอกทานตะวันที่ค่า pH 5.4 มีค่าสภาพความเป็นเจล (Gel firmness) สูงกว่า commercial citrus pectin

4. Rebecga, A., Silverstein, Ye chen, Ratna, R., Sharma-Shivappa, Michael, D., Boyette, Jason Osborne ทำการวิจัยเรื่อง A Comparison of Pretreatment Method for improving Saccharification of Cotton Stalks (2007) เป็นการศึกษากระบวนการทางเคมีที่นำมาใช้ในการ pretreatment ต้นฝ้ายที่เป็นป่นเป็นผง ก่อนที่นำไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยเอนไซม์ Celluclast 1.5 L และ Novozym 188 ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยใช้รีเอเจนต์ต่างๆกัน คือ กรดซัลฟูริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโอโซน โดยใช้ฝ้ายที่ป่นเป็นผงเป็นตัวอย่างในการทดลอง ผลการทดลองพบว่า การใช้กรดซัลฟูริก ทำให้ xylan ลดลงมากที่สุด (95.23% , 2% acid, 90 min., 121 ^{0}C, 15 psi) แต่เซลลูโลสเปลี่ยนเป็นกลูโคสน้อยที่สุด (23.85%) การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถแยกลิกนินออกมาได้มากที่สุด (65.63%, 2% NaOH, 90 min., 121 ^{0}C, 15 psi) และแยกสกัดเซลลูโลสได้ 60.8% การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แยกสกัดลิกนินได้น้อยมาก (maximum of 29.51%, 2% reagent, 30 min, 121 ^{0}C, 15 psi) และแยกเซลลูโลสได้ 49.8% น้อยกว่าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่สามารถเปลี่ยนเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคสได้ดีกว่าใช้กรดซัลฟิวริก การใช้รีเอเจนต์เป็นโอโซนแทบไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ

5. Foldvary , Cs.M., Takacs, E., and Wojnarovits, L. ทำการวิจัยเรื่อง Effect of high-energy radiation and alkaline treatment on the properties of cellulose (2007) งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกสลายพันธะของเซลลูโลสโดยการใช้รังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายด่าง โดยใช้ตัวอย่างเป็นผงเซลลูโลสขนาด MN 300 นำไปฉายรังสีด้วย Co-60 ที่ปริมาณรังสี 500-1500 kGy (dose rate 10 kGy/h) วิเคราะห์มวลของตัวอย่างก่อนและภายหลังการฉายรังสี หลังจากนั้นนำไปไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 mol/dm^3 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที สะเทินสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติกและนำไปวิเคราะห์ค่า absorption spectra ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer (JASCO V 550) ที่ความยาวคลื่น 200-700 นาโนเมตร และใช้ตัวอย่างอีกชนิดหนึ่งคือ เส้นใยฝ้ายที่มีความหนาแน่น 163 g/m^2 (Test fabric, Inc., USA-405W) ล้างด้วยสารละลายอะซิติก 1% ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องและนำไปผึ่งให้แห้ง นำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 100 kGy และนำไปไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.75 mol/dm^3 ในอัตราส่วนปริมาณเซลลูโลสต่อสารละลายด่างเป็น 1:100 สะเทินสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติกแล้วนำไปวิเคราะห์ค่า absorption spectra ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer (JASCO V 550) ที่ความยาวคลื่น 200-700 นาโนเมตร ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่เป็นผงเซลลูโลสมีค่าน้ำหนักที่สูญไป (% loss of mass) มีค่า 0.7% ที่ปริมาณรังสี 100 kGy และมีค่ามากกว่า 8% ที่ปริมาณรังสี 1500 kGy เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เป็นเส้น

ใยฝ้ายที่ไม่ได้ฉายรังสีเพียงแต่ไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าน้ำหนักที่สูญไปลดลงเพียง 1% ในขณะที่ตัวอย่างเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการ pretreatment ด้วยรังสีจะมีค่าน้ำหนักลดลงถึง 21-22% และถ้าใช้สารละลายเททระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวไฮโดรไลซ์จะมีค่าน้ำหนักที่สูญไปลดลงมากกว่าใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวไฮโดรไลซ์ และวิเคราะห์ค่า absorption spectra พบว่า ตัวอย่างที่เป็นเส้นใยฝ้ายเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 100 kGy ถ้าไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายเททระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จะมีค่า absorption spectra สูงกว่าการไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงว่าสารละลายเททระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ สามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระหรือไอออนแยกตัวออกมาจากพอลิเมอร์เซลลูโลสได้ดีกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

6. Gorgia Spigno, Tiziana Pizzorno, and Dante Marco De Farveri ทำการวิจัยเรื่อง Cellulose and hemicelluloses recovery from grape stalks (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสออกจากต้นองุ่นด้วยสารละลายกรด และสารละลายด่าง โดยทำการทดลองแบ่งเป็น 3 กรรมวิธี วิธีแรกคือ Acid-alkaline/oxidative method (AAO) โดยเริ่มต้นจากการนำตัวอย่างที่เป็นผงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร หนัก 5 กรัม มาไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2% โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90 ^{0}C เป็นเวลา 2, 7, 15 และ 24 ชั่วโมง และกวนสารละลายตลอดเวลา หลังจากนั้นทำให้ตกตะกอน ส่วนที่เป็นของเหลวจะมีเฮมิเซลลูโลสอยู่ นำส่วนที่เป็นตะกอนล้างด้วยน้ำกลั่นและสะเทินให้เป็นกลาง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C นำไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1% โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 26 ^{0}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปจนมีความเข้มข้นใกล้เคียง 0.3% โดยมวลต่อปริมาตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนที่เหลือเป็นตะกอนล้างด้วยน้ำและสารละลายกรดอะซิติก อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส วิธีที่ 2 คือ Alkaline-acid method (AA)นำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.9 mol/dm^3 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2, 7, 15 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26 ^{0}C ส่วนที่เป็นลิกนินจะตกตะกอนภายหลังการ centrifugation จากนั้นนำตะกอนไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์มัลลิตี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ในระบบรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นสะเทินให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C วิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส วิธีที่ 3 คือ Autoclave method นำตัวอย่างมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเหมือนวิธีที่ 1 แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการ treatment เป็นอุณหภูมิ 110 ^{0}C,

121 ^{0}C และ 130 ^{0}C ผลการทดลองพบว่า วิธี Autoclave ที่อุณหภูมิ 130 ^{0}C ให้ sugar content ในเฮมิเซลลูโลสเป็น 39.67-43.46% total fraction ของเฮมิเซลลูโลสเป็น 39.02-41.12% สูงที่สุดในจำนวน 3 วิธี และที่อุณหภูมิ 110 ^{0}C ให้ cellulose content ในเซลลูโลสเป็น 26.34-26.24% total fraction ของเซลลูโลสเป็น 76.18-73.10% สูงที่สุดในจำนวน 3 วิธี

7. Minoru Kumakura & Isao Kaetsu ทำการวิจัยเรื่อง Pretreatment by radiation and acid of chaff and its effect on enzymatic hydrolysis of cellulose (1984) ในงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสในฟางข้าว ผลการทดลองพบว่า % yield ของกลูโคสที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์แล้ว สูงกว่า 90% ถ้า pretreatment ด้วยการฉายรังสี 20 Mrad จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน 2 MeV 5 mA. และไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้น 0.5% ที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

8. Toth, T., Borsa, J., and Takacs, E. ทำการวิจัยเรื่อง Effect of preswelling on radiation degradation of cotton cellulose (2003) ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของการทำ preswelling cotton cellulose ก่อนที่จะนำไปฉายรังสี ด้วยกรรมวิธีดังต่อไปนี้ swelling ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 1-6 M ในชุดที่หนึ่งและ Tetramethylammonium hydroxide (TMAH) เข้มข้น 1-3 M ในชุดที่สอง เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเท่ากัน หลังจากนั้นทำการ Neutralized และอบให้แห้ง (เหลือความชื้น 8-10%) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปฉายรังสีด้วยรังสีแกมมาจาก Co-60 3, 10 และ 20 kGy พบว่า เมื่อใช้ dose ต่ำๆ และทำการ swelling ก่อนฉายรังสี จะทำให้ degree of polymerization เพิ่มขึ้น และ number of cleavages/10000 monomer units มีค่าลดลง ภายหลังการทำ preswelling ที่เป็นดังนี้วิเคราะห์ได้ว่า การทำ swelling ทำให้ cross linking เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลที่ถูกตัดสั้นลงสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น พบว่าผลของการ swelling ด้วย TMAH ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญมากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. สารเคมีที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวัน ได้แก่

- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4, A.R., percent assay เท่ากับ 100)

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยในฐานดอกและต้นทานตะวัน ได้แก่

- โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate, USP.)
- ไดโซเดียมเอทธิลีนไดอะมีนเตตระอะซิเตท (E.D.T.A.) ไดไฮเดรต (cryatal, reagent grade)
- โซเดียมบอเรท ($Na_2B_4O_7.10H_2O$, reagent grade)
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4, anhydrous, reagent grade)
- 2-เอทธอกซี่ เอทานอล (2-Ethoxyethanol, purified grade)
- ซิติลไตรเมทธิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyl trimethyl ammoniumbromide)
- อะซิโตน (C_3H_6O)

3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในฐานดอกและต้นทานตะวัน ด้วยวิธี ASTM Standard D5896-96 (Book of standard vol. 06.03., 2007) ได้แก่

-สารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$)
-สารมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโทส ($C_6H_{12}O_6$)
-สารมาตรฐานน้ำตาลอะราบิโนส ($C_5H_{10}O_5$)
-สารมาตรฐานน้ำตาลไซโลส ($C_6H_{10}O_5$)
-สารมาตรฐานน้ำตาลกาแลกโทส ($C_6H_{12}O_6$)
-สารมาตรฐานน้ำตาลแมนโนส ($C_6H_{12}O_6$)
-แคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($CaHCO_3$)

4. สารเคมีที่ใช้ในการ Neutralize กรดซัลฟิวริก ได้แก่

- แบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2.8H_2O$, Reagent Grade)

5. สารเคมีที่ใช้ในการไทเทรตกรดซัลฟิวริก ได้แก่

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, A.R. Grade)
- โบรโมไทมอลบลู อินดิเคเตอร์

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

- ฐานดอกทานตะวัน (*Helianthus annuus., L.*) (คมสัน อำนวยสิทธิ์ และคณะ, 2547)
- ต้นทานตะวัน (*Helianthus annuus., L.*)

2. วัสดุที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวัน

-ขวดสำหรับ Autoclave

3. วัสดุที่ใช้ในการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยวิธี Ion exclusion

- Cation resin (DOWEX, 1X8-200, Batch# 04928KE, SIGMA-ALDRICH Co.Ltd.)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวัน

- เครื่อง Autoclave ของ Tomy รุ่น SS-325 และ Hirayama รุ่น HV-28
- Water bath ของ Toledo รุ่น TW20
- เครื่อง Centrifuge ของ Rotofix 32 A (Hettich zentrifugen)

-เครื่องอบแห้ง (Oven) ของ Heracus electronic

-เครื่องบด ของ Otto problender

2. อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดปริมาณน้ำตาล

- Refractometer แบบ manual ของ Atago รุ่น Master-M
- เครื่อง HPLC column Lichrochart NH2 250×4mm.

3. อุปกรณ์สำหรับแยกน้ำตาลออกจากกรด ด้วยวิธี Ion exclusion

-Chamber ควบคุมอุณหภูมิ (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค.)

4. เครื่องให้กำเนิดรังสีแกมมา

-เครื่องให้กำเนิดรังสีแกมมา Co-60 Source BSV-06 Irradiation rate 0.33 kGy/hr

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำต้นทานตะวันและฐานดอกทานตะวันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว มาตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำมาตัดเป็นท่อนเล็กๆ และบดให้ละเอียด ให้ได้ Particle size ระหว่าง 710 □m. และ 300 □m. จากนั้นอบในตู้อบแห้ง (Oven) ที่อุณหภูมิ 105^0C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้ตัวอย่างฐานดอก

และต้นทานตะวันที่พร้อมนำไปทดลอง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในโถอบแห้ง (Desiccators) เพื่อป้องกันความชื้น

การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยในตัวอย่าง

แบ่งตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวันมาวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย ด้วยวิธีของ Van Soest (Van Soest, P.J., 1963) (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดในตัวอย่าง

แบ่งตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวันมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด ด้วยวิธีของ ASTM Standard (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.)

ขั้นตอนการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

การทดลองตอนที่ 2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

การทดลองตอนที่ 3 การแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยวิธี Ion exclusion (Neuman, R.P., Rudge, S.R., and Ladisch, M.R., 1986)

การทดลองตอนที่ 1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ อุณหภูมิที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม และหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ ปริมาณรังสีที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

1.1.1 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 14 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 12% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ ด้วย water bath เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับ

กรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายของน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก แล้ววัดค่า %Brix ด้วย Refractometer

1.1.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 1.1.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 นาที ตามลำดับ

1.1.3 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 1.1.1 และ 1.1.2 แต่เปลี่ยนไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ด้วยเครื่อง Autoclave ที่ความดัน 15 psi

1.1.4 เปรียบเทียบ %Brix ที่ได้ ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

1.2 หาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสม ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน

1.2.1 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้มาจากขั้นตอนที่ 1.1 เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับกรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายของน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเครื่อง HPLC

1.2.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 1.2.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

1.2.3 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณน้ำตาลที่ได้ ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆกัน เพื่อหาความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

1.3 หาช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่เหมาะสม โดยใช้วิธีวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็น %Brix ด้วย Refractometer

1.3.1 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวัน ใส่ลงในถุงซิป ถุงละ 500 กรัม จำนวน 7 ถุง แต่ละถุงบรรจุลงในกล่องกระดาษขนาดพอดีกับตัวอย่าง ปิดผนึกให้มิดชิด

1.3.2 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่บรรจุกล่องเรียบร้อยแล้วไปฉายรังสีแกมมา ด้วยเครื่องให้กำเนิดรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสีต่างๆ กล่องละ Dose ได้แก่ 100, 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy

1.3.3 เมื่ออาบรังสีแกมมาได้ปริมาณรังสีตามที่กำหนด จึงนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีแล้วไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.3.3.1 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีครบ 100 kGy มาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้มาจากการทดลองตอนที่ 1.1 เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับกรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก จากนั้นวัด % Brix ของสารละลายด้วย refractometer

1.3.3.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 1.3.3.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

1.3.3.3 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 1.3.3.1 และ 1.3.3.2 แต่เปลี่ยนตัวอย่างเป็น ตัวอย่างฐานดอกทานตะวัน ที่ฉายรังสีครบปริมาณรังสี 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy ตามลำดับ

1.3.3.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ กับปริมาณรังสีที่ได้รับในแต่ละตัวอย่าง จากนั้นเลือกช่วงปริมาณรังสีที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลออกมามากที่สุด จะได้ช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสม เมื่อได้ช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสมแล้ว จึงพิจารณาหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม

1.4 หาปริมาณรังสีที่เหมาะสม ร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC

จากข้อ 1.4 นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสีที่เหมาะสม แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม และระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC

การทดลองตอนที่ 2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ อุณหภูมิที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม และหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ ปริมาณรังสีที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

2.1.1 นำตัวอย่างต้นทานตะวันตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 14 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 12% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ด้วย water bath เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับกรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายของน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก แล้ววัดค่า %Brix ด้วย Refractometer

2.1.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 2.1.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 นาที ตามลำดับ

2.1.3 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 2.1.1 และ 2.1.2 แต่เปลี่ยนไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ด้วยเครื่อง Autoclave ที่ความดัน 15 psi

2.1.4 เปรียบเทียบ %Brix ที่ได้ ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

2.2 หาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสม ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน

2.2.1 นำตัวอย่างต้นทานตะวันตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้มาจากขั้นตอนที่ 2.1 เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับกรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายของน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเครื่อง HPLC

2.2.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 2.2.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

2.2.3 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณน้ำตาลที่ได้ ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆกัน เพื่อหาความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

2.3 หาช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่เหมาะสม โดยใช้วิธีวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็น %Brix ด้วย Refractometer

2.3.1 นำตัวอย่างต้นทานตะวัน ใส่ลงในถุงซิป ถุงละ 500 กรัม จำนวน 7 ถุง แต่ละถุงบรรจุลงในกล่องกระดาษขนาดพอดีกับตัวอย่าง ปิดผนึกให้มิดชิด

2.3.2 นำตัวอย่างต้นทานตะวันที่บรรจุกล่องเรียบร้อยแล้วไปฉายรังสีแกมมา ด้วยเครื่องให้กำเนิดรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสีต่างๆ กล่องละ Dose ได้แก่ 100, 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy

2.3.3 เมื่ออาบรังสีแกมมาได้ปริมาณรังสีตามที่กำหนด จึงนำตัวอย่างต้นทานตะวันที่ฉายรังสีแล้วไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.3.3.1 นำตัวอย่างต้นทานตะวันที่ฉายรังสีครบ 100 kGy มาชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุลงในขวดสำหรับ Autoclave จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% ความเข้มข้นละ 2 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้มาจากการทดลองตอนที่ 1 เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายของน้ำตาลที่ปนอยู่กับกรด และกากที่เหลือ กรองสารละลายน้ำตาลออกจากกาก แล้วสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) กรองตะกอนออก จากนั้นวัด % Brix ของสารละลายด้วย refractometer

2.3.3.2 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 2.3.3.1 แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์เป็น 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

2.3.3.3 ทำซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 2.3.3.1 และ 2.3.3.2 แต่เปลี่ยนตัวอย่างเป็น ตัวอย่างต้นทานตะวัน ที่ฉายรังสีครบปริมาณรังสี 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy ตามลำดับ

2.3.3.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ กับปริมาณรังสีที่ได้รับในแต่ละตัวอย่าง จากนั้นเลือกช่วงปริมาณรังสีที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลออกมามากที่สุด จะได้ช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสม เมื่อได้ช่วงของปริมาณรังสีที่เหมาะสมแล้ว จึงพิจารณาหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม

2.4 หาปริมาณรังสีที่เหมาะสม ร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยใช้เครื่อง HPLC

จากขั้นตอนที่ 2.3 นำตัวอย่างต้นทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสีที่เหมาะสม แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม และระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC

การทดลองตอนที่ 3 แยกน้ำตาลออกจากสารละลายกรดด้วยวิธี Ion exclusion การทดลองตอนที่ 3 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาเงื่อนไขของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกน้ำตาลออกจากกรด และหา % recovery ของน้ำตาลและกรดที่ถูกแยกได้ด้วยเรซิน โดยทำการทดลองดังนี้

3.1 การเตรียมสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก

สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมขึ้นนี้ สำหรับใช้เป็นแบบจำลองในการแยกน้ำตาลออกจากกรด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จริง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A สำหรับใช้ในการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกน้ำตาลออกจากกรด และใช้ในการทดลองหา % Recovery ของกรดซัลฟิวริกที่ถูกแยกได้ มีวิธีการเตรียมดังนี้

-ละลายน้ำตาลกลูโคส 20.00 กรัม ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนน้ำตาลละลายหมด จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ลงไปจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้*สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A* สำหรับใช้ในการทดลอง

สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน สำหรับใช้ในการทดลองหา % recovery ของน้ำตาลที่ถูกแยกได้ โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

- ละลายน้ำตาลกลูโคส 3.18 กรัม ไซโลส 4.09 กรัม อะราบิโนส 3.6 กรัม และน้ำตาลกาแลกโทส 4.96 กรัม ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนน้ำตาลละลายหมด จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ลงไปจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีชนิดและปริมาณน้ำตาลความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน

สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน สำหรับใช้ในการทดลองหา % recovery ของน้ำตาลที่ถูกแยกได้ โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

- ละลายน้ำตาลกลูโคส 7.69 กรัม และน้ำตาลไซโลส 12.06 กรัม ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนน้ำตาลละลายหมด จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ลงไปจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีชนิดและปริมาณน้ำตาลความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน

เมื่อเตรียมสารละลายน้ำตาลในกรดทั้งสามชนิดได้แล้ว นำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A ไปวัด %Brix เพื่อหาความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายตอนเริ่มต้น และไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.06 โมลต่อลิตร เพื่อหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายตอนเริ่มต้น และนำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายใน

สารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B และ C ไปวัดความเข้มข้นของน้ำตาลเป็น % ด้วยเครื่อง HPLC เพื่อหาความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายตอนเริ่มต้น

3.2 การทดลองแยกน้ำตาลออกจากกรด แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกน้ำตาลออกจากกรด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดวาล์วด้านล่างของคอลัมน์ ปล่อยให้น้ำกลั่นที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ไหลออกจนระดับน้ำกลั่นอยู่ที่ผิวหน้าของเรซินพอดี จากนั้นปิดวาล์วให้สนิท

2. นำ*สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A* มาปริมาตร 20 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมสารละลายลงในคอลัมน์ ระวังอย่าให้กระเทือนผิวหน้าด้านบนของเรซิน จนระดับของสารละลายในคอลัมน์ขึ้นมาอยู่ในระดับเดิมก่อนที่จะมีการเปิดวาล์วด้านล่าง

3. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ปรับอุณหภูมิภายใน Chamber ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 60 ^{0}C เมื่ออุณหภูมิภายใน Chamber ถึงระดับที่กำหนด จับเวลา 20 นาที

4. เมื่อครบกำหนดเวลา 20 นาที เปิดวาล์วทางด้านล่างออก นำบีกเกอร์มารองสารละลายที่ไหลลงมาด้านล่าง เก็บตัวอย่างสารละลายไปวัดค่า pH ด้วย ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ และวัด %Brix ด้วย refractometer ทุกๆ 7 มิลลิลิตร ระหว่างที่ปล่อยให้สารละลายไหลลงมาด้านล่าง ก็เติมสารละลายตัวอย่าง ทางด้านบนของคอลัมน์ จนครบ 20 มิลลิลิตร

5. เมื่อเติมสารละลายตัวอย่างจนหมด ให้เติมน้ำกลั่นลงไปในคอลัมน์แทนที่ระดับสารละลายที่ลดลงไป โดยระวังอย่าให้เรซินแห้ง

6. เก็บของเหลวที่ไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ทุกๆ 7 มิลลิลิตร วัดค่า %Brix และค่า pH

7. ยังคงเติมน้ำกลั่นทางด้านบนของคอลัมน์ และเก็บของเหลวที่ไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ทุกๆ 7 มิลลิลิตร วัดค่า %Brix และค่า pH จนกว่าจะได้ %Brix เป็นศูนย์และค่า pH สารละลายเป็น 7 (แสดงว่าทั้งน้ำตาลและกรดไหลออกมาจากคอลัมน์จนหมดแล้ว) ปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

8. นำข้อมูล ปริมาตรของสารละลายขาออกในหน่วยจำนวนเท่าของ Bed Volume กับค่า %Brix และค่า pH ไปสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายขาออกกับค่า %Brix และค่า pH

9. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1. ถึง 8. แต่เปลี่ยนอุณหภูมิภายใน Chamber เป็น 45 ^{0}C และ 25 ^{0}C ตามลำดับ

10. พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง %Brix และค่า pH กับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสารละลายขาออก ที่อุณหภูมิภายใน Chamber เป็น 25^{0}C, 45^{0}C และ 60^{0}C จากนั้นเลือกเงื่อนไขของอุณหภูมิที่สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดได้ดีที่สุด

ตอนที่ 2 หา % recovery ของน้ำตาลที่ถูกแยกออกมาจากกรด มีขั้นตอนดังนี้

1. จากตอนที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ โดยใช้เงื่อนไขของอุณหภูมิที่ดีที่สุด แต่ใช้สารละลายตัวอย่างเป็น *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B* และ *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C* ตามลำดับและนำสารละลายขาออกที่เก็บทีละ 7 มิลลิลิตร ในช่วงที่ pH ยังคงเป็น 7 (ยังไม่มีกรดไหลออกมา) ไปวัดหาชนิดและปริมาณน้ำตาลในสารละลายขาออกโดยใช้เครื่อง HPLC

2. คำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารละลายขาออก เทียบกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในตัวอย่างสารละลายตอนเริ่มต้นก่อนผ่านคอลัมน์ เป็น %Recovery

ตอนที่ 3 หาปริมาณน้ำกลั่นที่เหมาะสมที่ใช้ล้างกรดซัลฟิวริกออกมาจากคอลัมน์ เพื่อนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้ใหม่ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดลองซ้ำ โดยเติม *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A* ที่มีน้ำตาลปนอยู่กับกรดปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์ ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (ตามตอนที่ 1.) กรดจะถูกจับไว้ด้วยเรซิน และน้ำตาลจะถูกปล่อยให้ไหลออกมาทางด้านล่างของคอลัมน์ รองสารละลายที่ไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ด้วยบีกเกอร์ แล้ววัด pH ของสารละลายขาออกทุกๆ 7 มิลลิลิตร เมื่อ pH ของสารละลายขาออกเริ่มมีค่าน้อยกว่า 7 จึงปิดวาล์วด้านล่างของคอลัมน์

2. จากข้อ 1. กรดซัลฟิวริกเกือบทั้งหมดจะยังคงค้างอยู่ในคอลัมน์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทางด้านบนของคอลัมน์ จากนั้นเปิดวาล์วด้านล่างของคอลัมน์ รองของเหลวที่ไหลออกมาด้วยบีกเกอร์ แล้วปล่อยให้ของเหลวไหลออกจากคอลัมน์จนหมด นำของเหลวที่ไหลออกมาจากคอลัมน์ทั้งหมดนี้ไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.06 โมลต่อลิตร ไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ถูกล้างออกมาจากคอลัมน์

3. ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 1. และ ข้อ 2. แต่เปลี่ยนปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้ล้างคอลัมน์เป็น 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4. จากข้อ 1. ข้อ 2. และข้อ 3. เลือกเงื่อนไขของปริมาตรน้ำกลั่นที่เหมาะสมที่สามารถล้างกรดซัลฟิวริกออกมาจากคอลัมน์ได้ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย ในฐานดอกทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในฐานดอกทานตะวัน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในฐานดอกทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest

ผลการวิเคราะห์	ปริมาณเยื่อใย (%)
NDF	21.75±0.50
ADF	15.60±0.13
Hemicellulose	7.39±0.08
Cellulose	11.87±0.30
Lignin	1.58±0.30

ปริมาณ NDF (Neutral detergent fiber) คือ ส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน จากตารางที่ 4.1 พบว่ามีค่า NDF เท่ากับ 21.75% ส่วนปริมาณ ADF (Acid detergent fiber) ประกอบไปด้วย เซลลูโลส และลิกนิน พบว่ามี 15.60% เส้นใยที่สามารถย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลได้ คือเส้นใยเซลลูโลส พบว่ามี 11.87% และเฮมิเซลลูโลส พบว่ามี 7.39% รวมมีปริมาณเยื่อใยที่สามารถย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลได้ เท่ากับ 19.26% จะเห็นได้ว่า ในฐานดอกนั้นปริมาณเส้นใยที่สามารถไฮโดรไลซ์ด้วยกรดให้เป็นน้ำตาลได้นั้น มีปริมาณน้อย เนื่องจากในฐานดอกมีปริมาณเพคตินอยู่ค่อนข้างสูง (เพคตินในฐานดอกทานตะวันมีประมาณ 22%)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในฐานดอกทานตะวันที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่ามีค่าแตกต่างจากปริมาณเยื่อใยที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแยกสกัดด้วยตัวทำละลาย (Bishop, C.T., 1955) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณลิกนินได้ 12.3% เซลลูโลส 52.0% และ Alkaline-Soluble Polysaccharides 8.2% รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณเพคตินได้ 27.5% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ แหล่งที่มาของตัวอย่าง อายุของฐานดอกขณะเก็บเกี่ยว เป็นต้น

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน โดยใช้วิธีของ ASTM standard D5896-96 (2007) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด ในฐานดอกทานตะวัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน

ชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	ปริมาณน้ำตาล (%)
Glucose	23.41±0.56
Xylose	20.79±0.04
รวม	44.20±0.60

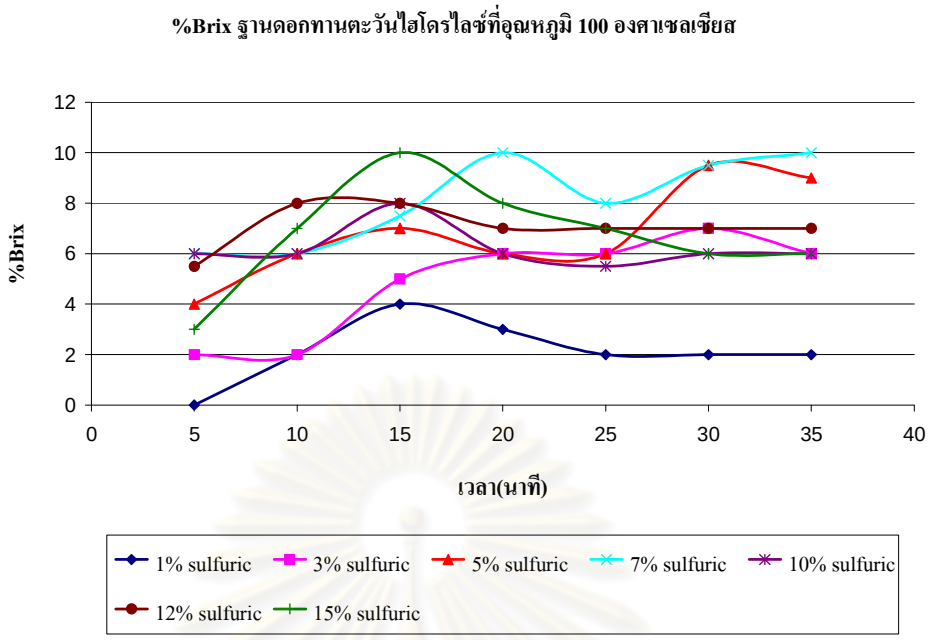
จากตารางที่ 4.2 พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดกลูโคสที่มีในฐานดอกทานตะวันมีเท่ากับ 23.41% และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดไซโลสมีเท่ากับ 20.79% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดเท่ากับ 44.20% ถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ (ดังตารางที่ 4.1) พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีมากกว่าปริมาณเส้นใยประมาณสองเท่า (ปริมาณเส้นใยรวม 19.26%, ปริมาณน้ำตาลรวม 44.20%) เนื่องจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่วิเคราะห์ได้จากวิธีของ ASTM Standard ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นสูง มาจากเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และมีอีกส่วนหนึ่งที่มาจากองค์ประกอบอื่นๆในฐานดอกทานตะวัน เช่น เส้นใยเพคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่มากในฐานดอก (Marechal, V, and Rigal, L., 1999) เมื่อเส้นใยถูกย่อยสลายด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูง จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาด้วย เมื่อรวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด จึงมีค่าสูงกว่าปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

4.3 ผลการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

งานวิจัยนี้ หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ได้แก่ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน กรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ แสดงดังรูปที่ 4.1

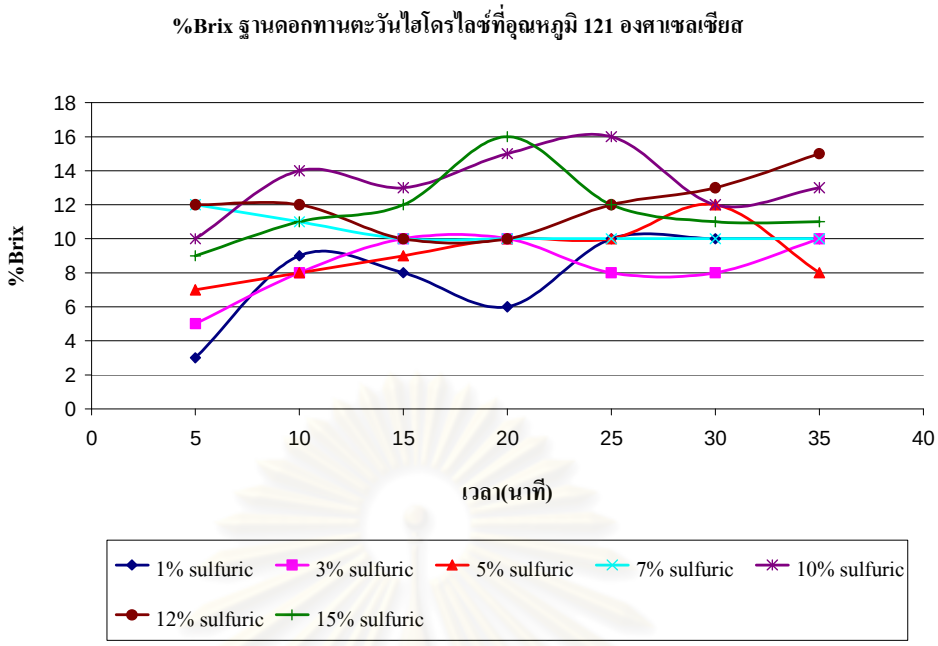


รูปที่ 4.1 ผลของการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ

จากรูปที่ 4.1 กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ พบว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดเข้มข้น 1%, 3%, 5%, 10%, 12% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ในช่วง 5-15 นาที มีแนวโน้มได้ค่า %Brix เพิ่มขึ้น และหลังจากนั้น ในช่วง 15-25 นาที %Brix ที่ได้มีแนวโน้มลดลง (เนื่องจากน้ำตาลเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น (Roger Adamz, and Voorhees, V., 1921)) และค่าของ %Brix เริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วงตั้งแต่ 25 นาทีเป็นต้นไป และเมื่อไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 7% ค่า %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 5-20 นาที และจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อไฮโดรไลซ์ที่เวลา 25 นาที หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 25 นาทีเป็นต้นไป

%Brix สูงสุดที่ได้จากกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 10% ซึ่งเป็นไปได้ในสองเงื่อนไข คือ ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 15 นาที และ ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 7% เป็นเวลา 20 นาที

ส่วนผลของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลของการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.2 กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi พบว่าเมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดเข้มข้น 3%, 5% 10% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ในช่วง 5-20 นาที มีแนวโน้มได้ค่า %Brix เพิ่มขึ้น และในช่วง 20-30 นาที %Brix จะมีแนวโน้มลดลง และเมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลามากกว่า 30 นาทีเป็นต้นไป %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีแนวโน้มคงที่ แต่ในกรณีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้น 7% พบว่า %Brix มีแนวโน้มลดลงในช่วง 5-15 นาที และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงตั้งแต่ 15 นาทีเป็นต้นไป และในกรณีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มลดลงในช่วง 5-15 นาที และมีค่าต่ำสุดที่เวลา 20 นาที หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลามากกว่า 20 นาทีเป็นต้นไป

%Brix สูงสุดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi มีค่าเท่ากับ 16% ซึ่งเป็นไปได้สองกรณีคือ กรณีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที และกรณีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10% เป็นเวลา 25 นาที

เมื่อพิจารณาจากค่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันในทั้งสองกรณีคือ กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi พบว่า กรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ให้ค่า %Brix มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ ในทุกความ

เข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เปรียบเทียบ %Brix สูงสุดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันในแต่ละความเข้มข้น ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psia แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 %Brix สูงสุดในแต่ละความเข้มข้น กรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

กรดซัลฟิวริก (%)	%Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C	เวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ (นาที)	%Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C	เวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ (นาที)
1	4	15	10	25
3	7	30	10	15
5	9	30	12	30
7	10	20	12	5
10	8	15	16	25
12	8	15	15	35
15	10	15	16	20

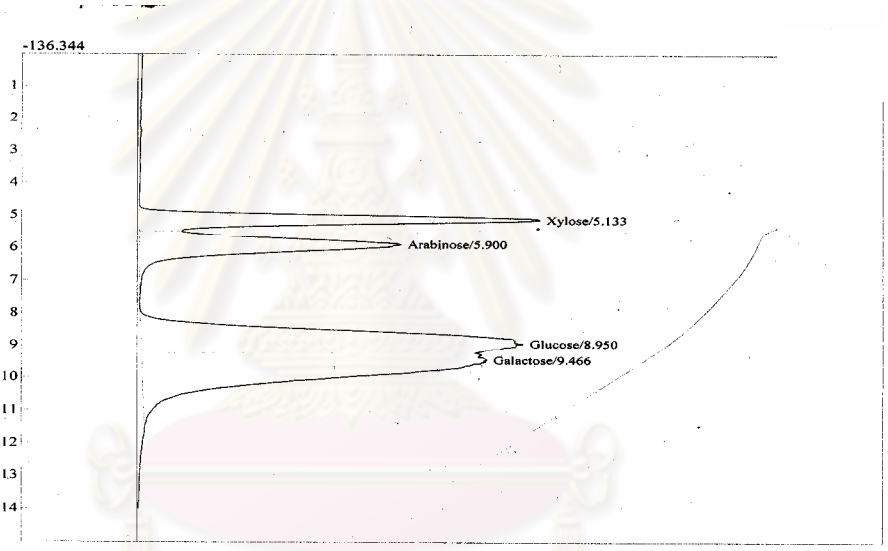
จากตารางที่ 4.3 พบว่า %Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศในทุกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

สำหรับในเงื่อนไขของการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ซึ่งได้ %Brix สูงสุดมีค่าเท่ากับ 10 เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง HPLC ปรากฏว่าไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แสดงว่าน้ำตาลที่วัดค่าเป็น %Brix ซึ่งวิเคราะห์ด้วย refractometer ในเงื่อนไขดังกล่าว อยู่ในรูปของน้ำตาลที่ไม่ใช่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ในขณะที่การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เช่นเดียวกัน พบว่า %Brix สูงสุดมีค่าเท่ากับ 16 มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง HPLC ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 18.29% แสดงให้เห็นว่า การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ให้ %Brix และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม มากกว่าการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ

ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (1%-15% โดยมวลต่อปริมาตร) คือ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

4.3.2 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

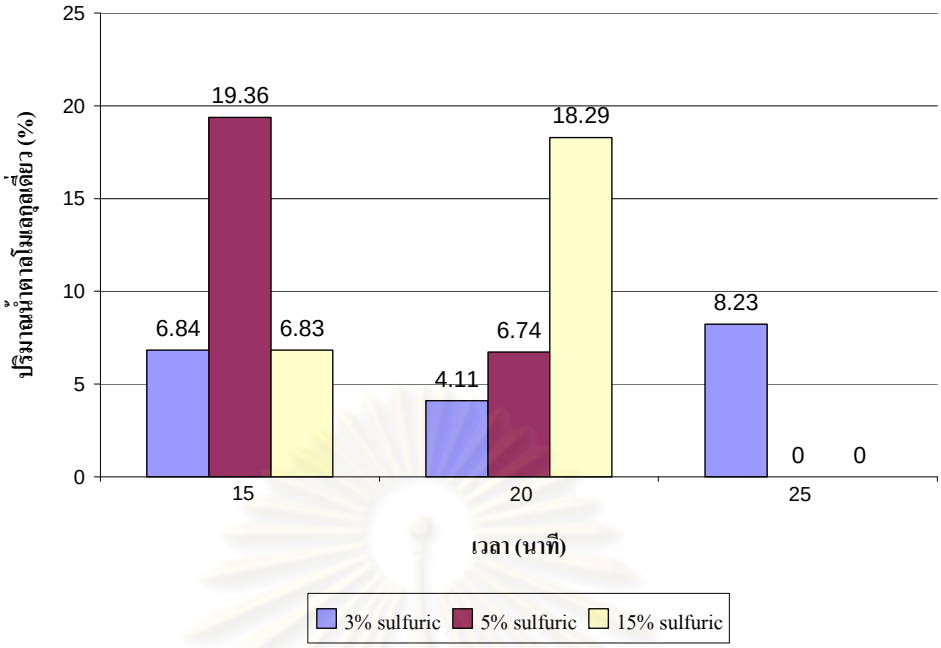
ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน โดยเลือกใช้กรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 3%, 5% และ 15% มาไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psia เป็นเวลา 15-25 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองพบพีคของน้ำตาลไซโลส พีคของน้ำตาลอะราบิโนส พีคของน้ำตาลกาแลกโทส และพีคของน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของพีคของน้ำตาลที่วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC แสดงในรูปที่ 4.3



Component	Retention	Area	Area %	Units
Xylose	5.133	9058.8220	15.3621	
Arabinose	5.900	9406.1675	15.9512	
Glucose	8.950	19373.7650	32.8544	
Galactose	9.466	21129.7695	35.8323	
		58968.5240	100.0000	

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างพีคของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน กรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที

จากข้อมูลที่ได้ นำข้อมูลของ Area ของพีคในแต่ละชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว นำมาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักแห้ง ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ในเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

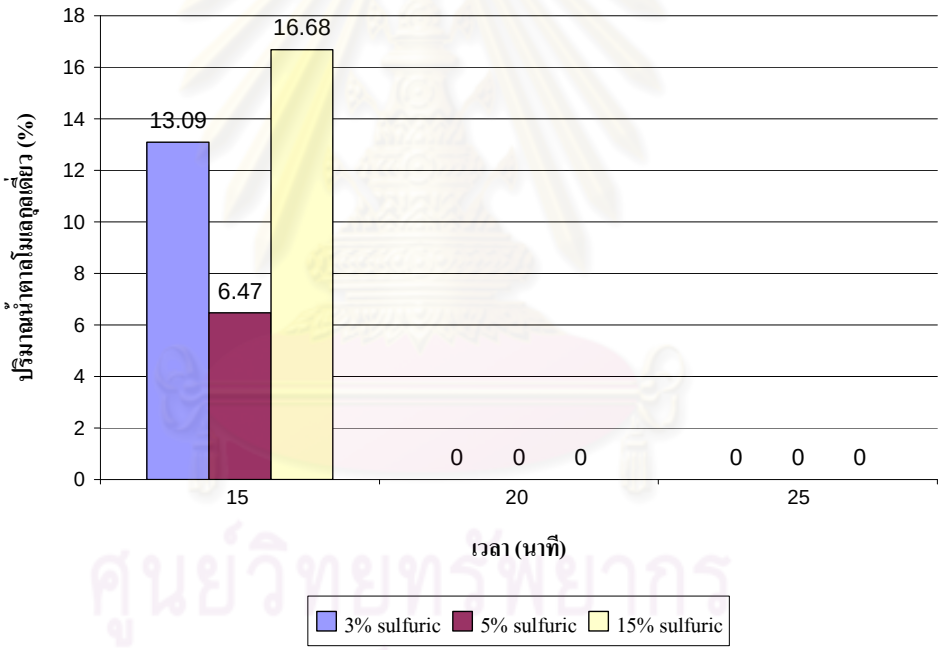
จากรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.84% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 19.36% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.83%

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันเป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 4.11% น้อยกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.74% น้อยกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 18.29% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาที

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันเป็นเวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเท่ากับ 8.23% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 และ 20 นาที เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมด ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมสูงสุดมีค่าเท่ากับ 19.36% เทียบกับน้ำหนักแห้ง ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วย

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน (ตามตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ไฮโดรไลซ์ได้มีค่าเป็น 43.80% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งยังไม่ถึง 50% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน แสดงว่า ในกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ยังคงมีเส้นใยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ดังนั้น การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางเพียงครั้งเดียว ไม่สามารถย่อยสลายเส้นใยที่มีอยู่ในฐานดอกให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ทั้งหมด จำเป็นต้องนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ได้แก่ กากที่ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15-25 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ไปไฮโดรไลซ์ซ้ำด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข โดยไฮโดรไลซ์กากด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.5 เมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข มาไฮโดรไลซ์ซ้ำ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที พบว่า

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 13.09% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.47% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 16.68%

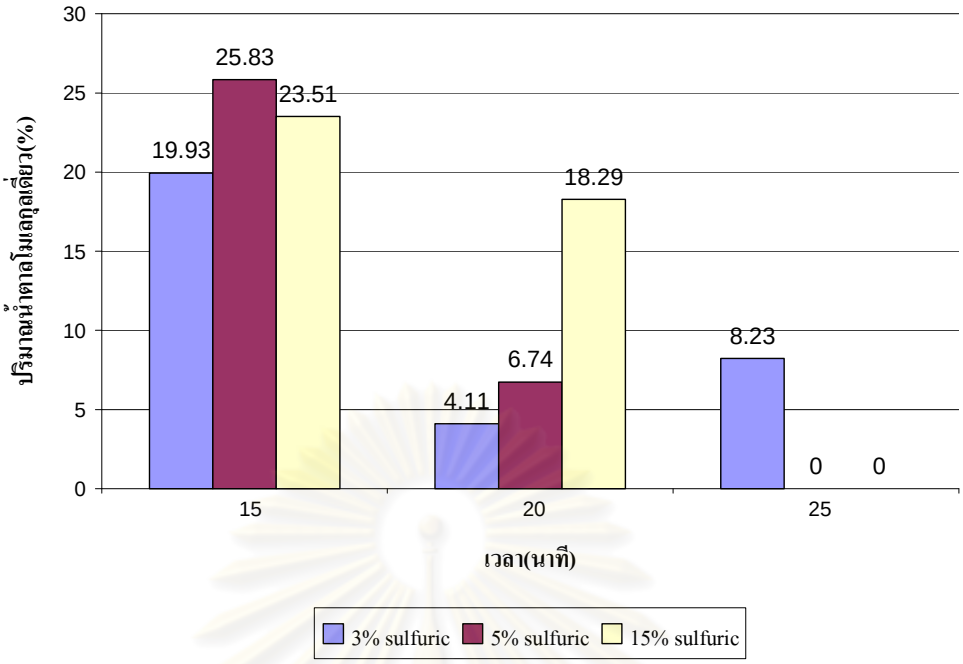
ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในแต่ละเงื่อนไข จึงสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 15 นาที ในทุกความเข้มข้นของกรด ได้แก่ 3%, 5% และ 15% เมื่อนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาอีก แต่ถ้าไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยเวลานานขึ้นคือ 20 และ 25 นาที ในทุกความเข้มข้นของกรด เมื่อนำกากไปไฮโดรไลซ์ซ้ำจะไม่ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาจากกาก

จากการทดลองไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ไปไฮโดรไลซ์ซ้ำ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 นาที วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก รวมกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก แสดงดังรูปที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข รวมกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

เมื่อรวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข พบว่า

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.84% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 13.09% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 19.93% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 19.36% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.47% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 25.83% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.83% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 16.68% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 23.51%

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 4.11% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 4.11% เมื่อใช้

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.74% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 6.74% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 18.29% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 18.29%

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 8.23% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 8.23% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ก็ยังไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 0.00% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ก็ยังไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 0.00%

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก สรุปได้ว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psia เป็นเวลา 15 นาที ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นต่างๆกัน ได้แก่ 3%, 5% และ 15% จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาจากกากอีกส่วนหนึ่ง ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 25.83% ในเงื่อนไขเมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5%

แต่กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 20 และ 25 นาที เมื่อนำกากที่เหลือในแต่ละเงื่อนไขไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง พบว่าไม่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาจากกาก ทำให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดยังคงมีค่าเท่าเดิม

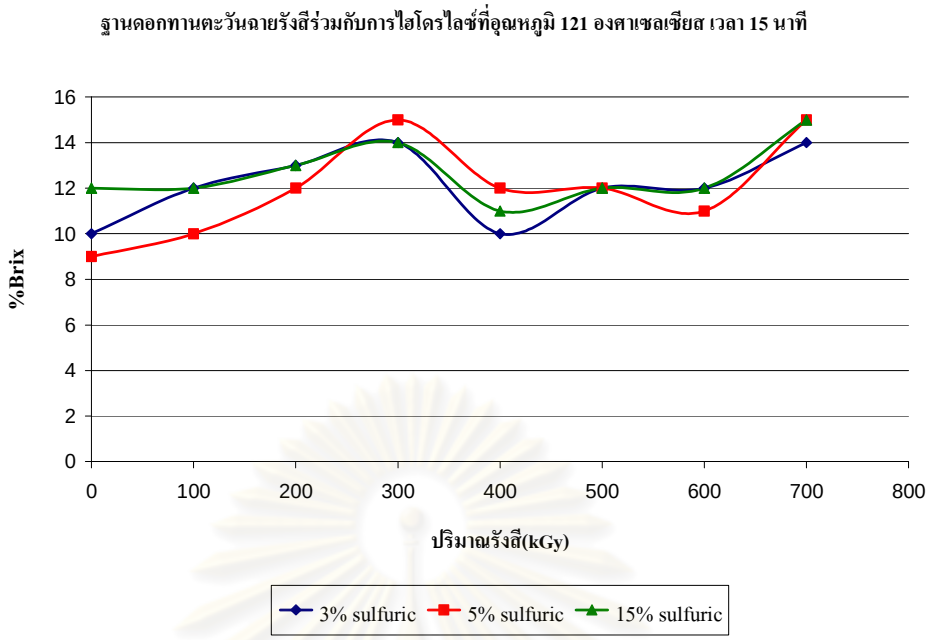
รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 25.83% ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานดอก พบว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอก เมื่อสังเกตกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง พบว่า มีลักษณะละเอียดเป็นผง และเหลือกากอยู่ปริมาณน้อยมาก ไม่คุ้มที่จะนำมาไฮโดรไลซ์ซ้ำเป็นครั้งที่สาม ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในฐานดอก

ทานตะวันนั้น มีปริมาณไม่มากนัก (ตามตารางที่ 4.1 คิดเป็น 19.26%) และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์นี้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นใยที่มีอยู่ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางเป็นจำนวนสองครั้ง โดยครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi และนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะสามารถย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ 25.83% คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน และคิดเป็น 134.11% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน

ในกรณีที่การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเจือจาง ความเข้มข้นไม่เกิน 15% โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-25 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดมีค่าเป็นเพียง 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานดอกนั้น สันนิษฐานได้ว่า เนื่องมาจากองค์ประกอบอื่นๆที่มีในฐานดอกทานตะวัน คือ เพคติน (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ฉ.) ซึ่งมีอยู่มากถึง 19-22% เมื่อถูกย่อยสลายด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูง ตามวิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดโดยใช้วิธีของ ASTM Standard นั้น (ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 72%) จะให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาด้วย ทำให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดในฐานดอกทานตะวันที่วิเคราะห์ได้ตามวิธีของ ASTM Standard นี้ มีค่าสูงกว่าปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในฐานดอก (ในฐานดอกมีเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ 19.26% และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 25.83%) สามารถสรุปได้ว่า การไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้นไม่เกิน 15% โดยมวลต่อปริมาตร) สามารถย่อยสลายโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ทั้งหมด

4.4 ผลการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

เมื่อนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสี ที่ปริมาณรังสีต่างๆกัน ได้แก่ 100, 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นต่างๆกัน ได้แก่ 3%, 5% และ 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาวัด %Brix ด้วย Refractometer ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10

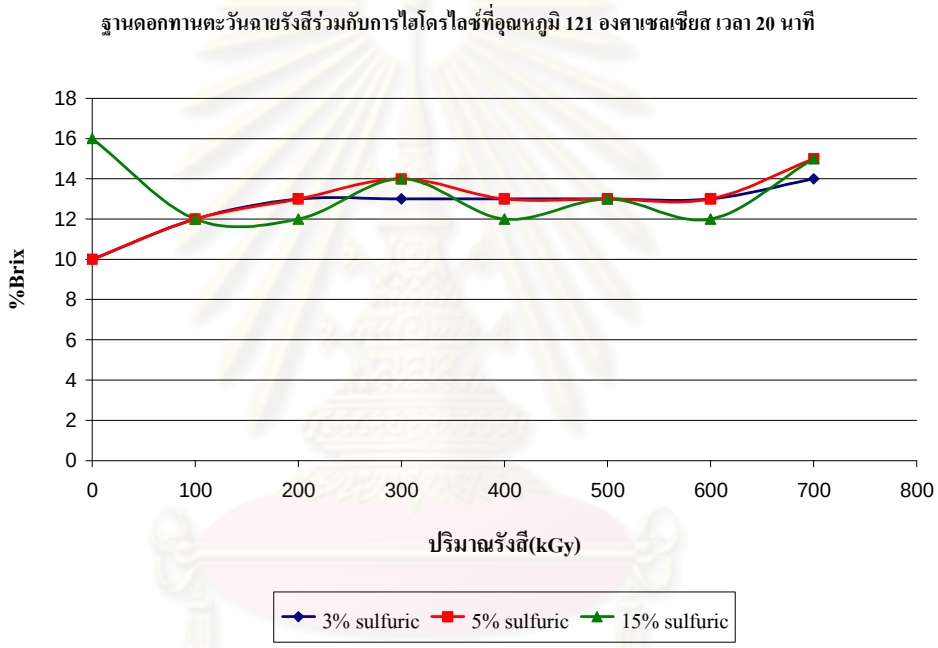


รูปที่ 4.7 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15 นาที

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาข้อมูล %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่าเมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อวัด %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 10% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จะมีค่าลดลง เมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสี 400 kGy และ %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 400 kGy ขึ้นไป

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่าได้ %Brix เท่ากับ 9% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy โดยที่ %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีค่าลดลง เมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสี 400 kGy และ %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 400 kGy ขึ้นไป

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 12% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี เมื่อฉายรังสีฐานดอกทานตะวันด้วยปริมาณรังสี 100 kGy และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีค่าลดลง เมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสี 400 kGy และ %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 400 kGy ขึ้นไป



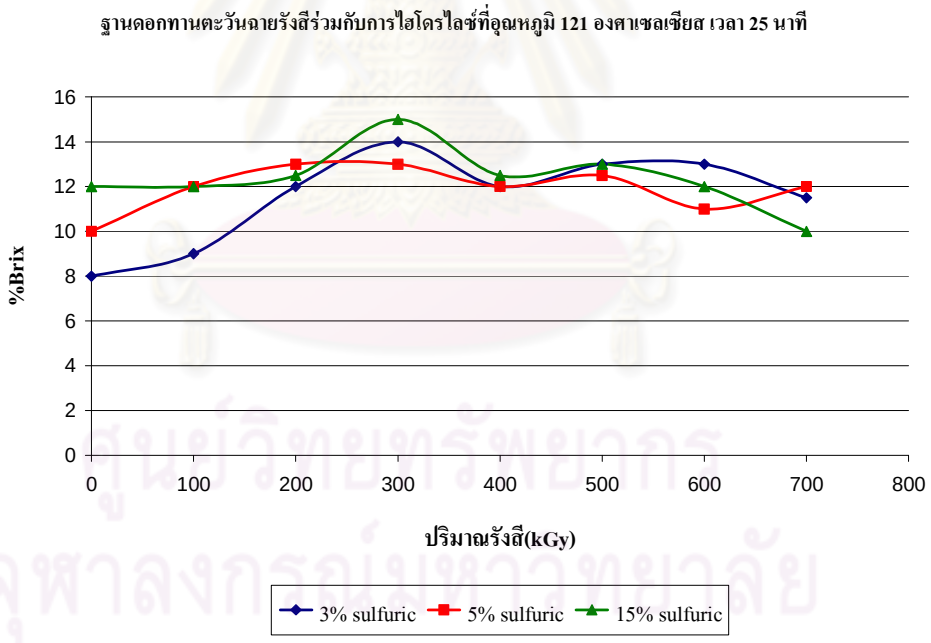
รูปที่ 4.8 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.8 เมื่อพิจารณาข้อมูล %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่าเมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อวัด %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 10% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มคงที่ ในช่วงปริมาณรังสี 300-600 kGy และ %Brix จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับ

ปริมาณรังสี 700 kGy โดยที่ % Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14% ที่ปริมาณรังสี 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% กรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 10% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% พบว่า พบว่า %Brix มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy และ %Brix มีค่าลดลงที่ปริมาณรังสี 400 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มคงที่ ในช่วงปริมาณรังสี 400-600 kGy และ %Brix จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อฐานดอกทานตะวันได้รับปริมาณรังสี 700 kGy โดยที่ % Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14% ที่ปริมาณรังสี 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% กรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 16% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าน้อยกว่ากรณีไม่ฉายรังสี ในทุกช่วงของปริมาณรังสีที่ฐานดอกทานตะวันได้รับ



รูปที่ 4.9 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 25 นาที

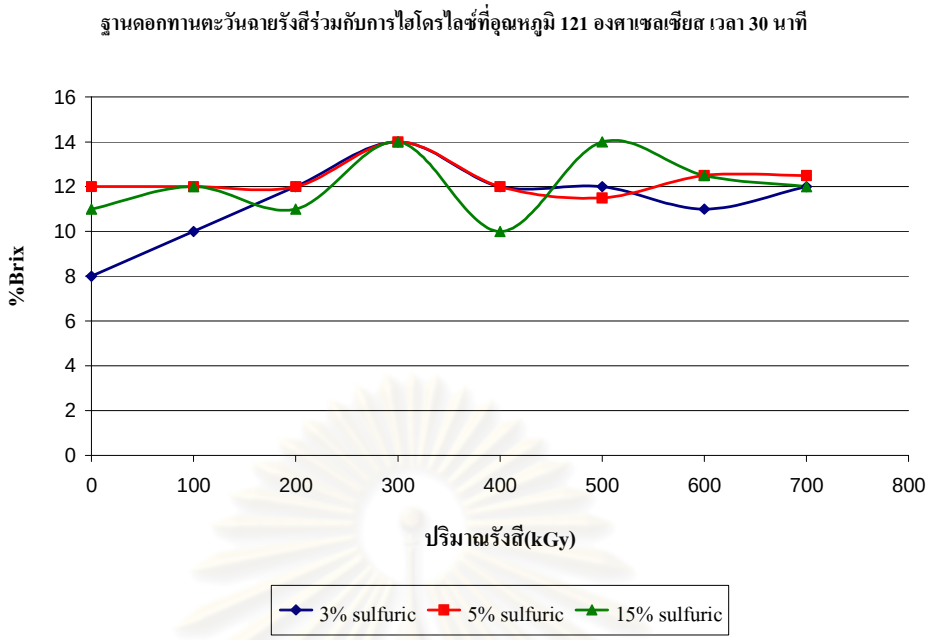
จากรูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณาข้อมูล %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 25 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่า

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ %Brix เท่ากับ 8% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy และ %Brix มีค่าลดลงที่ปริมาณรังสี 400 kGy และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยที่ปริมาณรังสี 500 kGy และหลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% กรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 10% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13% ที่ปริมาณรังสี 200-300 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มลดลงในช่วง 400-600 kGy และมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ปริมาณรังสี 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% กรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มีค่าเท่ากับ 12% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 100-200 kGy หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 15% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy. และ %Brix มีค่าลดลง ที่ปริมาณรังสี 400 kGy หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มเกือบคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 400-600 kGy และมีค่าลดลงอีกครั้งที่ปริมาณรังสี 700 kGy โดย %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ที่ปริมาณรังสี 700 kGy นี้มีค่าเท่ากับ 10% ซึ่งน้อยกว่ากรณีไม่ฉายรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 30 นาที

จากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาข้อมูล %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 30 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่าเมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ %Brix เท่ากับ 8% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy โดยมีค่า %Brix สูงสุดเท่ากับ 14% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy. หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีค่าลดลงเล็กน้อย ที่ปริมาณรังสี 400 kGy และมีแนวโน้มเกือบคงที่ในช่วง 400-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% กรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 12% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% พบว่า ในช่วงปริมาณรังสี 100-200 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และที่ปริมาณรังสี 300 kGy %Brix ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12% เป็น 14% หลังจากนั้น %Brix มีค่าลดลงเล็กน้อย จาก 14% เป็น 12% ที่ปริมาณรังสี 400 kGy และมีแนวโน้มเกือบคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 400-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 11% และเมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสี

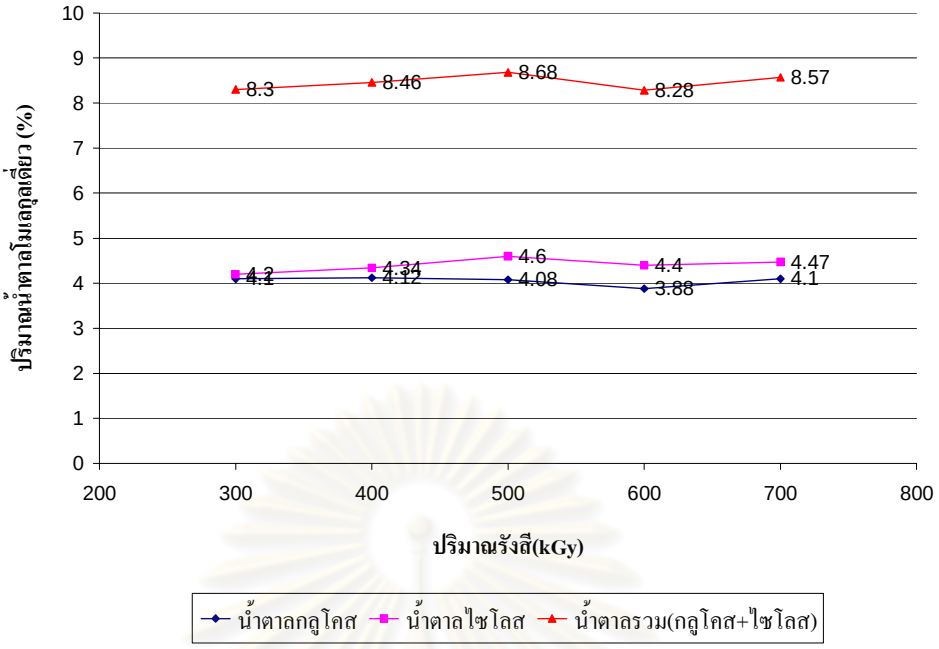
แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 10-14% ในช่วงปริมาณรังสี 100-700 kGy

จากรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 สรุปได้ว่า เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสี ที่ปริมาณรังสี 100-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-30 นาที เมื่อวัด %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy และ %Brix มีค่าลดลงเล็กน้อย ที่ปริมาณรังสี 400 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-600 kGy และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ปริมาณรังสี 700 kGy

และ %Brix สูงสุดสำหรับกรณีฉายรังสีฐานดอกทานตะวันแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกมีค่าเท่ากับ 15% ในเงื่อนไข ฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 300 หรือ 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

ดังนั้น เพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ระหว่างกรณีไม่ฉายรังสี ในเงื่อนไขที่เหมาะสม คือไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดเท่ากับ 19.36% เปรียบเทียบกับกรณีนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีก่อน แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก ในเงื่อนไขเดียวกัน คือ ไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จึงได้นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



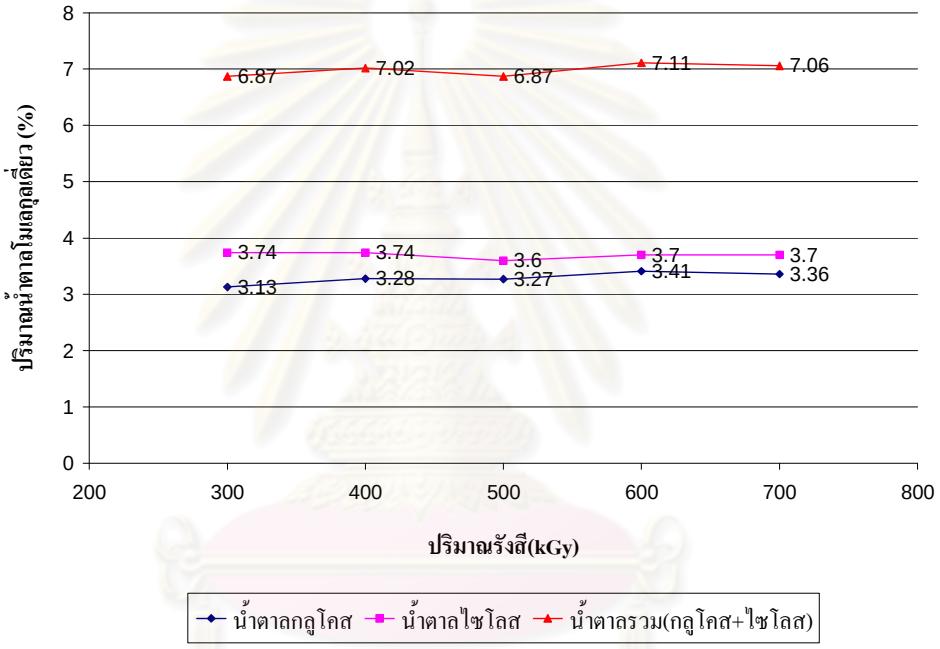
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ในฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีในช่วง 300-700 kGy ก่อนนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่า ในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.30% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.68% ที่ปริมาณรังสี 500 kGy ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 0.38% จึงสรุปได้ว่า ฐานดอกทานตะวันที่ได้รับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 300 kGy จนถึง 700 kGy เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าใกล้เคียงกัน

และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยไม่ต้องฉายรังสีแกมมา พบว่า กรณีไม่ฉายรังสีได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดเท่ากับ 19.36% ซึ่งมากกว่ากรณีที่ฉายรังสีแกมมาก่อน แล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดออกมาเพียง 8.30-8.68%

จากปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ กรณีฉายรังสีทานตะวันด้วยปริมาณรังสี 300-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา

15 นาที พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน แสดงว่า ในกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ยังมีเส้นใยที่ยังคงไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ได้แก่ กากที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากฐานดอกทานตะวัน ที่ปริมาณรังสี 300-700 kGy โดยไฮโดรไลซ์กาก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ที่ปริมาณรังสี 300-700 kGy โดยไฮโดรไลซ์กาก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi พบว่า เมื่อนำกากไปไฮโดรไลซ์ซ้ำครั้งที่สอง ในทุกเงื่อนไขของปริมาณรังสี จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาอีก ดังนี้

กากที่ปริมาณรังสี 300 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.87% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 15.17%

กากที่ปริมาณรังสี 400 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.02% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 15.84%

กากที่ปริมาณรังสี 500 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.87% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 15.55%

กากที่ปริมาณรังสี 600 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.11% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 15.39%

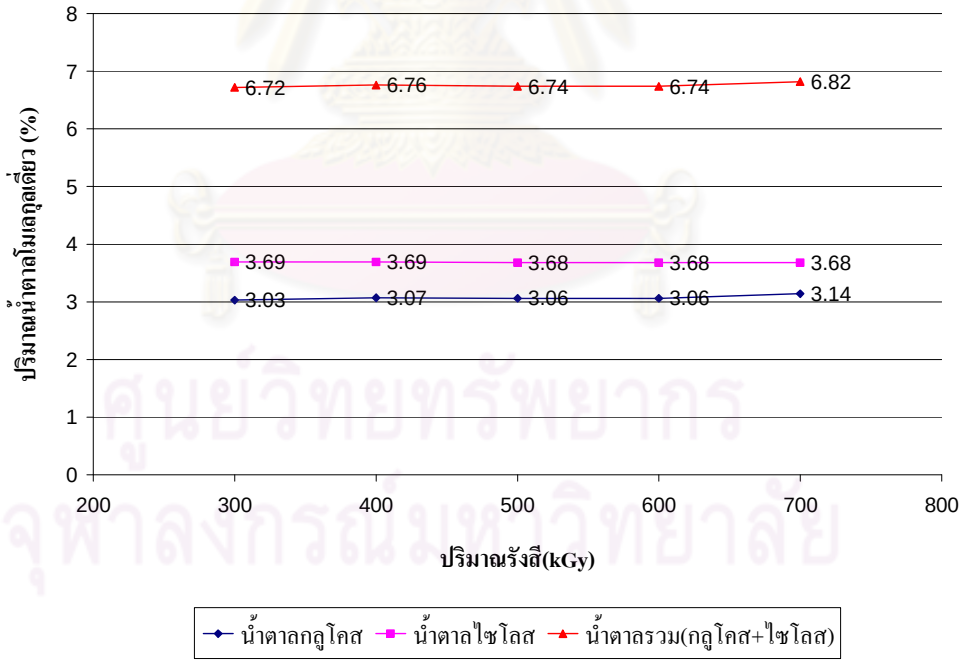
กากที่ปริมาณรังสี 700 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.06% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 15.63%

ดังนั้น รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันครั้งแรก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ในเงื่อนไขปริมาณรังสีค่าต่างๆ ได้แก่ 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม ในแต่ละเงื่อนไขเท่ากับ 15.17%, 15.84%, 15.39%, 15.55% และ 15.63% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันไม่เกิน 0.67%

จึงสรุปได้ว่า เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi พบว่า ในเงื่อนไขของปริมาณรังสีต่างกัน แต่ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาเพิ่มในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในแต่ละเงื่อนไขของปริมาณรังสี ทำให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ในแต่ละเงื่อนไขของปริมาณรังสี มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 15.17-15.84% โดยปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้ง มีค่ามากที่สุดคือ 15.84% เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 400 kGy ก่อนที่จะนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ฉายรังสี ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมสูงสุดในการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 25.83% โดยไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi กับกรณีฉายรังสีฐานดอกทานตะวันที่ปริมาณรังสี 400 kGy. แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 15.84% ซึ่งน้อยกว่ากรณีไม่ฉายรังสี

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ในกรณีฉายรังสี คิดเป็นเพียง 35.84% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน จึงทดลองนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.13 เมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สาม พบว่า ในทุกเงื่อนไขของกากที่ปริมาณรังสีต่างๆ เมื่อนำไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สาม จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาอีก โดยปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในครั้งที่สาม เป็นดังนี้

กากที่ปริมาณรังสี 300 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.72% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 21.90%

กากที่ปริมาณรังสี 400 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.76% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 22.23%

กากที่ปริมาณรังสี 500 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.74% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 22.30%

กากที่ปริมาณรังสี 600 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.74% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 22.14%

กากที่ปริมาณรังสี 700 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.82% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 22.48%

ดังนั้น เมื่อรวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันทั้งสามครั้ง ในกรณีฉายรังสีก่อนนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณรังสีค่าต่างๆ ได้แก่ 300, 400, 500, 600 และ 700 kGy จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม ในแต่ละเงื่อนไขเท่ากับ 21.90%, 22.23%, 22.30%, 22.14% และ 22.48% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน ในทุกเงื่อนไขของปริมาณรังสี และแตกต่างกันไม่เกิน 0.58% โดยที่ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สามครั้ง มีค่ามากที่สุดคือ 22.48% ในเงื่อนไขฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกอีกสามครั้ง ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์นี้ คิดเป็น 50.86% ของปริมาณน้ำตาล

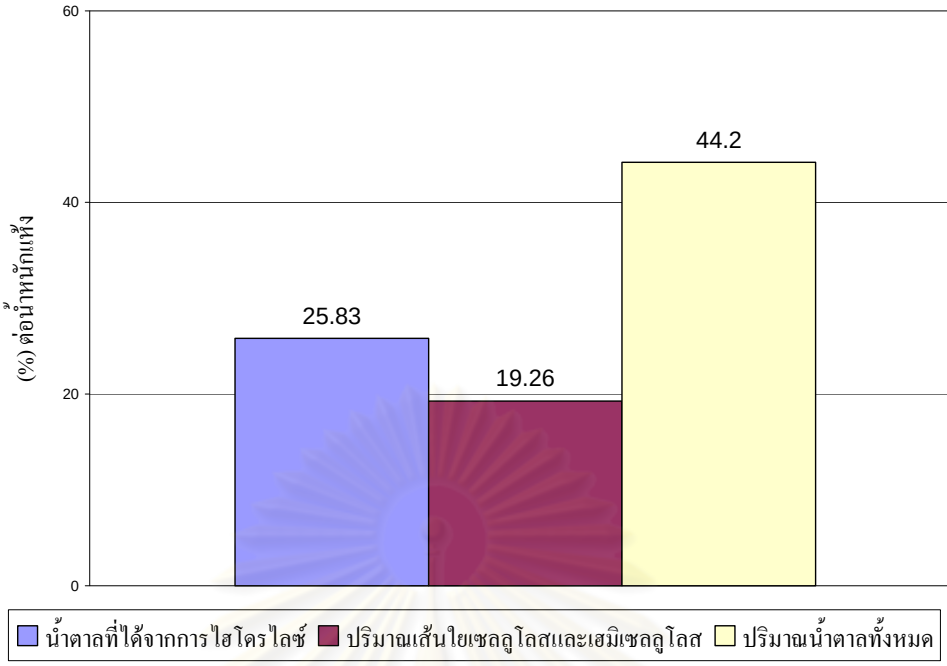
โมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน และคิดเป็น 116.72% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ฉายรังสี ได้แก่ ฐานดอกทานตะวันไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกสองครั้ง ในเงื่อนไขที่เหมาะสม ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 25.83% คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน กับกรณีฉายรังสี ด้วยปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่ออีกสามครั้ง ในเงื่อนไขที่เหมาะสม ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 22.48% คิดเป็น 50.86% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กรณีฐานดอกทานตะวันที่นำมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกโดยไม่ต้องฉายรังสี ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมากกว่ากรณีฐานดอกทานตะวันที่ฉายรังสีก่อนในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกอีกสามครั้ง

สรุปผลการทดลองสำหรับกรณีฐานดอกทานตะวัน พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกคือ นำฐานดอกทานตะวันไปไฮโดรไลซ์สองครั้งด้วยกรดซัลฟิวริกโดยไม่ต้องฉายรังสี ได้แก่ ไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 25.83% คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน และคิดเป็น 134.11% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน

เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ในเงื่อนไขที่เหมาะสม กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน

จากรูปที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 25.83% คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน และคิดเป็น 134.11% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ผลการวิเคราะห์เยื่อใยในต้นทานตะวันด้วยวิธีของ Van Soest

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในต้นทานตะวัน แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เยื่อใยในต้นทานตะวัน

ผลการวิเคราะห์	ปริมาณเยื่อใย (%)
NDF	63.84±0.36
ADF	45.57±0.21
Hemicellulose	18.27±0.40
Cellulose	35.49±0.04
Lignin	9.90±0.40

ปริมาณ NDF (Neutral detergent fiber) คือ ส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณ NDF มีค่าเท่ากับ 63.84% ส่วนปริมาณ ADF (Acid detergent fiber) ประกอบไปด้วย เซลลูโลส และลิกนิน พบว่ามี 45.57% เส้นใยที่สามารถย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลได้ คือเส้นใยเซลลูโลส พบว่ามี 35.49% และเฮมิเซลลูโลส พบว่ามี 18.27% รวมมีปริมาณเส้นใยที่สามารถย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลได้ เท่ากับ 53.56% ต่อน้ำหนักแห้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Caparros S. และคณะ ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสในต้นทานตะวันได้ 33.8% และเส้นใยเฮมิเซลลูโลส ได้ 23.90%

4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดด้วยวิธีของ ASTM Standard

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวันแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

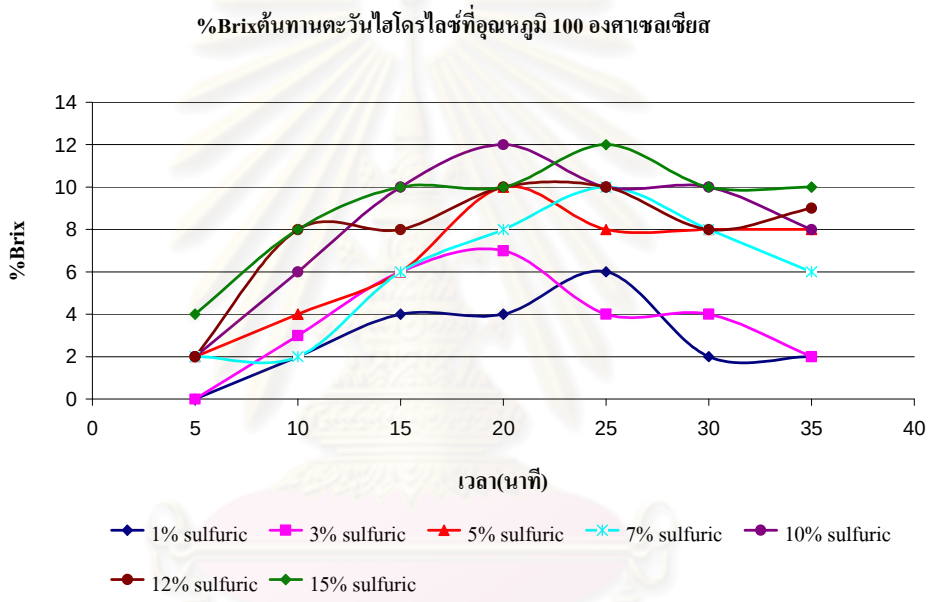
ชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	ปริมาณน้ำตาล (%)
Glucose	34.59±0.20
Xylose	23.97±0.14
รวม	58.56±0.34

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในต้นทานตะวัน พบว่า ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 34.59% และน้ำตาลไซโลส 23.97% รวมทั้งหมด 58.56% ซึ่งมาจากเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ที่มีอยู่ในต้นทานตะวัน

4.7 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

4.7.1 ผลของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

ผลของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ แสดงดังรูปที่ 4.15

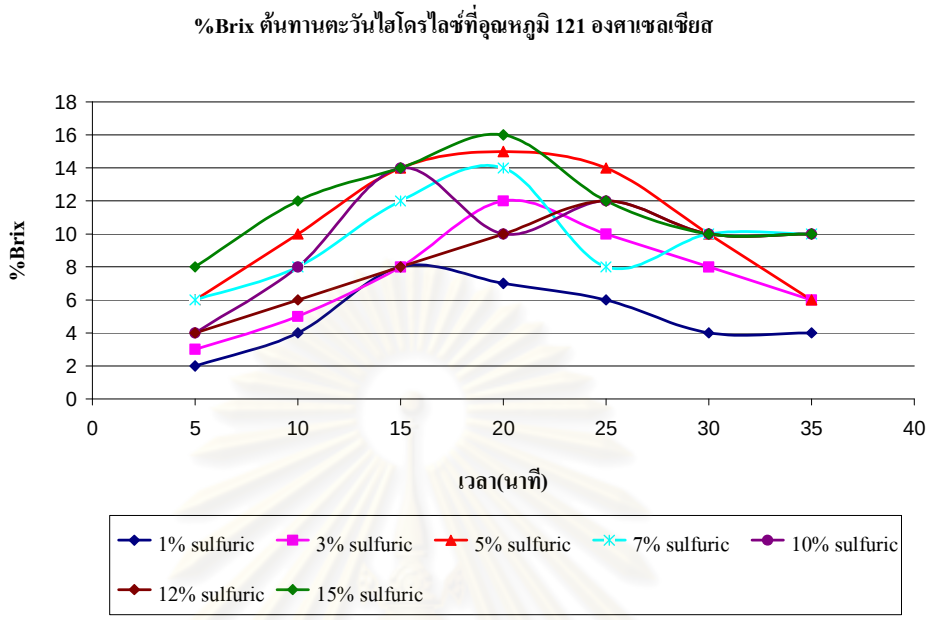


รูปที่ 4.15 ผลของการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ

จากรูปที่ 4.15 พบว่า การไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ ในทุกความเข้มข้น มีแนวโน้มได้ค่า %Brix เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ ตั้งแต่ 5-25 นาที และเมื่อไฮโดรไลซ์โดยใช้เวลามากกว่า 25 นาทีเป็นต้นไป %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากน้ำตาลเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น

การไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ ในทุกความเข้มข้น จะได้ %Brix สูง เมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลาอยู่ในช่วง 15-25 นาที โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12% ซึ่งเป็นไปได้ในสองเงื่อนไข คือ ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10% เป็นเวลา 20 นาที หรือไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 25 นาที

ส่วนผลของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลของการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.16 พบว่า การไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ในทุกความเข้มข้น มีแนวโน้มได้ค่า %Brix เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ ตั้งแต่ 5-25 นาที และเมื่อไฮโดรไลซ์โดยใช้เวลามากกว่า 25 นาทีเป็นต้นไป %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากน้ำตาลเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น

การไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ในทุกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก จะได้ %Brix สูง เมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลาอยู่ในช่วง 15-25 นาที โดยที่ %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 16% เมื่อไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะค่า %Brix สูงสุดในแต่ละความเข้มข้นของกรด ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 %Brix สูงสุดในแต่ละความเข้มข้นของกรด กรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

กรดซัลฟิวริก (%)	%Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C	เวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ (นาที)	%Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C	เวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ (นาที)
1	6	25	8	15
3	7	20	12	20
5	10	20	15	20
7	10	25	14	20
10	12	20	14	15
12	10	20	12	25
15	12	25	16	20

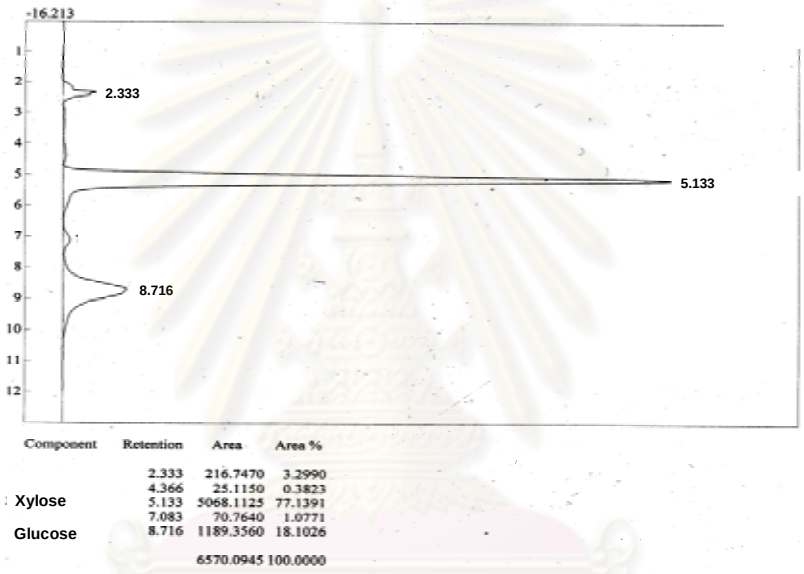
จากตารางที่ 4.6 พบว่า %Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi มีค่าสูงกว่า %Brix สูงสุดกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ ในทุกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์

และเมื่อเปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ถ้าไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ จะได้ %Brix สูงสุดเท่ากับ 12 และเมื่อนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.78% แต่ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 15% เช่นเดียวกัน ซึ่งได้ %Brix สูงสุดเท่ากับ 16 มากกว่าไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศ และเมื่อนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 24.56% ซึ่งมากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ความดันบรรยากาศเช่นเดียวกัน

ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้นไม่เกิน 15% โดยมวลต่อปริมาตร) คือ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

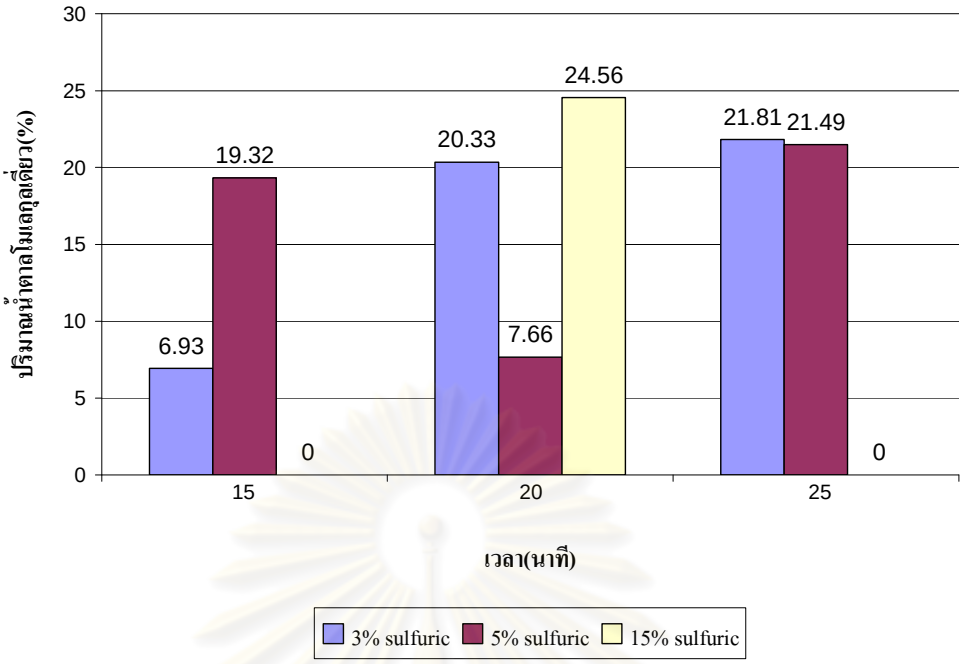
4.7.2 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน

ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน โดยเลือกใช้กรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 3%, 5% และ 15% มาไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-25 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด (%) ด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองพบพีคของน้ำตาลไซโลส และพีคของน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของพีคของน้ำตาลที่วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างพีคของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในต้นทานตะวัน เมื่อวัดด้วยเครื่อง HPLC กรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi

จากรูปที่ 4.17 พีคของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในต้นทานตะวัน ได้แก่ พีคของน้ำตาลไซโลส ปรากฏที่ 5.133 นาที และพีคของน้ำตาลกลูโคส ปรากฏที่ 8.716 นาที ดังนั้น ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองชนิด ได้แก่ น้ำตาลไซโลสและน้ำตาลกลูโคส จากข้อมูลที่ได้ นำมาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.18



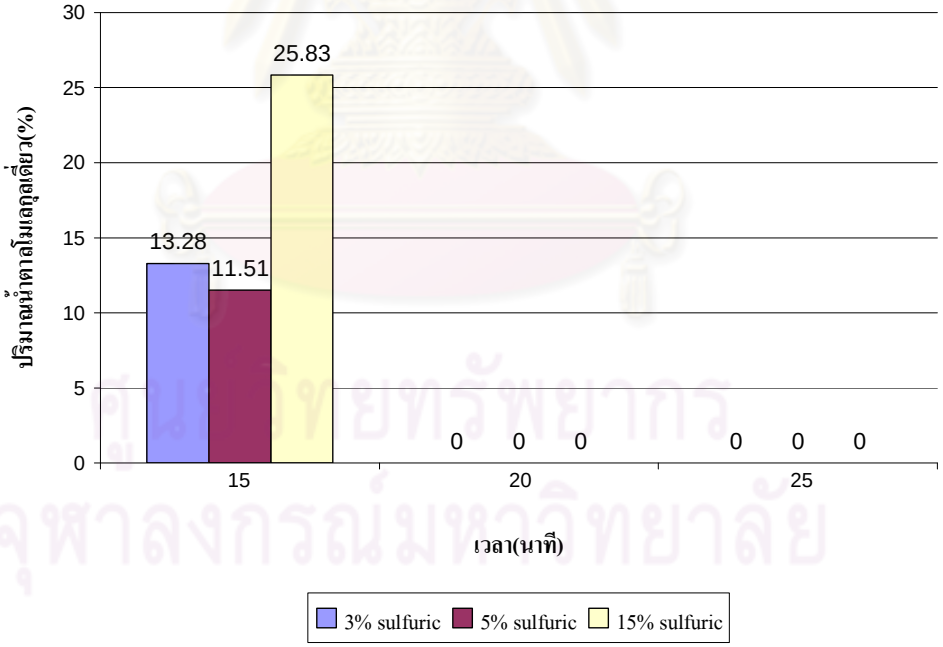
รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของกรดค่าต่างๆ และระยะเวลาต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi

จากรูปที่ 4.18 พบว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.93% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 19.32% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

เมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 20.33% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.66% น้อยกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 24.56% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 นาทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน

เมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 21.81% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 และ 20 นาทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 21.49% มากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 15 และ 20 นาทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

เมื่อพิจารณาหาเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันจากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จะมีค่าสูงสุดในเงื่อนไข ไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที โดยได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 24.56% และมีค่าเป็น 41.93% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน (ตามตารางที่ 4.5) ซึ่งปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์นี้ ยังไม่ถึง 50% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ แสดงว่า ในกากยังคงมีเส้นใยหลงเหลืออยู่มากซึ่งยังไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ดังนั้น การไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางเพียงครั้งเดียว จึงไม่สามารถย่อยสลายเส้นใยที่มีอยู่ในต้นทานตะวันให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ทั้งหมด จำเป็นต้องนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ได้แก่ กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15-25 นาที มาไฮโดรไลซ์ซ้ำ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi แล้ววิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในแต่ละเงื่อนไข ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.19 เมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข มาไฮโดรไลซ์ซ้ำ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi พบว่า

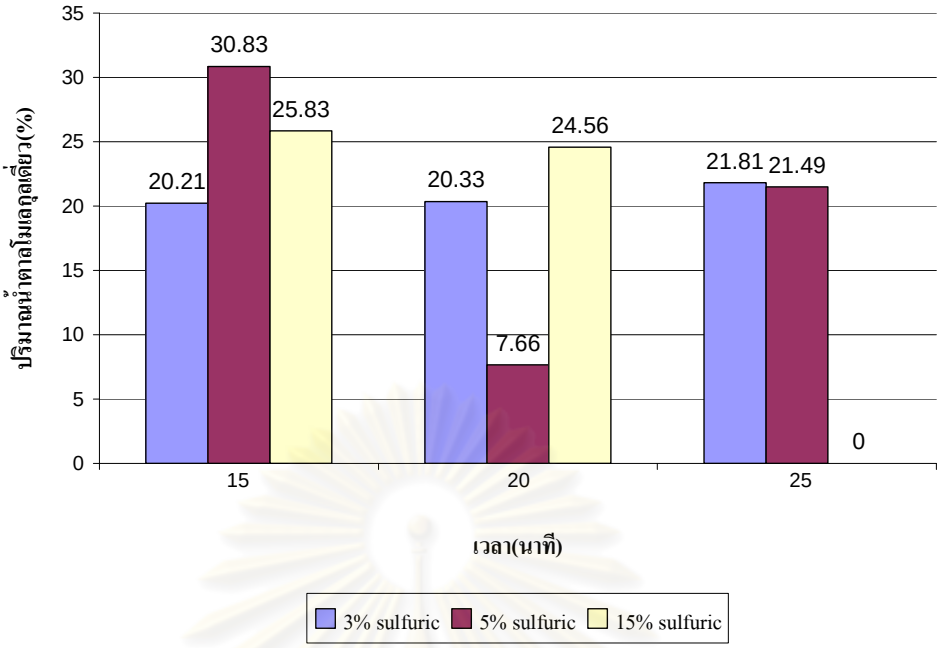
ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 13.28% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 11.51% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 25.83%

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในแต่ละเงื่อนไข จึงสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 15 นาที ในทุกความเข้มข้นของกรด ได้แก่ 3%, 5% และ 15% เมื่อนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาอีก แต่ถ้าไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยเวลานานขึ้นคือ 20 และ 25 นาที ในทุกความเข้มข้นของกรด เมื่อนำกากไปไฮโดรไลซ์ซ้ำจะไม่ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพิ่ม

จากการทดลองไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก รวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข รวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข

เมื่อรวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ในแต่ละเงื่อนไข และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก ในแต่ละเงื่อนไข พบว่า

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 6.93% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 13.28% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 20.21% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 19.32% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 11.51% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 30.83% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 25.83% รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 25.83%

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 20.33% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 20.33% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.66% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการ

ไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 7.66% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 24.56% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 24.56%

กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกเป็นเวลา 25 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 21.81% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง เท่ากับ 21.81% เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 21.49% เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 21.49% และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อนำกากมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ก็ยังไม่พบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 0.00%

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก รวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กาก สรุปได้ว่า เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันครั้งแรกที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นต่างๆกัน ได้แก่ 3%, 5% และ 15% จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาจากกากอีกส่วนหนึ่ง ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเพิ่มขึ้น (โดยได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 30.83% ในเงื่อนไข ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5%) แต่ในกรณีไฮโดรไลซ์ครั้งแรกใช้เวลานานขึ้นคือ 20 และ 25 นาที พบว่า เมื่อนำกากที่เหลือในแต่ละเงื่อนไขไปไฮโดรไลซ์ซ้ำ ไม่ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาจากกาก ทำให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมไม่เพิ่มขึ้น

จากผลการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 30.83% คิดเป็น 52.64% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน (ตามตารางที่ 2) แสดงว่า กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ยังมีเส้นใยที่ยังคงไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงทดลองนำเฉพาะกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่ให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสูงสุด ได้แก่ กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไข ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที และไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที มาไฮโดรไลซ์ซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาทีในแต่ละครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi ได้ผลดังตารางที่ 4.7

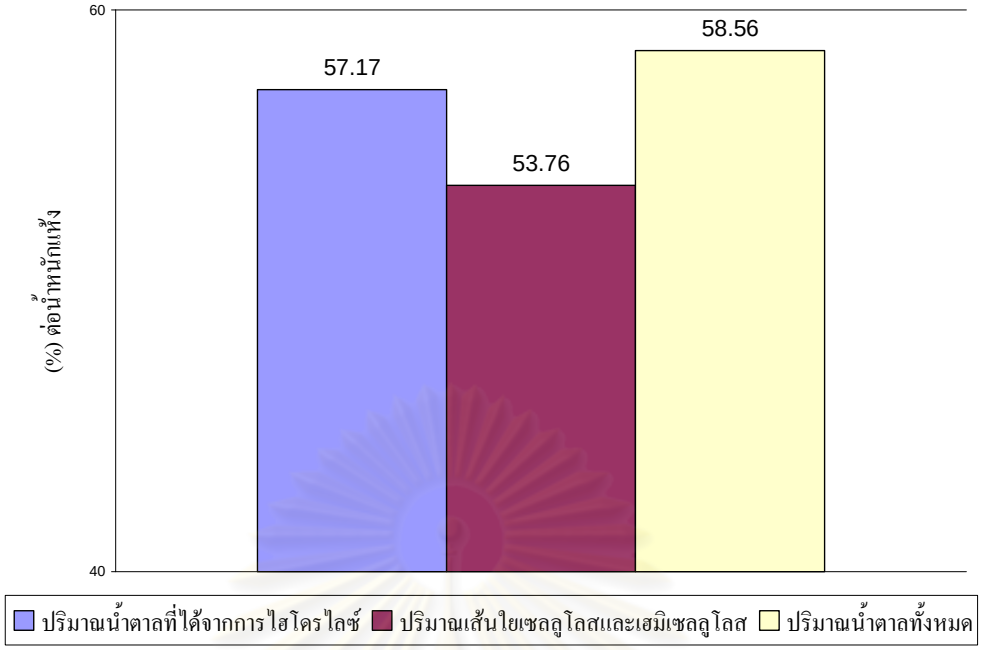
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (%) ในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน กรณีไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากมาทำซ้ำอีก 3 ครั้ง โดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาทีในแต่ละครั้ง

ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 3	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 4	ปริมาณน้ำตาลรวม
19.32±0.43	11.51±0.32	3.31±0.03	3.49±0.17	37.63±0.95

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อนำตัวอย่างต้นทานตะวันมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรด 5% นาน 15 นาที แล้วนำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำอีก 3 ครั้ง โดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรด 15% เป็นเวลา 20 นาที ในแต่ละครั้ง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเป็น 37.63% คิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในต้นทานตะวัน ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด ในการย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในต้นทานตะวันให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรด และระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย และผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ได้ดังรูปที่ 4.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

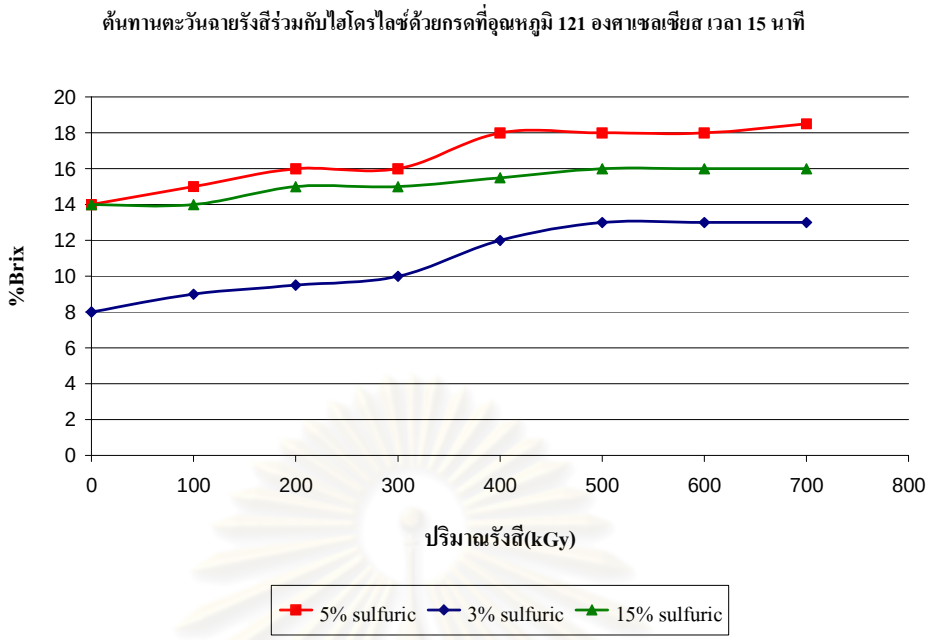


รูปที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ กับปริมาณเส้นใยและปริมาณน้ำตาลน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

จากรูปที่ 4.21 พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มีค่าเท่ากับ 37.63% คิดเป็น 70.00% ของปริมาณเส้นใย และคิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

4.8 ผลการฉายรังสีแกมมา ร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ด้วยกรดซัลฟิวริก

นำตัวอย่างต้นทานตะวันไปฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสี 100-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นวัด %Brix สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ด้วย refractometer ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25



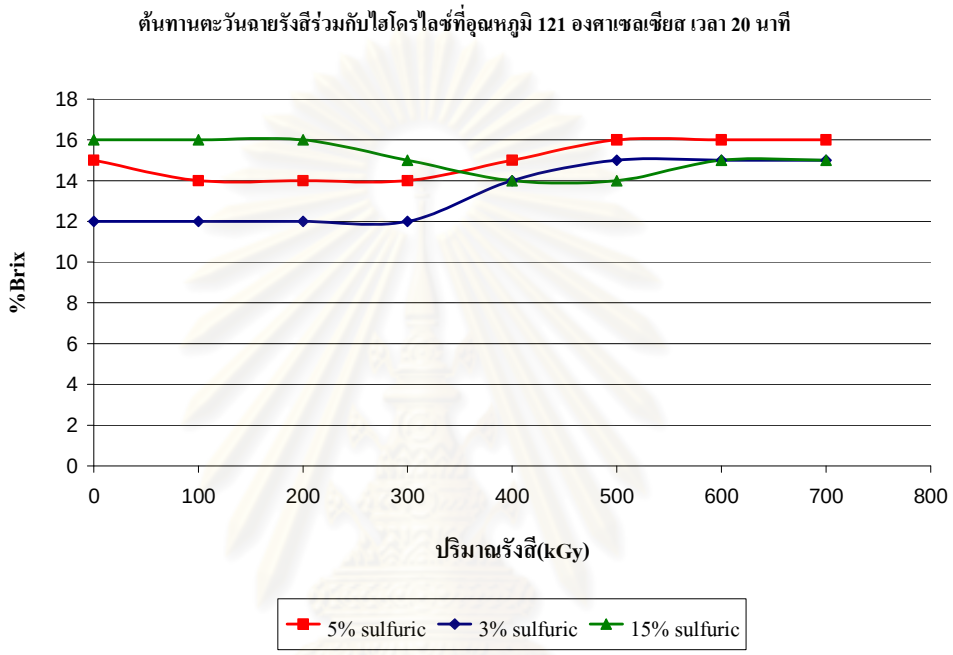
รูปที่ 4.22 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15 นาที

จากรูปที่ 4.22 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3% เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ที่ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 8% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เป็นเวลา 15 นาที พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy หลังจากนั้น %Brix มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงปริมาณรังสี 300-500 kGy และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยที่ %Brix สูงสุดมีค่าเท่ากับ 13% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 500, 600 และ 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 14% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที พบว่า มีค่ามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-400 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าเกือบคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 400-700 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.5% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 14% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉาย

รังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 15 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี หลังจากนั้นเมื่อต้นทานตะวันได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-500 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าเกือบคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 16% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 500, 600 และ 700 kGy



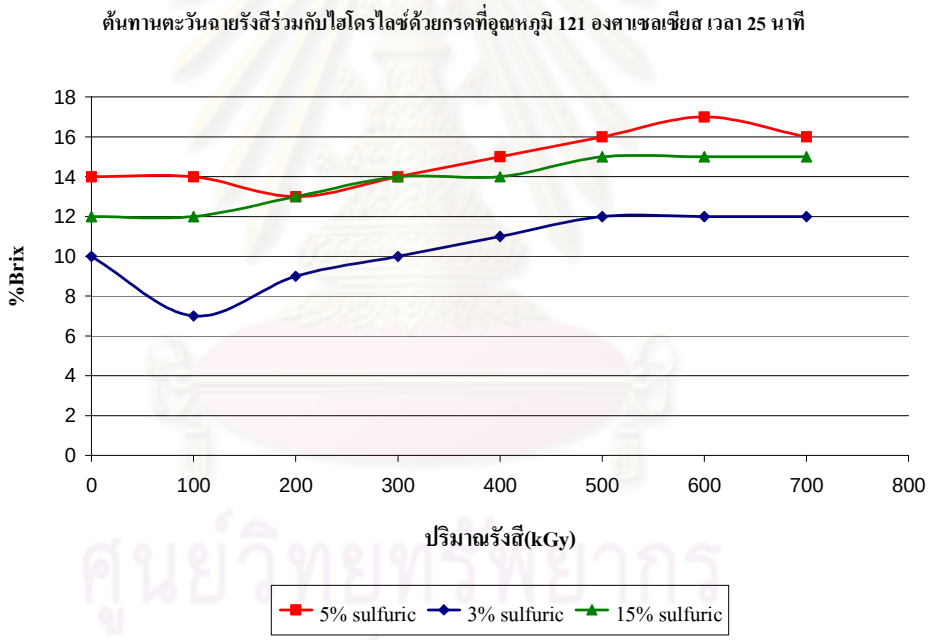
รูปที่ 4.23 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.23 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3% เป็นเวลา 20 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ที่ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 12% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เป็นเวลา 20 นาที พบว่า ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 300-500 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มเกือบคงที่ ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 500, 600 และ 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 20 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 15% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึง

นำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 20 นาที พบว่า %Brix มีค่าลดลงจากกรณีไม่ฉายรังสี และมีค่าเท่ากับ 14% ในช่วงปริมาณรังสี 100-300 kGy. หลังจากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 300-500 kGy โดยที่ %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 16% ที่ปริมาณรังสี 500 kGy และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 16% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที พบว่า %Brix มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 100-200 kGy และมีแนวโน้มลดลงในช่วงปริมาณรังสี 200-400 kGy หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 400-500 kGy และ %Brix จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ปริมาณรังสี 600 kGy และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 600-700 kGy โดยที่ %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 600 และ 700 kGy



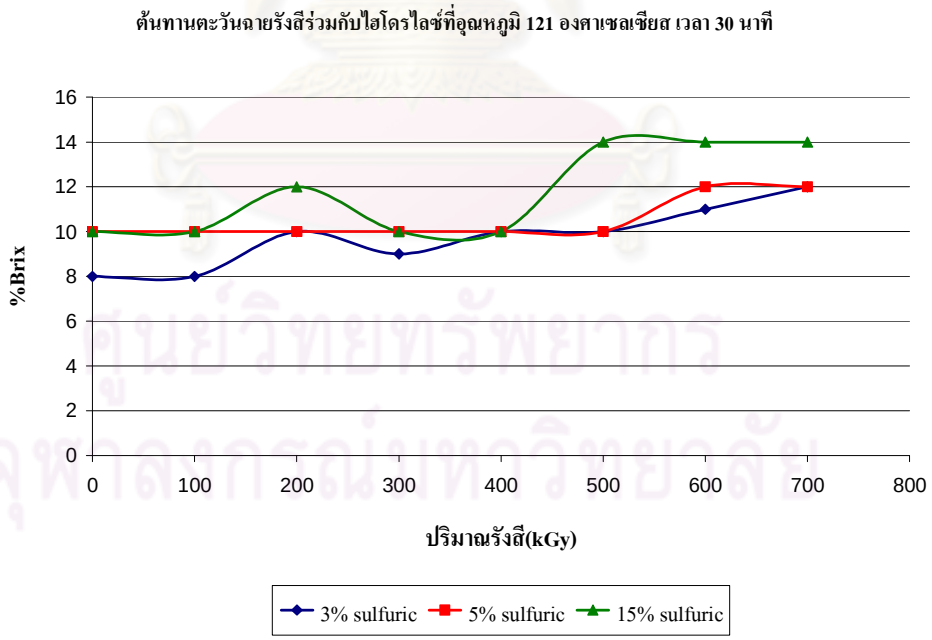
รูปที่ 4.24 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 25 นาที

จากรูปที่ 4.24 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3% เป็นเวลา 25 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ที่ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 10% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เป็นเวลา 25 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix

ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าลดลงจากกรณีไม่ฉายรังสี และมีค่าเท่ากับ 7% หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณรังสี 100-500 kGy โดยที่ %Brix มีค่าเท่ากับ 12% ที่ปริมาณรังสี 500 kGy และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 25 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 14% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 25 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และมีค่าลดลงเป็น 13% ที่ปริมาณรังสี 200 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 200-600 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 25 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 12% และในกรณีต้นทานตะวันที่นำไปฉายรังสีก่อนแล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 25 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-500 kGy หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยที่ %Brix มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15% ที่ปริมาณรังสี 500, 600 และ 700 kGy



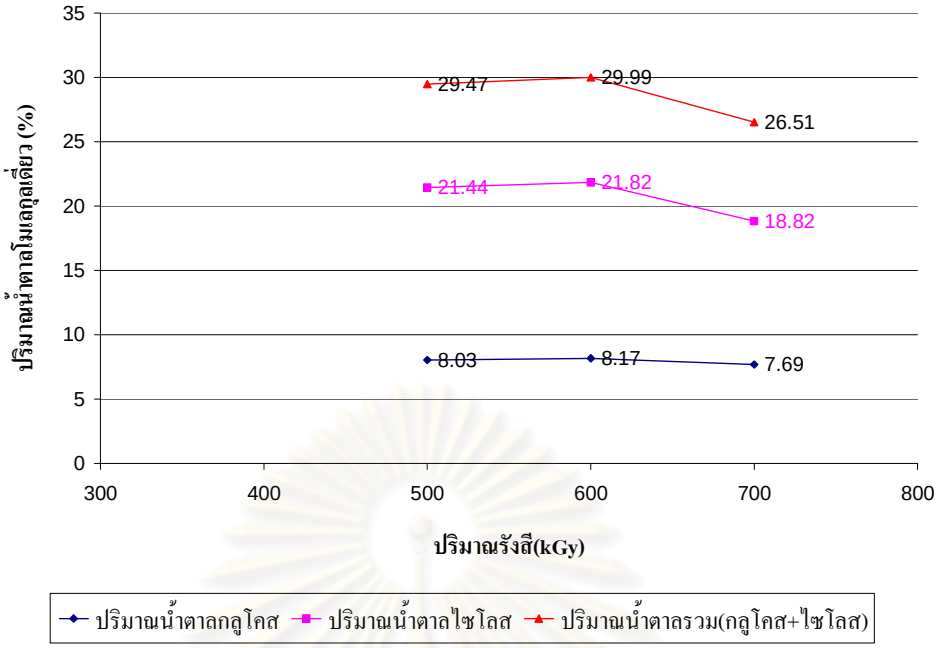
รูปที่ 4.25 ผลการฉายรังสีร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 30 นาที

จากรูปที่ 4.25 ผลการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3% เป็นเวลา 30 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี (ที่ปริมาณรังสี 0 kGy) พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับ 8% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3% เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10% ที่ปริมาณรังสี 200 kGy และมีค่าลดลงเล็กน้อยเป็น 9% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 30 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 10% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 30 นาที พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 100-500 kGy และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12% ที่ปริมาณรังสี 600 และ 700 kGy

เมื่อไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 30 นาที ในกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า %Brix ที่ได้มีค่าเท่ากับ 10% และในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีก่อนแล้วจึงนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ที่ปริมาณรังสี 100 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเท่ากับกรณีไม่ฉายรังสี และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12% ที่ปริมาณรังสี 200 kGy หลังจากนั้น %Brix จะมีค่าลดลงเป็น 10% ที่ปริมาณรังสี 300 kGy และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปริมาณรังสี 300-400 kGy หลังจากนั้น %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 14% ที่ปริมาณรังสี 500 kGy และมีแนวโน้มคงที่อีกครั้งหนึ่งในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy

จากรูปที่ 4.22-4.25 สรุปได้ว่า ในกรณีนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 100-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3%, 5% และ 15% เป็นเวลา 15-30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi พบว่า %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จะมีค่าสูงในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.5% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 700 kGy ในเงื่อนไขไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จึงนำตัวอย่างต้นทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.26

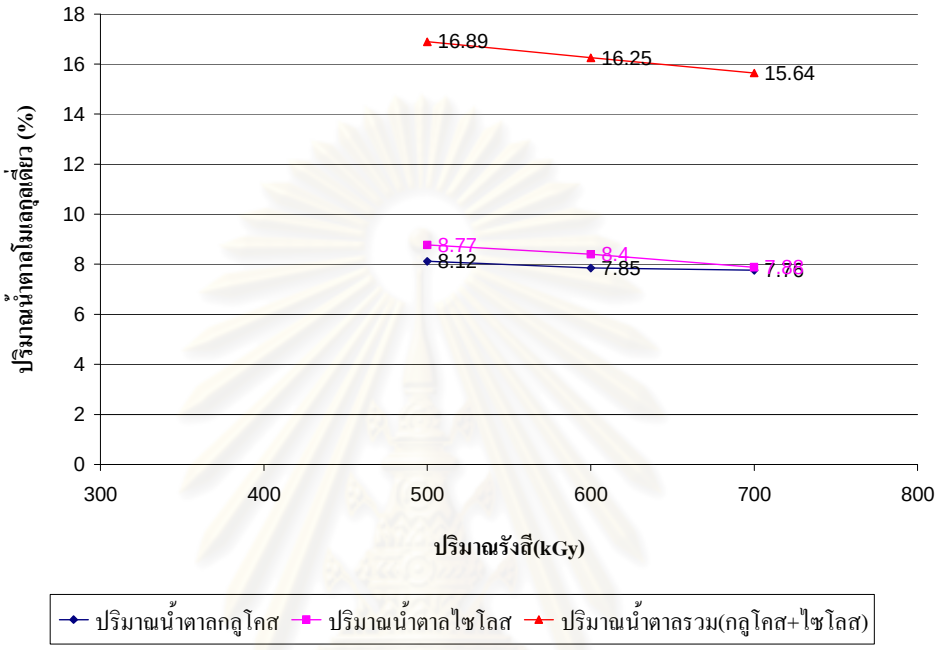


รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (%) ในต้นทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi

จากรูปที่ 4.26 พบว่า เมื่อนำต้นทานตะวันไปฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGyแล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ในช่วงปริมาณรังสี 500-600 kGy โดยปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมีค่าเท่ากับ 29.47% และ 29.99% ตามลำดับ และที่ปริมาณรังสี 700 kGy ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมีค่าลดลง เป็น 26.51% เนื่องจากน้ำตาลไซโลสที่ไฮโดรไลซ์ได้มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ฉายรังสี ที่เงื่อนไขเดียวกันในการไฮโดรไลซ์ คือ ไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยไม่ต้องฉายรังสี พบว่าในกรณีนี้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 19.32% ซึ่งน้อยกว่ากรณีฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy ก่อน แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การฉายรังสีต้นทานตะวันในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy ก่อนที่จะนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเพิ่มขึ้นจากเดิม

ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันในกรณีที่มีการฉายรังสี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 29.99% ในเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 600 kGy คิดเป็น 51.21% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน (ตามตารางที่ 4.5) แสดงว่า ในกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ยังมีเส้นใยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงทดลองนำกากที่เหลือ

จากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละเงื่อนไข ได้แก่ กากของต้นทานตะวันที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที มาไฮโดรไลซ์ซ้ำ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากต้นทานตะวัน ที่ปริมาณรังสี 500-700 kGy โดยไฮโดรไลซ์กาก ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi

จากรูปที่ 4.27 เมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาเพิ่ม ในทุกเงื่อนไขของปริมาณรังสี ได้แก่

กากที่ปริมาณรังสี 500 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 16.89% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 46.36%

กากที่ปริมาณรังสี 600 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 16.25% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 46.24%

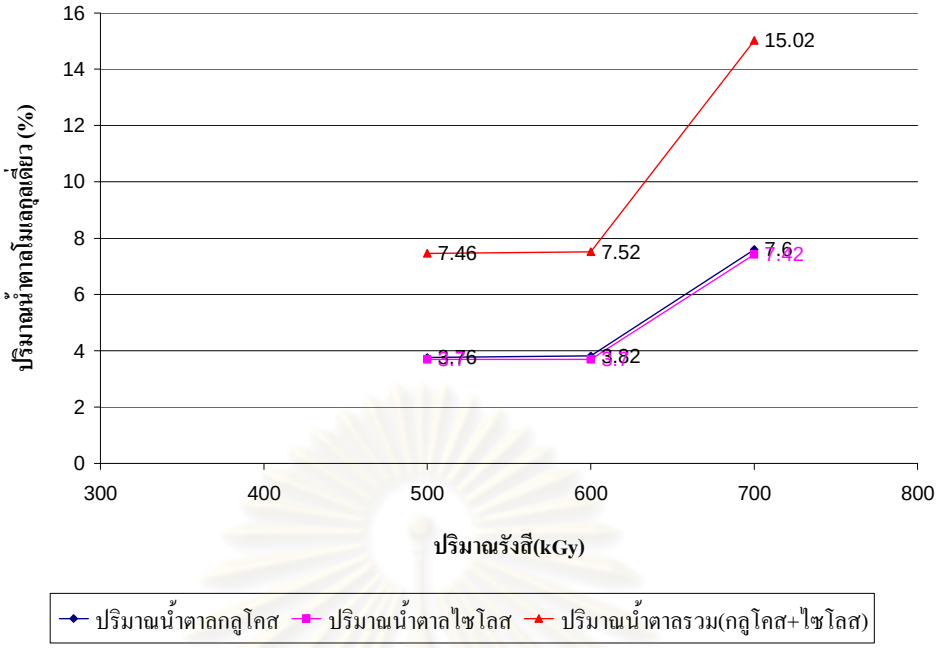
กากที่ปริมาณรังสี 700 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 15.64% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรก จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 42.15%

ดังนั้น จากผลการไฮโดรไลซ์กากที่เหลือ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psia จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 46.36% ที่เงื่อนไขของปริมาณรังสี 500 kGy ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สองครั้งนี้ คิดเป็น 79.17% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

เมื่อเทียบกับกรณีไม่ฉายรังสี คือ นำต้นทานตะวันไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psia ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมในการไฮโดรไลซ์สองครั้งเท่ากับ 30.83% คิดเป็น 52.65% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในต้นทานตะวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์สองครั้งกรณีฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy ก่อนแล้วจึงไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ซึ่งในกรณีที่สองได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมคิดเป็น 79.17% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

เมื่อสังเกตกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ในกรณีฉายรังสี พบว่า ยังคงเหลือเส้นใยอยู่เล็กน้อย จึงทดลองนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ในทุกปริมาณรังสี ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้ววิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สามด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (%) ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi

จากรูปที่ 4.28 เมื่อนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์สองครั้ง ไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สาม พบว่า ในทุกเงื่อนไขของกากที่ปริมาณรังสีต่างๆ เมื่อนำไปไฮโดรไลซ์ต่อในครั้งที่สาม จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาอีก โดยปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์กากในครั้งที่สาม เป็นดังนี้

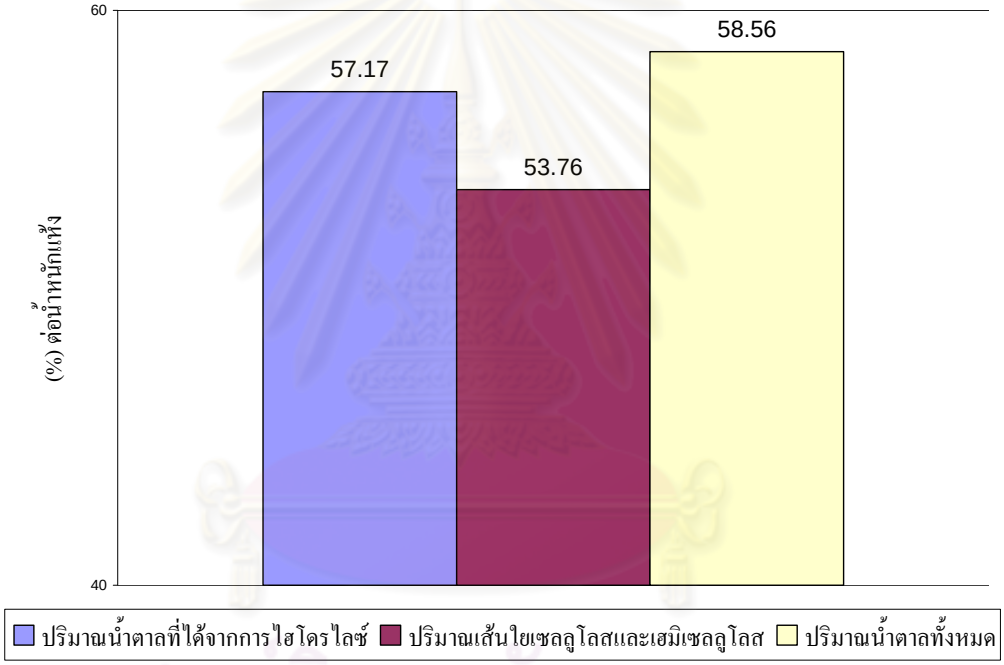
กากที่ปริมาณรังสี 500 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.46% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 53.86%

กากที่ปริมาณรังสี 600 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 7.52% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 53.76%

กากที่ปริมาณรังสี 700 kGy เมื่อไฮโดรไลซ์ครั้งที่สาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 15.02% เมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกและครั้งที่สอง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด 57.17%

จากผลการไฮโดรไลซ์สามครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม มีค่าสูงสุดคือ 57.17% ในเงื่อนไขต้นทานตะวันฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อ ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi และนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C, 15 psi ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์คิดเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ซึ่งสรุปได้ว่า สามารถย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในต้นทานตะวันให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้เกือบทั้งหมด

เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันกรณีฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่ออีกสามครั้ง กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันกรณีฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่ออีกสามครั้ง กับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

จากรูปที่ 4.29 ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน กรณีฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ต่ออีกสองครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาทีในแต่ละครั้ง จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเท่ากับ 57.17% คิดเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

ทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน และคิดเป็น 106.34% ของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันที่มีในต้นทานตะวัน

4.9 เปรียบเทียบผลการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันและต้นทานตะวัน ในกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก

4.9.1 ในกรณีฐานดอกทานตะวัน

เปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก

กรณีไม่ฉายรังสี	กรณีฉายรังสี
1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ 121 ^{0}C, 15 psi 2. ไม่ต้องฉายรังสี 3. เงื่อนไขในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสมคือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที รวมจำนวนในการไฮโดรไลซ์ 2 ครั้ง 4. ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสมเท่ากับ 25.83% คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน	1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ 121 ^{0}C, 15 psi 2. ปริมาณรังสีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 300-700 kGy 3. เงื่อนไขในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสมคือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที รวมจำนวนในการไฮโดรไลซ์ 3 ครั้ง 4. ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสมเท่ากับ 22.48% คิดเป็น 50.86% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน

สำหรับฐานดอกทานตะวัน วิเคราะห์ได้ว่า โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในฐานดอกทานตะวันมีลักษณะเอื้อต่อการย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้น 1%-15%) ถึงแม้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

รวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง จะคิดเป็นเพียง 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน แต่ถ้าเทียบกับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีในฐานดอกทานตะวันซึ่งมีอยู่เพียง 19.26% การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางในเงื่อนไขที่เหมาะสมก็สามารถย่อยสลายเส้นใยสองชนิดดังกล่าวออกมาได้เกือบหมด ทั้งนี้ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ ASTM Standard นั้น ใช้วิธีวิเคราะห์โดยการย่อยสลายเส้นใยทั้งหมดที่มีอยู่ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นสูง (รายละเอียดวิธีวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ง.) ซึ่งทำให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการย่อยสลายเส้นใยนั้น มาจากหลายองค์ประกอบที่มีอยู่ในฐานดอก โดยเฉพาะในกรณีของเพคติน ซึ่งมีอยู่มากถึง 22% เพคตินสามารถถูกย่อยสลายด้วยกรดเข้มข้นสูงหรือเอนไซม์ของจุลินทรีย์บางชนิดให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ แต่ไม่ถูกย่อยสลายโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง ทำให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกตามงานวิจัยนี้ คิดเป็นเพียง 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานดอกทานตะวัน (ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วเบื้องต้นในหน้า 43)

เปรียบเทียบกับกรณีฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy พบว่า เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกในเงื่อนไขที่เหมาะสม กลับให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมาน้อยกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และเมื่อพิจารณาในขั้นตอนของการนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ซ้ำ พบว่า กรณีฉายรังสีต้องใช้จำนวนครั้งในการไฮโดรไลซ์ซ้ำมากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี และระยะเวลาทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์ก็ยาวนานกว่ากรณีไม่ฉายรังสี (กรณีไม่ฉายรังสีใช้ระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ทั้งหมดประมาณ 35 นาที แต่กรณีฉายรังสีใช้ระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ทั้งหมดประมาณ 135 นาที) ดังนั้น จึงวิเคราะห์ได้ว่า เส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีในฐานดอกทานตะวัน ไม่เหมาะสมในการฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 100-700 kGy ก่อนนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง

ดังนั้น จากตารางที่ 4.8 จึงสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน คือ ไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที

4.9.2 ในกรณีต้นทานตะวัน

เปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบกรณีไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก โดยไม่ฉายรังสี และกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก

กรณีไม่ฉายรังสี	กรณีฉายรังสี
1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ 121 ^{0}C, 15 psi 2. ไม่ต้องฉายรังสี 3. เงื่อนไขในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสมคือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง, สาม และสี่ ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที รวมจำนวนในการไฮโดรไลซ์ 4 ครั้ง 4. ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสมเท่ากับ 37.63% คิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน	1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ 121 ^{0}C, 15 psi 2. ปริมาณรังสีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 500-700 kGy 3. เงื่อนไขในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสมคือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที รวมจำนวนในการไฮโดรไลซ์ 3 ครั้ง 4. ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสมเท่ากับ 57.17% คิดเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

สำหรับต้นทานตะวัน วิเคราะห์ได้ว่า โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีในต้นทานตะวัน มีลักษณะไม่เอื้อต่อการย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง ดังจะเห็นได้ว่า การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางในเงื่อนไขที่เหมาะสม ต้องใช้จำนวนครั้งทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์ถึง 4 ครั้ง และได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมออกมาเพียง 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน แสดงว่าในกากที่เหลือในการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 4 ก็ยังคงมีเส้นใยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ทั้งหมดรวมสี่ครั้งประมาณ 95 นาที

เปรียบเทียบกับกรณีฉายรังสี ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง พบว่า เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกในเงื่อนไขที่เหมาะสม ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคิดเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ซึ่งถือว่าสามารถย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในต้นทานตะวันให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้เกือบทั้งหมด วิเคราะห์ได้ว่า เส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในต้นทานตะวันเมื่อถูกฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 500-700 kGy จะมี

ลักษณะเอื้อต่อการนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง ดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเทียบกับกรณีไม่ฉายรังสี เมื่อคิดระยะเวลาทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์รวมสามครั้งประมาณ 135 นาที ถึงแม้จะใช้เวลามากกว่ากรณีไม่ฉายรังสี แต่ถ้าพิจารณาถึงปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ต้องใช้ไปทั้งหมดในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันแล้วกรณีฉายรังสีใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกน้อยกว่า และมีจำนวนครั้งในการไฮโดรไลซ์น้อยกว่า จึงสะดวกในทางปฏิบัติมากกว่า

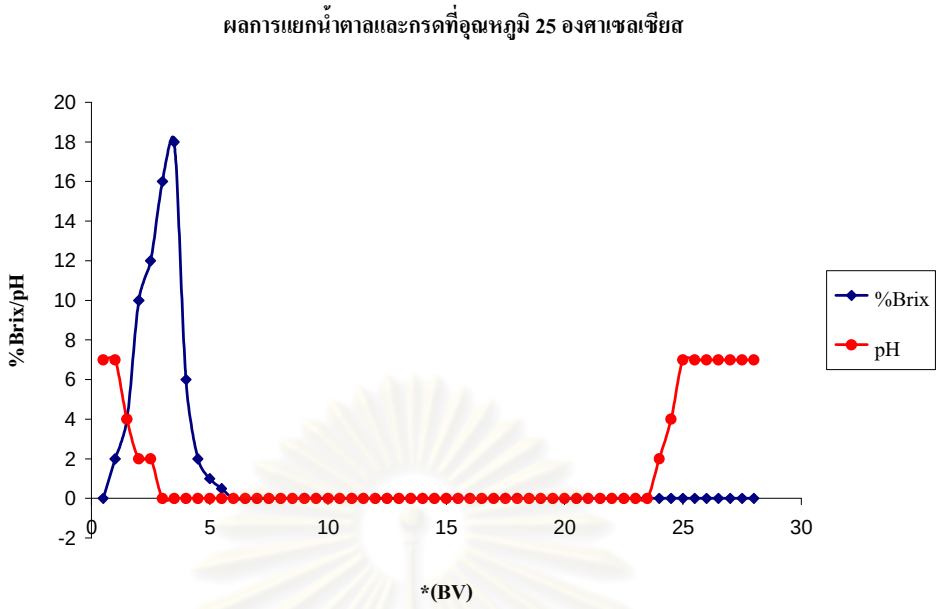
ดังนั้น จากตารางที่ 4.9 จึงสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน คือ การฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที

4.10 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดด้วยวิธี Ion exclusion เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่

การทดลองในขั้นตอนนี้ ทำการเตรียมสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ขึ้น 3 ชนิด เพื่อเป็นแบบจำลองสำหรับใช้เป็นตัวแทนของสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จริง ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดโดยใช้สารละลายที่เตรียมขึ้น 3 ชนิดนี้ จะถูกใช้เป็นแนวทางในการสรุปผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดที่ได้จากสารละลายในการไฮโดรไลซ์จริงด้วย

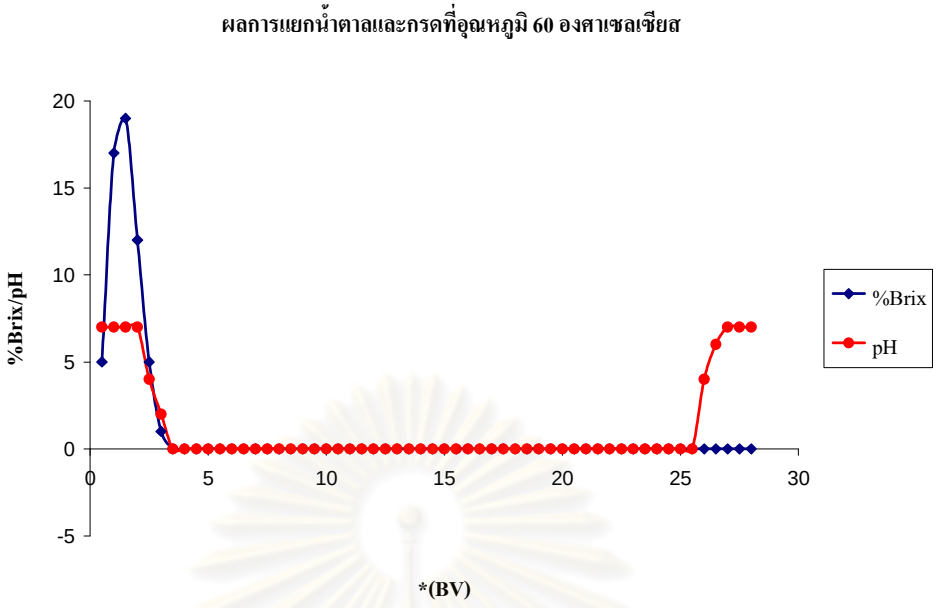
4.10.1 ผลของอุณหภูมิในการแยกน้ำตาลออกจากกรดโดยใช้วิธี Ion exclusion

นำ *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A* ที่เตรียมโดยละลายน้ำตาล 20 กรัม ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% จนได้สารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายมาปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผ่านสารละลายลงในคอลัมน์ที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับอุณหภูมิใน Chamber (รายละเอียดของ chamber ควบคุมอุณหภูมิอยู่ในภาคผนวก จ.) ให้มีค่าแตกต่างกัน ได้แก่ 25 ^{0}C, 45 ^{0}C และ 60 ^{0}C จากนั้นวัด %Brix และ pH ของสารละลายขาออก ได้ผลดังรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.30 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C

รูปที่ 4.31 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C



รูปที่ 4.32 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

หมายเหตุ : ในรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32, *(BV) หมายถึง จำนวนเท่าของ Bed Volume ซึ่ง Bed Volume ของคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง มีปริมาตรเท่ากับ 15 มิลลิลิตร, อุณหภูมิที่กำหนดเป็นอุณหภูมิภายใน Chamber

เมื่อเติมสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกลงไปในคอลัมน์ เรซินจะทำหน้าที่จับไอออนบวกไว้ในคอลัมน์ (เรซินที่ใช้เป็น Cation resin) (DOWEX, XIII water -D-Ion exchange resins) ดังนั้น กรดจะถูกจับไว้ในเรซิน เมื่อปล่อยสารละลายให้ไหลออกจากคอลัมน์ทางด้านล่างในแนวเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก น้ำตาลที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกจะไม่ถูกจับไว้ด้วยเรซิน จึงไหลออกมาพร้อมกับสารละลายขาออก แต่กรดจะไหลออกจากคอลัมน์ปนมากับสารละลายขาออกได้ช้ากว่าน้ำตาลเนื่องจากถูกจับไว้ด้วยเรซิน ทั้งนี้ ถ้ากรดถูกจับไว้ด้วยเรซินอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของคอลัมน์ขณะทำการทดลอง น้ำตาลจะไหลออกมาก่อน และกรดจะไหลออกมาจากคอลัมน์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.30 พบว่า %Brix มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0-18% ในช่วง 0-4 BV และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4-6 BV ดังนั้น น้ำตาลจะออกมาหมดในช่วง 0-6 BV เมื่อพิจารณาในช่วงที่น้ำตาลออกมามาก คือในช่วง 0-5 BV พบว่า เมื่อวัดค่า pH ของสารละลายขาออก เริ่มมีค่าต่ำกว่า 7 ตั้งแต่ 1BV เป็นต้นไป นั่นคือ ในสารละลายขาออกเริ่มมีกรดปนออกมาด้วย และในช่วงที่น้ำตาลส่วนใหญ่กำลังไหลออกจากคอลัมน์ คือ ช่วงพีคของกราฟ %Brix เมื่อพิจารณาค่า pH ของ

สารละลายขาออกพบว่า มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าช่วงที่น้ำตาลส่วนใหญ่กำลังไหลออกจากคอลัมน์ จะมีกรดไหลปนออกมาด้วย ทำให้สรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ไม่สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดได้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.31 พบว่า %Brix มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0-17% ในช่วง 0-4 BV และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4-5.5 BV ดังนั้น น้ำตาลจะออกมาหมดในช่วง 0-5.5 BV เมื่อพิจารณาในช่วงที่น้ำตาลออกมามาก คือในช่วง 0-4 BV พบว่า เมื่อวัดค่า pH ของสารละลายขาออก เริ่มมีค่าต่ำกว่า 7 ตั้งแต่ 2BV เป็นต้นไป นั่นคือ ในสารละลายขาออกเริ่มมีกรดปนออกมาด้วย และในช่วงที่น้ำตาลส่วนใหญ่กำลังไหลออกจากคอลัมน์ คือ ช่วงพีคของกราฟ %Brix เมื่อพิจารณาค่า pH ของสารละลายขาออกพบว่า มีค่าเท่ากับ 2 แสดงว่าช่วงที่น้ำตาลส่วนใหญ่กำลังไหลออกจากคอลัมน์ จะมีกรดซัลฟิวริกไหลปนออกมาด้วย ทำให้สรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C แยกน้ำตาลออกจากกรดได้ไม่ดี

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.32 พบว่า %Brix มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0-19% ในช่วง 0-2 BV และลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 2-4 BV ดังนั้นน้ำตาลจะออกมาหมดในช่วง 0-4 BV เมื่อพิจารณาในช่วงที่น้ำตาลออกมามาก คือ ในช่วง 0-3 BV พบว่า เมื่อวัดค่า pH ของสารละลายขาออก ยังคงมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่า ในขณะที่น้ำตาลเกือบทั้งหมดกำลังไหลออกจากคอลัมน์ กรดยังคงถูกจับไว้ในคอลัมน์ และเมื่อน้ำตาลไหลออกจากคอลัมน์จนเกือบหมดแล้ว กรดจึงเริ่มไหลออกจากคอลัมน์ ดังจะเห็นได้จากกราฟของ pH ที่มีค่าต่ำกว่า 7 ในช่วง 3BV เป็นต้นไป ซึ่งน้ำตาลไหลออกมาเกือบหมดแล้ว จึงสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดได้ดี

ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกน้ำตาลออกจากกรดโดยวิธี Ion exclusion คือ ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

4.10.2 ผลการหา %Recovery ของน้ำตาล

นำ *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B และ C* ที่เตรียมไว้นำสารละลายแต่ละชนิดมา ชนิดละ 20 มิลลิลิตร ผ่านสารละลายแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 60 ^{0}C และวัดวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลในสารละลายขาออกในช่วงที่ pH ยังคงเป็น 7 ด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดในสารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในกรดซัลฟิวริก ชนิด B

ชนิดน้ำตาล	Input(mg)	Output(mg)	%Recovery(by weight)
Glucose	235.70±0.004	232.73±0.06	98.74±0.03
Xylose	303.92±0.01	277.50±0.71	91.31±0.24
Arabinose	260.22±0.26	255.72±0.10	98.37±0.14
Galactose	353.17±0.23	232.70±0.57	65.86±0.20
Total	1153.00±0.031	998.57±1.11	93.10±0.03

สารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันในเงื่อนไขที่เหมาะสม ความเข้มข้นของน้ำตาลชนิดต่างๆที่มีใน *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B* มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันในเงื่อนไขที่เหมาะสม ดังนั้น ผลการทดลองแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้*สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B* จึงใช้เป็นแนวทางในการสรุปผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด ในกรณีสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วย

เมื่อนำสารละลายขาออก ปริมาตรรวม 28 มิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีค่า pH เป็น 7 นั่นคือช่วงที่ยังไม่มีกรดไหลออกมา ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลที่ละลายอยู่ในสารละลายขาออก ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารละลายขาออกเท่ากับ 93.10% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เติมลงไป โดย ได้น้ำตาลกลูโคสละลายในสารละลายขาออกคิดเป็น 98.74% ของปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เติมลงไป ได้น้ำตาลไซโลสในสารละลายขาออกคิดเป็น 91.31% ของปริมาณน้ำตาลไซโลสที่เติมลงไป ได้น้ำตาลอะราบิโนสในสารละลายขาออกคิดเป็น 98.37% ของปริมาณน้ำตาลอะราบิโนสที่เติมลงไป และได้น้ำตาลกาแลกโทสในสารละลายขาออกคิดเป็น 65.86% ของปริมาณน้ำตาลกาแลกโทสที่เติมลงไป

เมื่อพิจารณาจาก %Recovery ของน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่า น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลอะราบิโนส ถูกแยกออกจากกรดโดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C ได้ง่าย แสดงว่า น้ำตาลทั้งสองชนิดนี้ มีความสามารถในการไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin ได้ดีมาก จึงไหลออกมาจากคอลัมน์ได้เกือบทั้งหมดก่อนที่กรดจะเริ่มไหลลงมาตาม และน้ำตาลไซโลสก็มี %Recovery ดีรองลงมา แสดงว่า มีความสามารถในการไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin ภายใต้อุณหภูมิ 60 ^{0}C ได้ดี จึงไหลออกมาจากคอลัมน์ได้เกือบทั้งหมด และน้ำตาลกาแลกโทส มี %Recovery ต่ำที่สุด

แสดงว่า มีความสามารถในการไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin ภายใต้อุณหภูมิ 60 ^{0}C ได้ไม่ดี ดังนั้น จะยังคงเหลือน้ำตาลกาแลกโทสอีกบางส่วนที่ยังค้างอยู่ในคอลัมน์ และสามารถถูกล้างออกมาจากคอลัมน์ได้พร้อมกันกับกรด แต่เมื่อพิจารณา %Recovery โดยรวมแล้วมีค่ามากกว่า 90% ก็ถือว่า การแยกน้ำตาลออกจากกรด ในกรณี *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B* ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน สรุปได้ว่า สามารถนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก ไปแยกน้ำตาลออกจากกรดได้ โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C โดยน้ำตาลทั้งหมดที่แยกได้มีค่าเป็น 93.10% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีในสารละลายก่อนทำการแยก

ตารางที่ 4.11 ผลการแยกน้ำตาลออกจากกรดในสารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C

ชนิดน้ำตาล	Input(mg)	Output(mg)	%Recovery(by weight)
Glucose	417.96±0.21	413.65±0.34	98.97±0.03
Xylose	511.55±0.20	497.91±0.35	97.33±0.11
Total	929.51±0.01	911.56±0.69	98.10±0.08

สารละลายของน้ำตาล ที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันในเงื่อนไขที่เหมาะสม ความเข้มข้นของน้ำตาลชนิดต่างๆที่มีใน *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C* มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันในเงื่อนไขที่เหมาะสม ดังนั้น ผลการทดลองแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้*สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C* จึงใช้เป็นแนวทางในการสรุปผลการแยกน้ำตาลออกจากกรด ในกรณีสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วย

เมื่อนำสารละลายขาออก ปริมาตรรวม 28 มิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีค่า pH เป็น 7 นั่นคือช่วงที่ยังไม่มีกรดไหลออกมา ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลที่ละลายอยู่ในสารละลายขาออก ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารละลายขาออกเท่ากับ 98.10% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เติมลงไป โดย ได้น้ำตาลกลูโคสละลายในสารละลายขาออกคิดเป็น 98.97% ของปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เติมลงไป ได้น้ำตาลไซโลสในสารละลายขาออกคิดเป็น 97.33% ของปริมาณน้ำตาลไซโลสที่เติมลงไป

เมื่อพิจารณา %Recovery ของน้ำตาลทั้งสองชนิด พบว่า มีค่ามากกว่า 95% ซึ่งถือได้ว่า การทดลองนี้ สามารถแยกน้ำตาลกลูโคสและไซโลส ที่มีอยู่ใน*สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C* ออกมาได้เกือบทั้งหมด ดังนั้น การแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}c สามารถแยกน้ำตาลออกจากสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกในเงื่อนไขที่เหมาะสมได้ โดยน้ำตาลที่แยกออกมาได้ทั้งหมดคิดเป็น 98.10% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลายก่อนทำการแยก

ดังนั้น จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการไฮโดรไลซ์ฐานดอกและต้นทานตะวันในเงื่อนไขที่เหมาะสม สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ทั้งในกรณีฐานดอกทานตะวันและในกรณีต้นทานตะวัน สามารถนำไปแยกน้ำตาลออกจากกรดที่ปนอยู่ในสารละลายได้ด้วยวิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C ซึ่งจะได้ %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมดที่แยกได้ ในกรณีสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันมีค่าเท่ากับ 93.10% และในกรณีสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันมีค่าเท่ากับ 98.10%

4.10.3 ผลการหา %Recovery ของกรด เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่

นำ *สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A* แบ่งมา 20 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในคอลัมน์ ปรับอุณหภูมิของ Chamber เป็น 60 ^{0}C เมื่ออุณหภูมิของ Chamber เพิ่มขึ้นถึง 60 ^{0}C ดังที่กำหนด จับเวลา 20 นาที จากนั้นเปิดวาล์วด้านล่างของคอลัมน์ วัด pH ของสารละลายที่ไหลออกจากคอลัมน์ จน pH เริ่มมีค่าต่ำกว่า 7 เล็กน้อย จึงปิดวาล์ว ดังนั้นกรดซึ่งถูกจับไว้ด้วยเรซินจึงยังไม่ไหลออกมา จากนั้นชะล้างกรดออกจากเรซินด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายขาออกที่ถูกล้างด้วยน้ำกลั่น ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.06 โมลต่อลิตร ทำซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ชะล้างกรดออกจากคอลัมน์เป็น 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ผลการหา %Recovery ของกรด ในกรณีชะล้างกรดออกจากคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตรต่างๆกัน เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่

ปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้ล้าง (ml)	% sulfuric of outlet solution	mass of sulfuric(g)(outlet)	% recovery (by weight)
5	18.50±0.87	0.92±0.04	36.27±1.70
10	12.50±0.87	1.25±0.09	49.02±3.40
15	11.50±0.50	1.72±0.07	67.65±2.94
20	9.12±0.22	1.82±0.04	71.57±1.70

หมายเหตุ : ไทเทรตหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.06 โมลต่อลิตร, สารละลายน้ำตาลในกรดเริ่มต้น ไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 12.74% คิดเป็นมวลเท่ากับ 2.55 กรัม ใน 20 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.12 เมื่อชะล้างกรดที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร พบว่าได้กรดออกมาเข้มข้น 18.50% โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งถือว่าเข้มข้นมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่เติมลงไป (12.74%) แต่เนื่องจากน้ำกลั่นที่ใช้ล้างมีปริมาตรเพียง 5 มิลลิลิตร จึงชะล้างกรดออกมาได้เพียงส่วนหนึ่ง คิดเป็นเพียง 36.27% ของปริมาณกรดที่เติมลงไป แสดงว่ากรดส่วนใหญ่ยังคงเหลือค้างอยู่ในคอลัมน์ จึงต้องใช้น้ำกลั่นปริมาตรมากกว่า 5 มิลลิลิตร เมื่อทดลองชะล้างกรดด้วยน้ำกลั่นปริมาตรมากขึ้นเป็น 10 มิลลิลิตร พบว่าได้กรดออกมาเข้มข้น 12.50% โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งถือว่าเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่เติมลงไป แต่เมื่อคำนวณหาปริมาณของเนื้อกรด พบว่า มีค่าเป็น 49.02% ของปริมาณกรดทั้งหมดที่เติมลงไป แสดงว่า ยังคงมีกรดเหลือค้างอยู่ในคอลัมน์ เมื่อชะล้างกรดด้วยน้ำกลั่นปริมาตรมากขึ้นอีกเป็น 15 มิลลิลิตร พบว่า ได้กรดออกมาเข้มข้น 11.50% โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งถือว่าน้อยกว่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่เติมลงไปเล็กน้อย และปริมาณกรดที่ล้างได้ด้วยน้ำกลั่นคิดเป็น 67.65% ของปริมาณกรดทั้งหมดที่เติมลงไป แสดงว่ายังคงมีกรดเหลือค้างอยู่ในคอลัมน์อีกส่วนหนึ่ง และเมื่อชะล้างกรดด้วยน้ำกลั่นปริมาตรมากขึ้นเป็น 20 มิลลิลิตร พบว่า ได้กรดออกมาเข้มข้น 9.12% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่เติมลงไปเล็กน้อย และปริมาณกรดที่ล้างได้ด้วยน้ำกลั่นคิดเป็น 71.57% ของปริมาณกรดทั้งหมดที่เติมลงไป ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติในการนำกรดกลับมาใช้ใหม่ การชะล้างกรดในคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 15 หรือ 20 มิลลิลิตร มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติ เพราะความเข้มข้นของกรดที่ล้างได้นั้น

สามารถที่จะนำไปปรับความเข้มข้นให้มีค่าสูงขึ้น ได้ง่าย ส่วนในกรณีที่ล้างกรดด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาตรน้อยกว่านี้ ปริมาณกรดที่ชะล้างได้นั้นถือว่ายังไม่เพียงพอเนื่องจากยังไม่ถึง 50% ของปริมาณกรดที่เติมลงไป กรดส่วนใหญ่จึงยังค้างอยู่ในคอลัมน์ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของกรดที่ชะล้างได้นั้นจะมีความเข้มข้นสูงก็ตาม ส่วนในกรณีที่ชะล้างกรดในคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นที่มีปริมาตรมากกว่า 20 มิลลิลิตรนั้น จะสามารถชะล้างกรดที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ออกมาได้ปริมาณมากขึ้น แต่ความเข้มข้นของกรดที่ชะล้างได้นั้นจะเจือจางลงมาก ไม่เหมาะสมที่จะนำมาปรับความเข้มข้นเพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่

จึงสรุปได้ว่า ปริมาตรของน้ำกลั่นที่เหมาะสมในการชะล้างกรดออกจากคอลัมน์ที่มีขนาดของ Bed Volume อยู่ที่ 15 มิลลิลิตร คือ ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร ล้างในทิศทางจากบนลงล่างในแนวเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก ที่อุณหภูมิของ Chamber เป็น 60 ^{0}C จะได้สารละลายกรดขาออก มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9-12% โดยมวลต่อปริมาตร และมี %Recovery ของกรดเท่ากับ 67-72%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลจากฐานดอก และต้นทานตะวัน โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด และฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด และหาวิธีในการแยกน้ำตาลออกจากกรด และนำกรดกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เรซิน โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

การทดลองตอนที่ 2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

การทดลองตอนที่ 3 การแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยวิธี Ion exclusion

ผลการวิจัยเป็นดังนี้

สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

เมื่อนำฐานดอกทานตะวันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว มาคัดแยกเมล็ดออก ตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 710 □m. ถึง 300 μm. จากนั้นนำเข้าเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้ตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่พร้อมนำไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก จากนั้นนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันไปวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยด้วยวิธีของ Van Soest พบว่า ในฐานดอกทานตะวันมีเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันเท่ากับ 19.26% ซึ่งถือว่ามีไม่มากนัก เส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ ได้โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกจากนั้นนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดโดยวิธีของ ASTM Standard พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน มีเท่ากับ 44.20% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในฐานดอกทานตะวันมีเส้นใยชนิดอื่น ได้แก่ เส้นใยเพคติน ที่เมื่อถูกย่อยสลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นสูงๆ ดังวิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลของ ASTM Standard จะสามารถเปลี่ยนเป็น

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในฐานดอกทานตะวันที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่าปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จากนั้นนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวัน ตัวอย่างละ 2 กรัม มาใส่ขวดสำหรับ Autoclave เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงไปในขวด โดยแต่ละขวดใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่างๆกัน ได้แก่ 1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 12%, และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ด้วย water bath ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลาแตกต่างกัน ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ และวัด %Brix ด้วย Refractometer สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกค่าต่างๆ กับเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ เปรียบเทียบกับกรณีนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ด้วยเครื่อง Autoclave พบว่า %Brix สูงสุดของทุกเงื่อนไขความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi มีค่ามากกว่ากรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ที่ความดันบรรยากาศ จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกคือ ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นหาเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม และระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ โดยเตรียมตัวอย่างฐานดอกทานตะวัน ตัวอย่างละ 2 กรัม มาใส่ขวดสำหรับ Autoclave เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงไปในขวด โดยแต่ละขวดใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่างๆกัน ได้แก่ 3%, 5%, และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ และวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเครื่อง HPLC พบว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก มีค่าสูงสุดเท่ากับ 25.83% เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปไฮโดรไลซ์ครั้งแรกที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่สอง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสม คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน

เมื่อนำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสี ที่ปริมาณรังสีในช่วง 100-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 3%, 5% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์และวัด %Brix ด้วย Refractometer พบว่าในช่วง 100-300 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงที่สุดที่ปริมาณรังสี 300 kGy จากนั้น %Brix จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และกลับมาเพิ่มอีกครั้งที่ปริมาณรังสีในช่วง 500-700 kGy โดย %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน มีค่าสูงสุดเป็นไปได้

ในสองเงื่อนไขคือ เงื่อนไขนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 300 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที และเงื่อนไขนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาทีเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในกรณีฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกคือ ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 300 kGy หรือ 700 kGy หลังจากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน ในตัวอย่างที่ฉายรังสีในช่วงปริมาณรังสี 300-700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อครั้งแรก โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi และนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ในแต่ละครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในแต่ละครั้งมาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ และวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวม มีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.48% ในเงื่อนไขฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psia และนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองและสาม ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ในแต่ละครั้ง ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ คิดเป็น 50.86% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน จึงสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกได้ดังนี้ นำฐานดอกทานตะวันฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ซ้ำอีกสองครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ในแต่ละครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฉายรังสีแกมมาและกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า ในเงื่อนไขของการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมีค่ามากที่สุด ได้แก่ เงื่อนไขของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม และเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ เป็นไปในทางเดียวกันในทั้งสองกรณี ทั้งกรณีฉายรังสีและกรณีไม่ฉายรังสี คือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi และนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แต่จะแตกต่างกันในขั้นตอนของการนำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำ โดยในกรณีไม่ฉายรังสี นำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำครั้งเดียว โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที แต่ในกรณีฉายรังสี ต้องนำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำถึงสองครั้ง โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% และใช้เวลานานกว่าคือ ครั้งละ 60 นาที และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่

เหมาะสมในแต่ละกรณี พบว่า ในกรณีฉายรังสีแกมมา มีค่าเป็น 50.86% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน ในขณะที่กรณีไม่ฉายรังสี ให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมออกมามากกว่า คือ คิดเป็น 58.44% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในฐานดอกทานตะวัน ดังนั้น สำหรับฐานดอกทานตะวัน สรุปได้ว่า เมื่อนำฐานดอกทานตะวันไปฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสี ในช่วง 100-700 kGy ไม่มีผลทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ความเข้มข้นไม่เกิน 15%) และปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีค่าลดลงจากกรณีไม่ฉายรังสี 3.35%

สรุปผลการทดลองตอนที่ 2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก และสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก

เมื่อนำต้นทานตะวันที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว มาตากแดดให้แห้ง จากนั้นบดให้ละเอียดเป็นผง ด้วยเครื่องบด จนมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 710 □m. ถึง 300 □m. จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้ตัวอย่างต้นทานตะวันที่พร้อมนำไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในต้นทานตะวัน ด้วยวิธีของ Van Soest พบว่า มีปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสรวมกันเท่ากับ 53.76% ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆได้ โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวันด้วยวิธีของ ASTM Standard พบว่า มีค่าเท่ากับ 58.56% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีในต้นทานตะวัน และเมื่อพิจารณาจากกรณีเส้นใยอื่นๆที่มีในต้นทานตะวัน ได้แก่ เส้นใยเพคติน ซึ่งมีอยู่ในต้นทานตะวันประมาณ 4-7% ถึงแม้ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นสูง แต่ถือว่าส่งผลน้อยมากต่อปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยรวม ดังนั้นปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน จึงมาจากการย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เมื่อนำตัวอย่างต้นทานตะวัน ตัวอย่างละ 2 กรัม มาใส่ขวดสำหรับ Autoclave เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงไปในขวด โดยแต่ละขวดใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่างๆกัน ได้แก่ 1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 12, และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ด้วย water bath เป็นเวลาแตกต่างกัน ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ และวัด %Brix ด้วย Refractometer สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกค่าต่างๆ กับเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ เปรียบเทียบกับกรณีนำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ด้วยเครื่อง Autoclave พบว่า %Brix สูงสุดของทุกเงื่อนไขความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก ในกรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi มีค่ามากกว่า

กรณีไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ที่ความดันบรรยากาศ จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริกคือ ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นหาเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมและระยะเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ โดยเตรียมตัวอย่างต้นทานตะวัน ตัวอย่างละ 2 กรัม มาใส่ขวดสำหรับ Autoclave เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงไปในขวด โดยแต่ละขวดใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่างๆกัน ได้แก่ 3%, 5%, และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ และวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวันด้วยกรดซัลฟิวริก มีค่าสูงสุดเท่ากับ 37.63% เมื่อนำต้นทานตะวันไปไฮโดรไลซ์ครั้งแรกที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำอีกสามครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที ในแต่ละครั้ง ซึ่งปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ในเงื่อนไขที่เหมาะสม คิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน

เมื่อนำตัวอย่างต้นทานตะวันไปฉายรังสีแกมมา ที่ปริมาณรังสีในช่วง 100-700 kGy จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 3%, 5% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์และวัด %Brix ด้วย Refractometer พบว่า %Brix มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณรังสี 100-500 kGy และในช่วง 500-700 kGy %Brix ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มีแนวโน้มคงที่ โดย %Brix มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงปริมาณรังสี 500-700 kGy เมื่อนำต้นทานตะวันมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน ในกรณีฉายรังสีแกมมาในช่วงปริมาณรังสี 500, 600 และ 700 kGy แล้วนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ซ้ำอีกสองครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ในแต่ละครั้ง พบว่า ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์รวมทั้งสามครั้งมีค่าเท่ากับ 53.86%, 53.76% และ 57.17% ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดคือ 57.17% ในกรณีฉายรังสี 700 kGy ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้นี้ คิดเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน จึงสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟิวริกในกรณีต้นทานตะวันได้ดังนี้ นำต้นทานตะวันฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 700 kGy. จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แล้วนำกากที่

เหลือมาไฮโดรไลซ์ซ้ำอีกสองครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 60 นาที ในแต่ละครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฉายรังสีแกมมาและกรณีไม่ฉายรังสี พบว่า ในเงื่อนไขของการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมมีค่ามากที่สุด ได้แก่ เงื่อนไขของอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์ที่เหมาะสม และเงื่อนไขของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ เป็นไปในทางเดียวกันในทั้งสองกรณี ทั้งกรณีฉายรังสีและกรณีไม่ฉายรังสี คือ ไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi และนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ซ้ำด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ความดัน 15 psi แต่จะแตกต่างกันในขั้นตอนของการนำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำ โดยในกรณีไม่ฉายรังสี นำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำถึงสามครั้ง โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% เป็นเวลา 20 นาที แต่ในกรณีฉายรังสี นำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำสองครั้ง โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15% แต่ใช้เวลานานกว่าคือ ครั้งละ 60 นาที และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมสูงสุดที่ได้ในแต่ละกรณี พบว่า ในกรณีฉายรังสี มีค่าเป็น 97.63% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ในขณะที่กรณีไม่ฉายรังสี ให้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมน้อยกว่า คือ คิดเป็น 64.26% ของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมดที่มีในต้นทานตะวัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ในกรณีต้นทานตะวัน ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกนั้นจะเพิ่มขึ้น ถ้านำต้นทานตะวันไปฉายรังสีแกมมาก่อนนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง ที่ปริมาณรังสีในช่วง 500-700 kGy จะได้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวรวมเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ฉายรังสี 19.54%

สรุปผลการทดลองตอนที่ 3 การแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยวิธี Ion exclusion

เตรียมตัวอย่างสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A สารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B และสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C สารละลายที่ถูกเตรียมขึ้นนี้สำหรับใช้เป็นแบบจำลองในการแยกน้ำตาลออกจากกรด เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการสรุปผลที่ได้จากการแยกน้ำตาลออกจากกรดในสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์จริง

เมื่อนำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมลงในคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin โดยมี Bed Volume ที่ 15 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิของ Chamber ให้เป็น 25 ^{0}C เมื่ออุณหภูมิของ Chamber มีค่าเป็น 25 ^{0}C ดังที่กำหนด จับเวลา 20 นาที จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยสารละลายให้ไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ วัด %Brix และค่า pH ของสารละลายขาออก เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C และ 60 ^{0}C พบว่า ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C สามารถ

แยกน้ำตาลและกรดออกจากกันได้ดีที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกน้ำตาลออกจากกรดโดยวิธี Ion exclusion คือ ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

เมื่อนำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด B ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมลงในคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin จากนั้นปรับอุณหภูมิไว้ที่ 60 ^{0}c เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดจับเวลา 20 นาที จากนั้นเปิดวาล์วด้านล่าง ปล่อยให้สารละลายไหลออก เก็บตัวอย่างสารละลายขาออกในช่วงที่ pH ยังคงเป็น 7 ได้ปริมาตรรวม 28 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลในสารละลายขาออก คำนวณหา %Recovery ของน้ำตาลแต่ละชนิด และหา %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมด ได้ดังนี้ %Recovery สำหรับน้ำตาลกลูโคสมีค่าเท่ากับ 98.74% สำหรับน้ำตาลไซโลสมีค่าเท่ากับ 91.31% สำหรับน้ำตาลอะราบิโนสมีค่าเท่ากับ 98.37% สำหรับน้ำตาลกาแลกโทสมีค่าเท่ากับ 65.86% และ %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 93.10% จาก %Recovery ของน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่าน้ำตาลกาแลกโทสมี %Recovery ต่ำสุด และน้ำตาลกลูโคสมี %Recovery สูงที่สุด และเมื่อพิจารณา %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมดแล้วพบว่ามีค่ามากกว่า 90% ดังนั้น สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรด ในกรณีสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกชนิด B ได้ ซึ่งสารละลายชนิดนี้ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน จึงสรุปได้ว่า สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ฐานดอกทานตะวัน สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดได้โดยวิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

เมื่อนำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด C ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมลงในคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin จากนั้นปรับอุณหภูมิไว้ที่ 60 ^{0}C เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดจับเวลา 20 นาที จากนั้นเปิดวาล์วด้านล่าง ปล่อยให้สารละลายไหลออก เก็บตัวอย่างสารละลายขาออกในช่วงที่ pH ยังคงเป็น 7 ได้ปริมาตรรวม 28 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลในสารละลายขาออก คำนวณหา %Recovery ของน้ำตาลแต่ละชนิด และหา %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมด ได้ดังนี้ %Recovery สำหรับน้ำตาลกลูโคสมีค่าเท่ากับ 98.97% สำหรับน้ำตาลไซโลสมีค่าเท่ากับ 97.33% และ %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 98.10% เมื่อพิจารณา %Recovery ของน้ำตาลทั้งหมดแล้วพบว่ามีค่ามากกว่า 95% ดังนั้น สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรด ในกรณีสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกชนิด C ได้ ซึ่งสารละลายชนิดนี้ใช้เป็นตัวแทนของสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน จึงสรุปได้ว่า สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ต้นทานตะวัน สามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดได้โดยวิธี Ion exclusion ที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C

เมื่อนำสารละลายของน้ำตาลที่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ชนิด A ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมลงในคอลัมน์ที่บรรจุ Cation resin โดยมี Bed Volume ที่ 15 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เป็น 60 ^{0}C เมื่ออุณหภูมิของคอลัมน์มีค่าเป็น 60 ^{0}C ดังที่กำหนด จับเวลา 20 นาที จากนั้นเปิดวาล์วปล่อยสารละลายให้ไหลออกทางด้านล่างของคอลัมน์ วัดค่า pH ของสารละลายขา

ออกจนเริ่มมีค่าน้อยกว่า 7 เล็กน้อย จึงปิดวาล์ว จากนั้นชะล้างกรดที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ไทเทรตหาความเข้มข้นของสารละลายขาออกด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3.06 โมลต่อลิตร พบว่าสารละลายขาออกมีความเข้มข้นของกรดเท่ากับ 18.50% เมื่อคิดเป็น %Recovery ของกรดมีค่าเท่ากับ 36.27% ซึ่งถือว่าชะล้างกรดในคอลัมน์ออกมาได้น้อย กรดส่วนใหญ่ยังคงค้างอยู่ในคอลัมน์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีชะล้างกรดด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร พบว่า ความเข้มข้นของกรดในสารละลายขาออกมีค่าเป็น 12.50%, 11.50% และ 9.12% ตามลำดับ คำนวณ %Recovery ของกรดได้เท่ากับ 49.02%, 67.65% และ 71.57% ตามลำดับ ดังนั้น ในกรณีชะล้างกรดที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร สามารถนำกรดมาปรับความเข้มข้น และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยได้ %Recovery ของกรดเท่ากับ 67-72%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ข้อเสนอแนะการทดลองตอนที่ 1 และ 2 การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรด

1. ฐานดอกและต้นทานตะวันที่นำมาผลิตน้ำตาล ต้องเป็นฐานดอกและต้นทานตะวันภายหลังการเก็บเกี่ยว เพราะลักษณะของฐานดอกและต้นจะแห้ง ไม่อมน้ำ ทำให้มีปริมาณเส้นใยต่อมวลมาก เมื่อนำมาตากแดดและอบแห้งจะใช้เวลาไม่นาน ในขั้นตอนเตรียมตัวอย่างต้องระมัดระวังเรื่องแมลงที่อาศัยอยู่ในฐานดอกและในลำต้น เช่น มอด และด้วงขนาดเล็ก แมลงเหล่านี้จะกัดกินเนื้อฐานดอกและลำต้น ทำให้ได้ผลผลิตน้อยลง

2. ในขั้นตอนผสมฐานดอกและต้นทานตะวันที่เป็นผง กับสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีสภาพเป็นของเหลว ผงฐานดอกและต้นทานตะวันนั้นจะมีน้ำหนักเบาและลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลาย จำเป็นต้องคนด้วยแท่งแก้วให้ฐานดอกและต้นทานตะวันอยู่ในของเหลวทั้งหมดก่อนเพื่อให้ปฏิกิริยาย่อยสลายเป็นไปอย่างทั่วถึง

3. ในขั้นตอนการนำกากที่เหลือมาทำซ้ำ ให้นำกากมาไฮโดรไลซ์ซ้ำทันที โดยไม่ต้องล้างกากด้วยน้ำกลั่น เพราะในกากอาจมีน้ำตาลปะปนอยู่เล็กน้อย และไม่ควรทิ้งระยะเวลาในการไฮโดรไลซ์ซ้ำ เพราะน้ำตาลอาจจะสลายตัวไปเป็นสารอื่น หรือมีจุลินทรีย์มาใช้น้ำตาลในกากได้

ข้อเสนอแนะการทดลองตอนที่ 3 การแยกน้ำตาลออกจากกรด โดยใช้วิธี Ion exclusion

1. Strong acid exchange resins ที่ใช้ มีอายุการใช้งานประมาณ 1-2 ปี (DOWEX, XIII water-D-Ion exchange resins) เมื่อหมดอายุการใช้งาน เรซินจะเสื่อมสภาพแลกเปลี่ยนไอออน หรือสามารถตรวจสอบได้จากการประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนที่ด้อยลง ให้บรรจุเรซินลงในคอลัมน์ด้วยเรซินชุดใหม่

2. สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ ควรนำไปผ่านเครื่อง Centrifuge และกรองด้วยกระดาษกรองเสียก่อนที่จะนำมาผ่านคอลัมน์ เพื่อป้องกันมิให้อนุภาคของแข็งที่ไม่ละลายในสารละลาย ติดอยู่ในคอลัมน์ ทำให้เรซิน เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

3. ในขั้นตอนการชะล้างกรดที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่น เพื่อนำกรดกลับมาใช้ใหม่ อาจใช้วิธีล้างแบบ Counter current คือ ล้างสวนทางกับตอนแยกน้ำตาลออกจากกรด เพื่อเพิ่ม %Recovery ของกรดได้

4. อาจเพิ่มเติมระบบการแยกน้ำตาลออกจากกรดเป็นแบบ continuous คือ มี Bed column หลายชุดต่อเนื่องกัน แล้วปล่อยให้สารละลายไหลผ่านในแต่ละคอลัมน์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำตาลออกจากกรด และสามารถแยกน้ำตาลออกจากกรดกรณีสารละลายมีปริมาณมากๆ ได้เร็วขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] คมสัน อำนวยสิทธิ์ และคณะ. การศึกษาและการรวบรวมพันธุ์ทานตะวันกินเมล็ดเพื่อการปรับปรุงพันธุ์. 2547

[2] ชมพูนุช หาญนันทวิวัฒน์. การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟูริก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.

[3] สุภัทร ภัทรกิจโสภณ. การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลหญ้ากินนีสีม่วง หญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าแพนโกล่า และหญ้ารูซี่ โดยใช้กรดซัลฟูริกและการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟูริก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

[4] ASTM D5896-96, Standard Test Method for Carbohydrate Distribution of Cellulosic Meterials, Book of standard volume 06.03. (2007).

[5] Fouad, A., et al. Carbohydrate Research 50(1976), 109-113.

[6] Foldvary, Cs. M., Takacs, E., and Wojnarovits, L. Effect of high energy radiation and alkaline treatment on the properties of cellulose, Radiation Physics and Chemistry 67(2003), 505-508.

[7] Minoru, K., and Isao, K. Effect of Radiation Pretreatment of Bagasse on Enzymatic and Acid Hydrolysis, Biomass 3(1983), 199-208.

[8] Minoru Komakura and Isao Kaetsu. Pretreatment by Radiation and Acid of Chaff and Its Effect on Enzymatic Hydrolysis of Cellulose, Agricultural wastes 9(1984), 279-287.

[9] Mujgan Telli-Okur, Nurdan Eken-Saracoglu. Fermentation of sunflower seed hull hydrolysate to ethanol by Picia Stipitis, Bioresource Technology xxx (2007), xxx-xxx. (Article in press).

[10] Pilanee Vaithanomsat, Sinsupha ChuiChucherm, and Waraporn Apiwattanapiwat. Bioethanol production from enzymatically saccharified sunflower stalks using stream explosion as treatment, Wourld Academy of Science, Engineering and Technology 49 (2009), 140-143.

[11] Rebecca, A., Silverstein, Ye Chen, Ratna, R., Sharma-Shivappa, Micael, D., Boyette, Jason Osborne, 2007. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks, Bioresource Technology 98(2007), 3000-3011.

[12] Roger Adamz and Voorhees, V. Furfural, Organic Synthesis. 1: 49; Coll, Vol 1: 280. 1921.

[13] Runcang Sun, Mark Lawther, J., and Banks, W. B. Influence of alkaline pre-treatments on the cell wall components of weat straw, Industrial Crops and Products 4(1985), 127-145.

[14] Carparos, S., et al. Hydrothermal treatment and ehanol pulping of sunflower stalks, Bioresource Technology 99(2008), 1368-1372.

[15] Siriwattana Banchorndhevakul, Effect of urea and urea-gamma treatments on cellulose degradation of Thai rice straw and corn stalk, Radiation Physics and Chemistry 64(2002), 417-422.

[16] Toth, T., Borsa, J., and Takacs, E. Effect of preswelling on radiation degradation of cotton cellulose, Radiation Physics and Chemistry 67(2003), 513-515.

[17] Marechal, V., and Regal, L. Characterization of by-products of sunflower culture-commercial application for stalks and heads, Industrial Crops and Products 10(1999), 185-200.

[18] Neuman, N., Rudge, S. R., and Ladisch, M. R. Sulfuric acid-sugar separation by Ion exclusion, Reactive Polimers 5(1987), 55-61.

[19] Van Soest, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Ass. Offic. Agr. Chem. 46: 829-35. 1963.

[20] Xiao Feng Sun, Sun, R. C., Tomkinson, J., and Baird, M. S. Degradation of wheat straw lignin and hemicellulosic polymers by a totally chlorine-free method, Polymer Degradation and Stability 83(2004), 47-57.

[21] Ye Sun, Jiayang Cheng. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, review paper, Bioresource Technology 83(2002), 1-11.

[22] DOWEX, http://www.dowwatersolutions.com

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธีของ Van Soest

สารละลาย Neutral Detergent Fiber (NDF)

สารเคมีที่ใช้

1. โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate, USP.)
2. ไดโซเดียมเอทธิลีนไดอะมีนเตตระอะซิเตท (E.D.T.A.) ไดไฮเดรต (cryatal, reagent grade)
3. โซเดียมบอเรท ($Na_2B_4O_7.10H_2O$, reagent grade)
4. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4, anhydrous, reagent grade)
5. 2-เอทธอกซี่ เอทานอล (2-Ethoxyethanol, purified grade)
6. น้ำกลั่น

วิธีเตรียมสารเคมี (สำหรับสารละลาย NDF 1,000 มิลลิลิตร)

1. ชั่งสาร E.D.T.A. 18.61 กรัม และ $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 6.81 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 90-100 ^{0}C ปริมาตร 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ คนให้ทั่วจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้ใช้ความร้อนช่วย
3. เตรียมสารละลายโซเดียมลอริลซัลเฟต 30 กรัม และ 2-เอทธอกซี่ เอทานอล 10 มิลลิลิตร มาผสมกันในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ชั่งสาร Na_2HPO_4 4.56 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์
4. เติมน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 90-100 ^{0}C ปริมาตร 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ในข้อ 3 คนให้ทั่วจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าละลายไม่หมดให้ใช้ความร้อนช่วย
5. นำสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 1. และ 2. มาผสมกัน คนให้ทั่วจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
6. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลายที่มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์หาปริมาณ NDF

1. นำ Crucible ที่ล้างสะอาดแล้วไปอบในตู้อบแห้ง (Oven) ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่ในโถอบแห้ง (Desiccators) ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างต้น และฐานดอกทานตะวันที่ต้องการวิเคราะห์ ตัวอย่างละ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

3. เติมสารละลาย Neutral detergent 100 มิลลิลิตร และไดโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ คนด้วยแท่งแก้วจนไดโซเดียมซัลไฟต์ละลายหมด

4. นำสารละลายในข้อ 3. ที่เติมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์แล้วไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ด้วย Hot plate จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือดแล้วทำการย่อยต่อไปอีก 60 นาที

5. นำสารละลายมากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 90-100 ^{0}C ปริมาตร 1200 มิลลิลิตร ถ่ายตะกอนลงใน Crucible ที่วางบนขวดกรอง

6. แช่ตะกอนด้วยอะซิโตนประมาณ 30 นาที จากนั้นล้างตะกอนด้วยอะซิโตนจนกระทั่งสารละลายที่ไหลออกมาจาก crucible ไม่มีสี

7. นำ crucible ไปอบในตู้อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 6 ชั่วโมง หรือตลอดคืน

8. นำ crucible ออกมาใส่ในโถอบแห้ง ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของ crucible คือปริมาณของ NDF

วิธีคำนวณ

%NDF = [(น.น. Crucible & น.น. เยื่อใย)-น.น. Crucible]×100/น.น. ตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารละลาย Acid Detergent Fiber (ADF)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4, A.R., percent assay เท่ากับ 100)
2. ซิติลไตรเมทธิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyl trimethyl ammoniumbromide)
3. น้ำกลั่น

วิธีเตรียมสารเคมี (สำหรับสารละลาย ADF 1,000 มิลลิลิตร)

1. นำกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 27 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ คนด้วยแท่งแก้ว ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น
2. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
3. เติมซิติลไตรเมทธิลแอมโมเนียมโบรไมด์ 20 กรัม เขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

การวิเคราะห์หาปริมาณ ADF

1. ถ่ายตะกอนที่ได้จากการหา NDF ลงในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลาย ADF 100 มิลลิลิตรลงไป นำไปต้มให้เดือดจับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือดและปล่อยให้ย่อยต่อไปอีก 60 นาที
2. กรองสารละลายด้วยผ้าขาวบาง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 90-100 ^{0}C ปริมาตร 1200 มิลลิลิตร
3. ถ่ายตะกอนลงบน Crucible ที่วางบนขวดกรอง แช่ตะกอนด้วยอะซิโตนประมาณ 30 นาที กรองอะซิโตนออก ล้างตะกอนด้วยอะซิโตนจนกระทั่งสารละลายที่ไหลออกจาก Crucible ไม่มีสี
4. นำ Crucible ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 6 ชั่วโมง หรือตลอดคืน
5. นำ Crucible ออกมาใส่ในโถอบแห้ง ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของ Crucible คือปริมาณ ADF

วิธีคำนวณ

%ADF = [(น.น. Crucible & น.น. เยื่อใย)-น.น. Crucible]×100/น.น. ตัวอย่าง

%Hemicellulose = %NDF-%ADF

สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 72% (ADL)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4, A.R., percent assay เท่ากับ 100)
2. น้ำกลั่น

วิธีเตรียมสารเคมี (สำหรับสารละลาย ADL 1,000 มิลลิลิตร)

เตรียมน้ำกลั่น 440 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ที่มีปริมาตร 1 ลิตร นำกรดซัลฟิวริก 560 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ค่อยๆรินลงในบีกเกอร์ ระหว่างที่รินกรดให้ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งบีกเกอร์ไว้ในน้ำที่เย็น เติมกรดซัลฟิวริกจนหมด วัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายให้ได้เท่ากับ 1.634

การวิเคราะห์หาปริมาณ Lignin

1. นำ Crucible ที่มีตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์ ADF เรียบร้อยแล้ว วางในถาดที่มีน้ำกลั่นอยู่ระวังอย่าให้เยื่อใยใน Crucible เปียกน้ำ
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 72% ลงไปประมาณครึ่ง Crucible ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่วเพื่อให้เยื่อใยแยกจากกันไม่จับกันเป็นก้อน คอยเติมกรดให้กรดท่วมเยื่อใยอยู่ตลอดและต้องคนเยื่อใยด้วยแท่งแก้วอยู่เสมอ
3. ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง กรองกรดออก แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 90-100 ^{0}C ประมาณ 1200 มิลลิลิตร หรือจนกว่าจะหมดกรด
4. นำ Crucible ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 8 ชั่วโมง เอาออกใส่โถอบแห้ง ปล่อยให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนัก
5. นำ Crucible ที่มีกากตัวอย่างอยู่ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำ Crucible ออกใส่โถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปคือ ปริมาณลิกนิน

วิธีคำนวณ

%ลิกนิน = (น.น. เยื่อใยหลังการอบ-น.น.เยื่อใยหลังการเผา)×100/น.น. ตัวอย่าง

%Cellulose = (น.น. ADF-น.น. เยื่อใยหลังย่อยด้วยกรดและอบแห้ง)×100/น.น. ตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์น้ำตาลด้วย High performance Liquid Chromatography (HPLC)

High performance Liquid Chromatography (HPLC) หรือโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาสารเคมีจากตัวอย่าง สามารถแยกสารเคมีภายใต้ความดันของของเหลว เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารเชิงคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative analysis) และปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative analysis) ที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่ง โดยสามารถใช้กับงานด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ในการวิเคราะห์ทางอาหาร ยา ทางด้านการแพทย์ สมุนไพร และทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น สามารถตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างในปริมาณต่ำๆได้ในระดับ ไมโครกรัม (□g) ถึงระดับพิโคกรัม (pg) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสม

ในหลักการของ HPLC จะทำหน้าที่แยกสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ออกเป็นสารเคมีอิสระเพื่อที่จะได้ทราบถึงชนิดและปริมาณขององค์ประกอบโดย HPLC เป็นเทคนิคแยกสารผสมแบบใช้เครื่องสูบแรงดันสูง (High pressure pump) สูบตัวทำละลายที่ทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) พาสารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าทางช่องฉีดสาร (injector) ผ่านอนุภาคที่เป็นเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (column) สารผสมตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์และถูกแยกออกมา ผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) ในเวลาที่ต่างกัน สัญญาณที่วัดได้จะอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละตัวที่ตรวจวัดได้ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ เพื่อแสดงผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (chromatogram)

ส่วนประกอบที่สำคัญของ HPLC มีดังต่อไปนี้

Mobile phase reservoir

-เป็นภาชนะใช้บรรจุ mobile phase

Degasser

-เป็นอุปกรณ์ในการกำจัดฟองอากาศในสารละลาย

Pump

-เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหลระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน

Sample injection

-เป็นอุปกรณ์ในการฉีดสารตัวอย่าง มีทั้งแบบ manual และแบบ automatic sampler

Column มีสองชนิด คือ

1. Analytical column มีความยาวประมาณ 10-30 cm. เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 4-10 mm. วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ เช่น Stainless steel polyethylene สำหรับส่วนที่เป็น packing material ที่บรรจุอยู่ภายในได้แก่ silica based resins gels boned phase เป็นต้น

2. Guard column ต่อระหว่างส่วน injector และส่วน analytical column ซึ่งจะทำหน้าที่กรองอนุภาคหรือสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับสารตัวอย่าง รวมทั้งตัวทำละลาย เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของ analytical column

Detector

-เครื่องตรวจวัดสัญญาณสำหรับ HPLC ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

วิธีการหาปริมาณของสารประกอบโดยใช้ HPLC

เป็นกระบวนการเปรียบเทียบสารประกอบที่ไม่ทราบความเข้มข้นกับสารละลายที่ทราบความเข้มข้น โดยมีกระบวนการดังนี้

1. ฉีดชุดของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่เตรียมไว้เข้าไปใน HPLC เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์โดย Chromatograph จะแสดงพีคของชุดข้อมูลที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายที่ฉีดเข้าไป

2. หาพื้นที่ใต้กราฟของชุดสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่ฉีดเข้าไปในข้อ 1. และนำข้อมูลที่ได้มาทำเป็น Calibration curve โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เราทราบค่า

3. ทำการฉีดชุดของสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาลในตัวอย่างเข้าไปในเครื่อง HPLC เพื่อทำการตรวจสอบหาพื้นที่ใต้กราฟของพีคของน้ำตาลชนิดต่างๆ จากนั้นใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นในข้อ 2. มาคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายตัวอย่าง

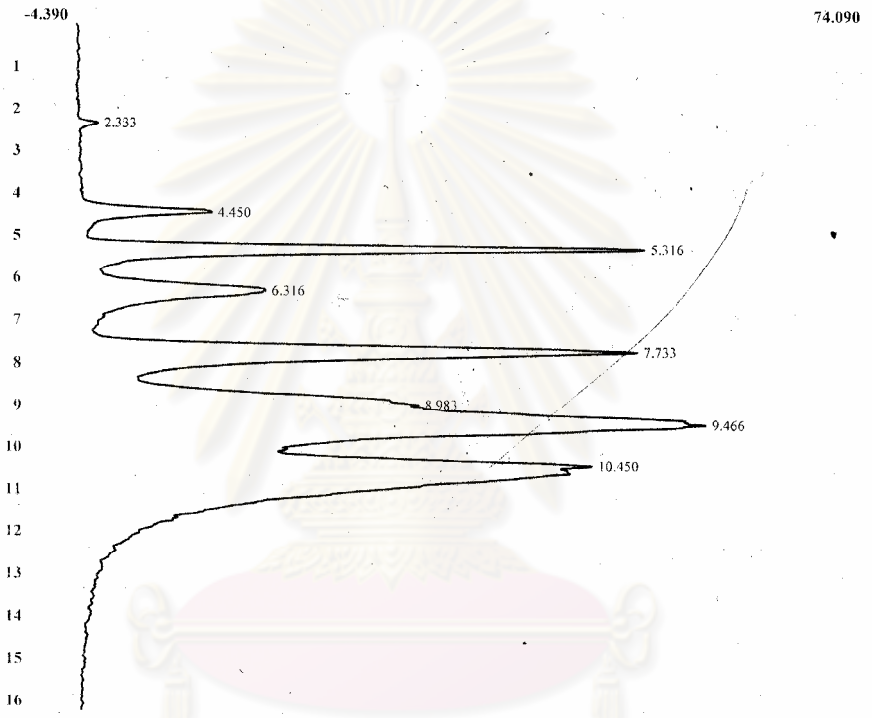
ตัวอย่างการหาตำแหน่งของพีคของน้ำตาลมาตรฐานชนิดต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง HPLC

1. เตรียมสารละลายผสมของน้ำตาลต่อไปนี้ ชนิดละ 2.5 mg/ml จำนวนชนิดละ 10 ml เท่าๆกัน ได้แก่ น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส น้ำตาลฟรุกโทส น้ำตาลแมนโนส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลกาแลกโทส

2. ฉีดสารละลายตัวอย่างน้ำตาลมาตรฐาน เข้าไปในคอลัมน์ HPLC, Lichrochart NH2 250×4mm. Carrier 89% acetronitrile in H_2O

Feed volume 5 □l.

Mobile phase flow rate 1.5 ml/min ได้ผลดังนี้



Component	Retention	Area	Area %
	2.333	14.7120	0.1946
Rhamnose	4.450	179.4640	2.3741
Xylose	5.316	704.1860	9.3155
Arabinose	6.316	424.9730	5.6219
Fructose	7.733	1030.2700	13.6292
Mannose	8.983	451.6060	5.9742
Glucose	9.466	2274.5675	30.0898
Galactose	10.450	2479.4910	32.8007

ภาพแสดงตำแหน่งของพีคของน้ำตาลชนิดต่างๆที่วัดด้วยเครื่อง HPLC

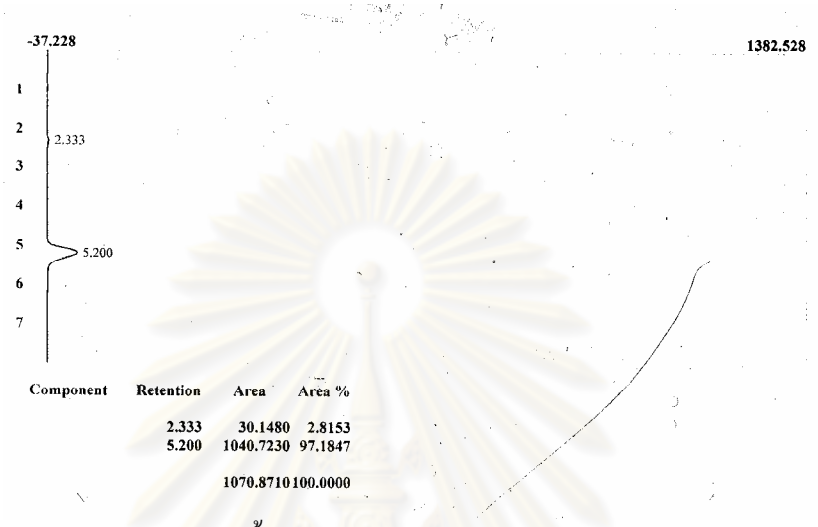
ตัวอย่างการหา Calibration curve ของน้ำตาลไซโลส

1. เตรียมสารละลายน้ำตาลไซโลส เข้มข้น 1, 3 และ 5 mg/ml บรรจุในหลอดบรรจุตัวอย่าง เพื่อเตรียมทำสารละลายมาตรฐาน

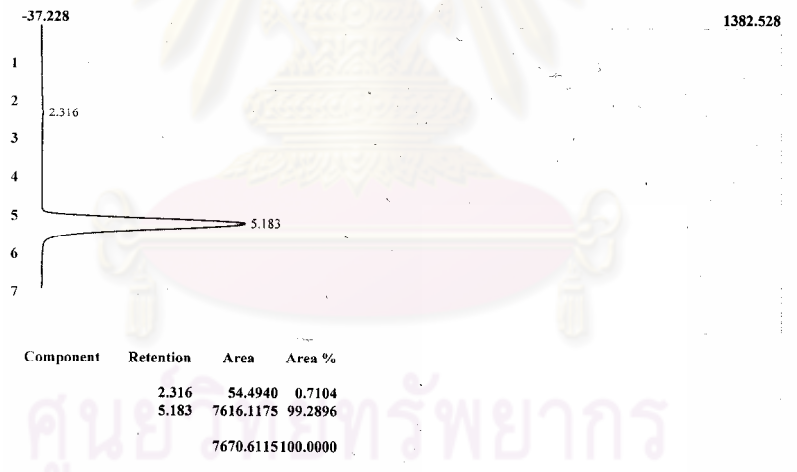
2. นำสารละลายไซโลส มาตรฐาน ที่เตรียมไว้ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC column Lichrochart NH2 250×4mm. Carrier 89% acetronitrile in H_2O

Feed volume 20 □l.

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Area ใต้พีค (แนวแกน X) กับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส (แนวแกน Y) คำนวณหาสมการเส้นตรงที่ลากผ่านจุดทั้งสามด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จะได้ Standard curve ของน้ำตาลไซโลส

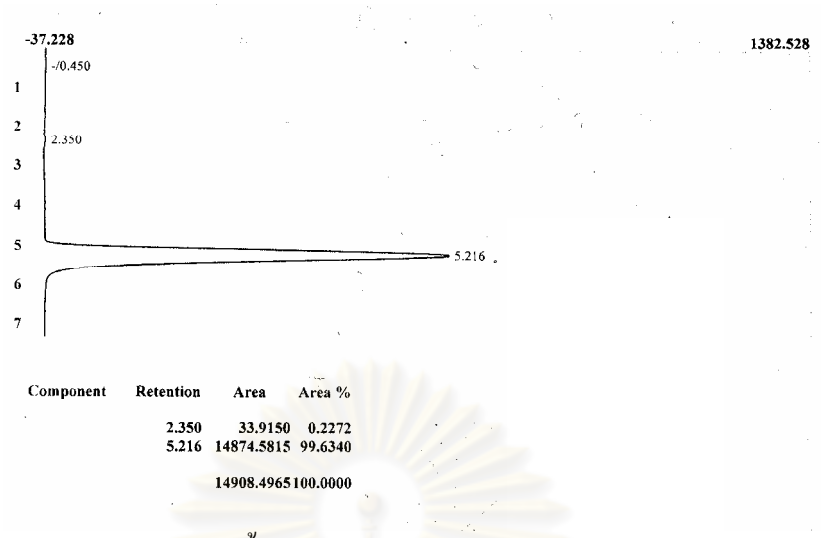


ตัวอย่างพีคของน้ำตาลมาตรฐานไซโลส ความเข้มข้น 1mg/ml



ตัวอย่างพีคของน้ำตาลมาตรฐานไซโลส ความเข้มข้น 3 mg/ml.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

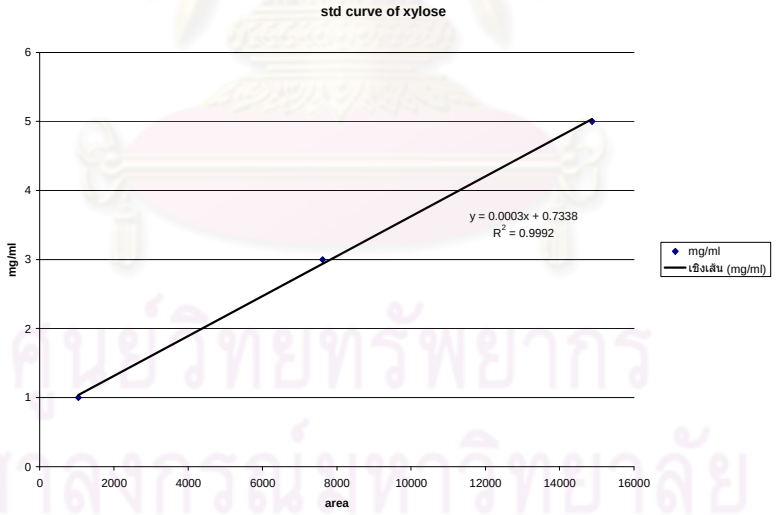


Component	Retention	Area	Area %
	2.350	33.9150	0.2272
	5.216	14874.5815	99.6340
		14908.4965	100.0000

ตัวอย่างพีคของน้ำตาลมาตรฐานไซโลส ความเข้มข้น 5 mg/ml.

จากนั้นนำค่า Area ใต้พีคที่ได้ กับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Area ใต้พีคกับความเข้มข้นในหน่วย mg/ml.

จะได้ Standard curve ของน้ำตาลไซโลส ดังแสดงต่อไปนี้



ภาพแสดง Standard Curve ของน้ำตาลไซโลส

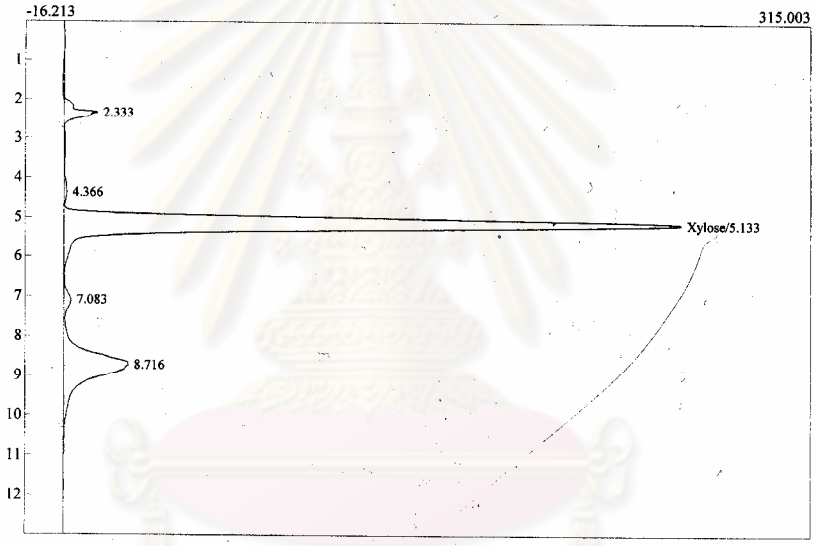
นำสมการเชิงเส้นที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ไปใช้ในการหาค่าความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสในตัวอย่างต่อไป

ตัวอย่างการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลในต้นทานตะวัน ด้วยเครื่อง HPLC

1. นำสารละลายตัวอย่างต้นทานตะวันที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ด้วย Autoclave ความเข้มข้นของกรด 5% เวลาในการไฮโดรไลซ์ 25 นาที มาทำให้เป็นสารละลายเจือจาง โดยเตรียมจากสารละลายตัวอย่าง 5 ml มาเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 ml (เจือจางลง 2 เท่า) จากนั้นเติมแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) เพื่อสะเทินกรดให้เป็นกลาง โดยวัดค่า pH ด้วย Universal indicator แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นนำไป centrifuge และเก็บในขวดบรรจุตัวอย่างเพื่อส่งวิเคราะห์ HPLC

2. วิเคราะห์สารละลายตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับการหา Calibration curve ของสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน

3. วิเคราะห์หาชนิดน้ำตาล โดยพิจารณาเทียบกับ พีคของสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลโดยเทียบกับสมการที่ได้จาก Calibration curve



Component	Retention	Area	Area %
	2.333	216.7470	3.2990
	4.366	25.1150	0.3823
Xylose	5.133	5068.1125	77.1391
	7.083	70.7640	1.0771
	8.716	1189.3560	18.1026
		6570.0945	100.0000

ตัวอย่างพีคของสารละลายตัวอย่างต้นทานตะวัน ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5% เวลาในการไฮโดรไลซ์ 25 นาที ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

จากพีคของน้ำตาลไซโลส มี Area ใต้พีคเท่ากับ 5068.1125 นำไปแทนค่าในสมการของน้ำตาลไซโลสได้ดังนี้

ความเข้มข้น (mg/ml) = 0.0003(5068.1125)+0.7338

= 2.2542 mg/ml

แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์ เจือจางลง 2 เท่า ดังนั้น ความเข้มข้นที่แท้จริงของน้ำตาลไซโลสในตัวอย่างจึงเป็น 4.50847 mg/ml.

ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

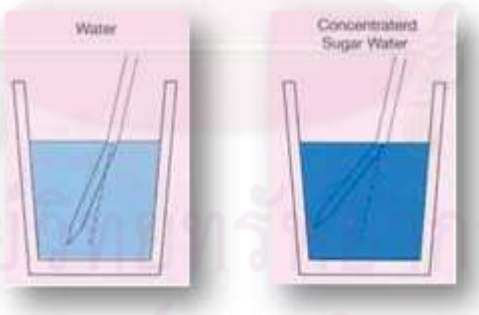
ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์น้ำตาลด้วย Brix refractometer

Brix refractometer คือ อุปกรณ์ที่ใช้หลักการหักเหของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ จากน้ำสู่คริสตัล (crystal) โดยการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้เกิดความต่างของตัวแปรที่มีผล ได้แก่ มุม ความเร็ว เป็นต้น

การหักเหของแสง (Refraction)

เมื่อนำหลอดๆหนึ่งจุ่มลงในแก้วน้ำที่มีน้ำอยู่ จะสังเกตเห็นการโค้งงอของหลอด และถ้าน้ำที่มีอยู่ในแก้วมีน้ำตาลละลายอยู่ หลอดก็จะโค้งงอมากขึ้น (ดังรูป) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การหักเหของแสง (Refraction) Refractometer คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการหักเหของแสงนี้ ค่าการหักเหของแสงจะมีมากขึ้นเมื่อสารละลายที่เป็นตัวกลางมีความเข้มข้นมากขึ้น ดังนั้นหลักการทำงานของ refractometer จึงใช้สมบัติเกี่ยวกับการหักเหของแสงที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของตัวกลาง refractometer ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดย Dr. Ernst Abbe นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน/ออสเตรีย ในต้นศตวรรษที่ 20



รูปภาพแสดงการหักเหของแสงในตัวกลางที่เป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน

หลักการทำงานของ Refractometer

การตรวจสอบค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) สามารถกระทำได้ 2 ระบบ คือ ระบบการส่องผ่านของแสง (transparent system) และระบบการสะท้อนของแสง (reflection system) โดย refractometer ที่ใช้ระบบการสะท้อนของแสงคือ Hand-held Refractometer และ Abbe refractometer ส่วน refractometer ที่ใช้ระบบการส่องผ่านคือ digital refractometer

ระบบการส่องผ่าน

ระบบการตรวจสอบสำหรับ Hand-held Refractometer สรุปได้ดังนี้

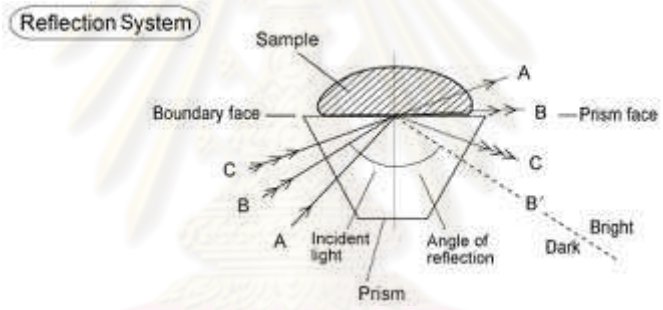
-ในรูปด้านล่าง การตรวจสอบจะใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์หักเหของแสงบนรอยต่อระหว่างปริซึม และสารละลายตัวอย่าง โดยที่ดัชนีหักเหของปริซึมมากกว่าของสารละลายตัวอย่าง

-ถ้าตัวอย่างเจือจาง จะทำให้มุมของการหักเหกว้าง (ตำแหน่ง a ของรูปที่ 2) เนื่องจากมีความต่างของดัชนีหักเหของแสงระหว่างปริซึมกับสารละลายตัวอย่างมาก แต่ในทางตรงกันข้าม

-ถ้าตัวอย่างเข้มข้น มุมของการหักเหจะแคบ (ตำแหน่ง b ในรูปที่ 2)

ระบบการสะท้อน

ระบบการตรวจสอบสำหรับ Digital refractometer สามารถอธิบายได้ดังนี้



ในรูป แสง A ตกกระทบทางด้านล่างซ้ายของปริซึม จะไม่สะท้อนกลับบริเวณรอยต่อ แต่จะทะลุผ่านสารละลายตัวอย่าง แสง B จะสะท้อนตามรอยต่อและขนานกับพื้นผิวสัมผัสไปทางด้านขวา และ แสง C มีมุมตกกระทบที่มากกว่าที่จะทะลุผ่านสารละลายตัวอย่างไปได้หรือก็คือมีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤติ จึงทำให้แสงที่ตกกระทบสะท้อนกลับหมดในทางด้านขวา

ผลที่ได้บริเวณรอยต่อที่ให้ทั้งส่วนมืดและส่วนสว่างบริเวณที่เป็นรอยปะ (เส้น B) ในรูป มุมของการสะท้อนบริเวณเส้นรอยต่อจะเป็นอัตราส่วนกับดัชนีหักเหของแสง ตำแหน่งของเส้นรอยต่อระหว่างส่วนมืดกับส่วนสว่างจะถูกตรวจจับโดย sensor และถูกเปลี่ยนไปเป็นค่าดัชนีหักเหของแสง

%Brix scale

ค่าของ Brix (%) จะแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ (water solution) ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด (soluble solid) คือ ผลรวมของ

ของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด เช่น น้ำตาล เกลือ โปรตีน กรด เป็นต้น และค่าที่อ่านได้ จะอยู่ในรูปผลรวมของปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total soluble solid) โดยพื้นฐานแล้ว %Brix จะทำการสอบเทียบ (calibration) กับสารละลายน้ำตาลอ้อย 100 กรัม ดังนั้นเมื่อมีการวัดสารละลายน้ำตาล ค่า %Brix ที่ได้ จะเป็นความเข้มข้นของน้ำตาลที่แท้จริง สำหรับสารละลายอื่นๆที่มีหลายองค์ประกอบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีกราฟเทียบกลับ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่แท้จริง แต่สำหรับ refractometer ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ต้องทำการสอบเทียบโดยใช้ Deionized water เท่านั้น

เมื่อวัดความเข้มข้นของสารละลายทางเคมีหรือทางอุตสาหกรรม เช่น สารละลายจากการคัดแยกน้ำมัน สารละลายน้ำยาล้าง แอลกอฮอล์ เป็นต้น Hand-held Refractometer เหล่านี้ จะวัดเป็นค่า %Brix ในรูปดัชนีหักเหของแสง และถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหของแสงและเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นจะขึ้นกับชนิดของสารละลาย ดังนั้น Hand-held Refractometer เหล่านี้ จำเป็นที่จะต้องสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่าง %Brix และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นก่อนทำการวัด

รูปแสดง Refractometer ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างการหาปริมาณน้ำตาลโดยวัดจาก %Brix โดยใช้ refractometer

1. นำสารละลายตัวอย่างฐานดอกทานตะวันที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ด้วยวิธี water bath ความเข้มข้นของกรด 15% เวลาในการไฮโดรไลซ์ 20 นาที มาสะเทินด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ วัดค่า pH ให้เป็นกลางโดยใช้ Universal indicator จากนั้นกรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ขวดบรรจุตัวอย่างนำไป centrifuge

2. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายใสที่ผ่านการ centrifuge หยดลงบนปริซึมที่อยู่ด้านบนของ refractometer ปิดแผ่นพลาสติกด้านบนลงมาระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกิดบนปริซึม จากนั้นส่องดูขีดบอกปริมาณน้ำตาล โดยจัดวาง refractometer ให้ขนานกับพื้นขณะที่ทำการส่อง

ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวัน ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้วิธี ASTM Standard (D5896-96, 2007)

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างฐานดอกทานตะวันและต้นทานตะวันมาบดละเอียดด้วยเครื่องบด จนมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 710 □m. และ 300 □m.

2. นำน้ำตาลมาตรฐานกลูโคส น้ำตาลมาตรฐานไซโลส น้ำตาลมาตรฐานกาแลกโทส และน้ำตาลมาตรฐานอะราบิโนส อบที่อุณหภูมิ 45 ^{0}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในโถอบแห้ง

3. ชั่งตัวอย่างฐานดอกทานตะวันและตัวอย่างต้นทานตะวันตัวอย่างละ 300 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ตัวอย่างละ 2 หลอด

4. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 72% ลงในหลอดทดลองจำนวน 3 มิลลิลิตรต่อหลอด คนให้เข้ากันประมาณ 1 นาที แล้วนำไปใส่ใน water bath เพื่อทำการไฮโดรไลซ์โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30 ^{0}C ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคนทุกๆ 15 นาที

5. ชั่งน้ำตาลมาตรฐานอย่างละ 300 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วทำตามขั้นตอนที่ 4

6. นำสารละลายของน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาปรับความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกให้เป็น 4% โดยเติมน้ำจำนวน 84 มิลลิลิตร

7. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 6 ใส่ลงในเครื่อง Autoclave ทำการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

8. นำตัวอย่างที่ผ่านการไฮโดรไลซ์มาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที

9. กรองสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ และทำการปรับค่า pH ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 5-6 โดยใช้ Calcium Carbonate

10. นำสารละลายของน้ำตาลที่ได้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC

การคำนวณ

1. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลมาตรฐานที่เหลืออยู่เมื่อผ่านการไฮโดรไลซ์ 2 ครั้ง

$$\%Recovery = C_2/C_1*100$$

โดยที่ C_1 คือความเข้มข้นของน้ำตาลมาตรฐานก่อนการไฮโดรไลซ์ หน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

C_2 คือความเข้มข้นของน้ำตาลมาตรฐานหลังการไฮโดรไลซ์ที่วัดด้วยเครื่อง HPLC หน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. นำ %Recovery ของน้ำตาลมาตรฐานมาแก้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวันที่ผ่านการไฮโดรไลซ์

$$C(corr) = C(spl)/(\%Recovery*100)$$

โดยที่ C(corr) คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวัน หน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

C(spl) คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวันที่วัดด้วยเครื่อง HPLC หน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

%Recovery คือ เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลมาตรฐานที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ในข้อ 1

3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำตาลในตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวัน

$$\%Sugar = [C(corr)*V_F]/[m_{spl}*(\%T_{105}/100)]*100$$

โดยที่

m_{spl} คือ น้ำหนักของตัวอย่าง หน่วยมิลลิกรัม

V_F คือ ปริมาตรที่กรองได้ทั้งหมด 87 มิลลิลิตร

C(corr) คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ตัวอย่าง ที่ได้จากข้อ 2 หน่วยมิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร

$\%T_{105}$ คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่าง ที่อบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C

การหา $\%T_{105}$

1. อบบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 105 ^{0}c เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 72 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง

2. ชั่งตัวอย่างฐานดอกและต้นทานตะวัน 0.5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้

3. นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมงแต่ไม่เกิน 72 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ถ้าน้ำหนักที่ได้ต่างจากครั้งแรกเกิน 0.3 มิลลิกรัม ให้ทำการอบซ้ำอีกครั้งจนน้ำหนักที่ได้ใน 2 ครั้งติดกัน มีน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม

4. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างทั้งหมดที่อบด้วยอุณหภูมิ 105 ^{0}C

$$\%T_{105} = (m_{f1}-m_t)/(m_{i1}-m_t)*100$$

โดยที่

m_{f1} คือ น้ำหนักของตัวอย่างรวมกับบีกเกอร์ หลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C

m_t คือ น้ำหนักของบีกเกอร์

m_{i1} คือ น้ำหนักของตัวอย่างรวมกับบีกเกอร์

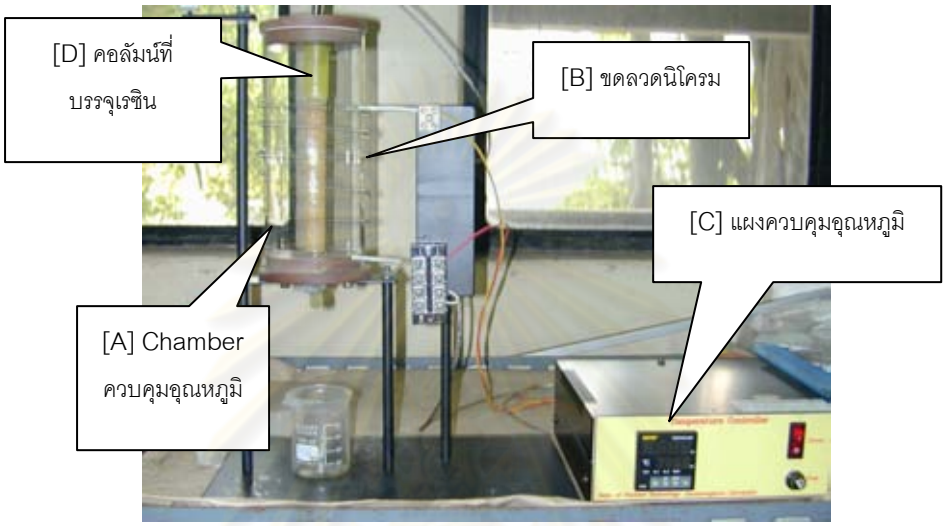
$\%T_{105}$ คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่าง ที่อบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C

ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

Chamber ควบคุมอุณหภูมิ สำหรับใช้ทดลองแยกน้ำตาลออกจากกรดโดยใช้วิธี Ion exclusion



รูปแสดง Chamber ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

[A] คือ Chamber ควบคุมอุณหภูมิ ประกอบไปด้วยหลอดแก้วทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ความยาว 8.6 นิ้ว ที่ปลายทั้งสองข้างปิดสนิทด้วยแผ่นไม้ ภายในบรรจุคอลัมน์แก้ว ปริมาตรของคอลัมน์ 25 มิลลิลิตร คอลัมน์นี้ที่ปลายด้านล่างมีวาล์วสำหรับปิดเปิดให้ของเหลวไหลออกทางด้านล่างได้ ด้วยอัตราเร็ว 0.03 มิลลิลิตรต่อวินาที นอกจากบรรจุคอลัมน์แล้ว Chamber นี้ยังประกอบไปด้วยแท่งเทอร์โมคับเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิภายใน Chamber ซึ่งมีสายของเทอร์โมคับเปิลต่อกับแผงควบคุมอุณหภูมิหลัก

[B] คือ ขดลวดนิโครม สำหรับให้ความร้อนแก่ Chamber ซึ่งขดลวดนิโครมพันรอบ Chamber ในลักษณะเป็นเกลียวและต่อกับแผงควบคุมอุณหภูมิ

[C] คือ แผงควบคุมอุณหภูมิ สำหรับปรับอุณหภูมิของระบบในหน่วยของศาเซลเซียส ปรับขึ้นลงได้ทีละ 1 ^{0}C เมื่อปรับอุณหภูมิแล้ว Chamber จะมีอุณหภูมิดังที่กำหนดใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที

[D] คือ คอลัมน์แก้วที่บรรจุเรซิน ปริมาตรของคอลัมน์ 25 มิลลิลิตร ภายในบรรจุเรซินชนิด Strong acid Cation exchange resins ของ DOWEX ซึ่ง packed อยู่ในน้ำกลั่น มี Bed Volume เท่ากับ 15 มิลลิลิตร ความยาวของช่วง Bed ประมาณ 6 นิ้ว

วิธีทดลอง

1. เปิดฝาด้านบนของ Chamber ออก เติมสารละลายทางด้านบนของคอลัมน์

2. ปิดฝา แล้วเปิดสวิตซ์แผงควบคุมอุณหภูมิ ปรับอุณหภูมิไว้ที่กำหนด เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดจับเวลา 20 นาที เปิดฝาทางด้านบนของ Chamber ออก เปิดวาล์วด้านล่างของคอลัมน์เพื่อให้สารละลายไหลออก คอยเติมน้ำกลั่นทางด้านบนของคอลัมน์แทนที่สารละลายที่ไหลลงมา รองรับสารละลายที่ไหลลงมาทางด้านล่างด้วยบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร กระบวนการทั้งหมดในขั้นตอนที่ 2 นี้ทำในสภาวะอุณหภูมิที่กำหนด

3. เมื่อทดลองเสร็จสิ้น สังเกตปริมาณน้ำกลั่นในคอลัมน์ ต้องอยู่ในระดับที่สูงกว่าผิวหน้าของ Bed ประมาณ 1 เซนติเมตร ถ้า Bed แห้งต้องเติมน้ำกลั่นให้ Bed ทั้งหมดจมอยู่ในของเหลวอยู่ตลอดเวลา จากนั้นปิดฝาของ Chamber ให้สนิท และปิดสวิตซ์แผงควบคุมอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

ปริมาณสารประกอบเพกทิน (Pectin) ที่มีอยู่ในฐานดอก และต้นทานตะวัน

ฐานดอกทานตะวัน มีปริมาณเพกทินเป็นองค์ประกอบ 19-22% ซึ่งมีวิธีสกัดคือ นำฐานดอกทานตะวันที่อบแห้ง ไปล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยมีอัตราส่วนระหว่างฐานดอกอบแห้งกับปริมาณน้ำ เป็น 1: 25 เพื่อสกัดเอาเพกทินที่ละลายน้ำได้ออกก่อน หลังจากนั้นสกัดเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ละลายน้ำไม่ได้ ด้วยสารละลาย 0.75% Sodiumhexametaphosphate ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส pH เท่ากับ 5 เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เพกทินที่สกัดได้จากฐานดอกทานตะวันนั้น มีปริมาณกรดกาแลกโทลูนิก สูง (Galactorunic acid) และเป็นกลุ่ม low methoxy group (Low DM มี Degree of Methylation น้อยกว่า 20%) คือ เป็นเส้นใยเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลไม่ใหญ่มาก สารประกอบเพกทินในฐานดอกนี้ มีส่วนที่สามารถละลายน้ำได้คิดเป็น 67% ละลายในสารละลาย ammonium oxalate/oxalic acid 74% ละลายในกรดไฮโดรคลอริกได้ 33%

ส่วนในลำต้นนั้น มีเพกทินเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยกว่ามาก คือมีประมาณ 4-7% และเป็นเพกทินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับที่พบในฐานดอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

Ion exchange resins

Ion exchange resins เป็นพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนของตัวมันเองกับไอออนของสารละลายที่ไหลผ่าน คุณสมบัตินี้พบได้ทั่วไปในระบบธรรมชาติ เช่น การกรองในชั้นดิน และในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต การสังเคราะห์เรซินเริ่มแรกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และต่อมาก็ประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกแร่ธาตุต่างๆ

ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้น นิยมใช้ในการขจัดแคลเซียมไอออน(Ca^{2+})และแมกนีเซียมไอออน(Mg^{2+})ที่พบในน้ำกระด้าง โดยแลกเปลี่ยนกับโซเดียมไอออน(Na^{+})ในเรซิน ทำให้น้ำกระด้างกลายเป็นน้ำอ่อน (Soften water) กระบวนการนี้แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนจะไปแทนที่โซเดียมไอออนที่อยู่ในเรซิน และเรซินจะปลดปล่อยโซเดียมไอออนลงมาในน้ำ ถ้าน้ำที่มีแร่ธาตุปะปนอยู่ไหลผ่านเรซินที่มีไฮโดรเจนไอออนเป็นส่วนประกอบ (ซึ่งจะแทนที่กับไอออนบวกทุกชนิดในน้ำ) และไหลผ่านเรซินลำดับที่สองเป็นเรซินที่มีไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นส่วนประกอบ (ซึ่งจะแทนที่กับไอออนลบทุกชนิดในน้ำ) ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเรซินจะรวมกันเกิดเป็นน้ำ (H_2O)

ถ้าในน้ำมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์บางชนิด หรือมี Fe^{3+} ไอออน ละลายอยู่ จะไปทำให้คุณสมบัติของเรซินเสื่อมสภาพลง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เรซินในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีข้อดี คือ ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วัสดุที่ใช้ทำเรซินนั้นนิยมใช้เป็นพอลิเมอร์ของสารอินทรีย์ เช่น พอลิสไตรีน ที่นำมาปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลให้มีหมู่ฟังก์ชั่นที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนในสารละลายที่มาสัมผัสได้ พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้

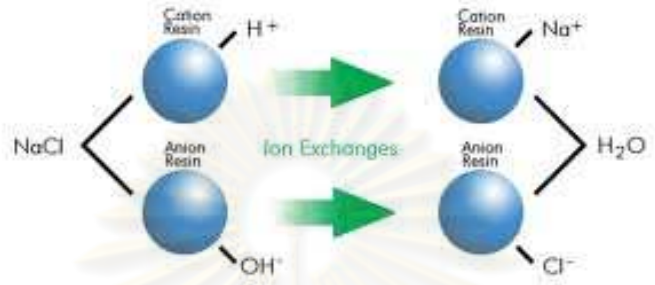
$$AR + B^{n\pm} \Leftrightarrow BR + A^{n\pm}$$

เมื่อ AR คือ โมเลกุลของเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชั่นที่ทำหน้าที่แทนที่กับไอออนในสารละลายคือหมู่ A และมี R เป็นหมู่แอลคิล (Alkyl group) เมื่อเรซินสัมผัสกับสารละลายซึ่งมีไอออน B อยู่ B ไอออนจะเข้าไปแทนที่หมู่ A ในโมเลกุลของเรซิน และจับกับโมเลกุลของเรซินเกิดเป็นสารประกอบ BR ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกับ AR เดิม และปลดปล่อยหมู่ A ซึ่งกลายสภาพเป็นไอออนละลายอยู่ในสารละลาย

Ion exchange resins โดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสองประเภทได้แก่

Cation exchange resins เป็นเรซินที่แลกเปลี่ยนไอออนบวกของตัวมันเองกับไอออนบวกที่มีในสารละลาย

Anion exchange resins เป็นเรซินที่แลกเปลี่ยนไอออนลบของตัวมันเองกับไอออนลบที่มีในสารละลาย



ภาพแสดงตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของ Cation exchange resins และ Anion exchange resins

ประเภทของเรซิน

Ion exchange resins สามารถแยกประเภทได้ตามความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับสารละลาย ได้แก่ cation exchange resins คือ เรซินที่แลกเปลี่ยนไอออนบวกของมันเองกับไอออนบวกที่อยู่ในสารละลาย และ anion exchange resins คือ เรซินที่แลกเปลี่ยนไอออนลบของมันเองกับไอออนลบที่อยู่ในสารละลาย เรซินทั้งสองประเภทต่างก็ผลิตขึ้นมาจากพอลิเมอร์อินทรีย์ชนิดเดียวกัน แตกต่างกันเพียงบริเวณกลุ่มที่ให้ไอออนซึ่งเชื่อมต่อกับโครงสร้างไฮโดรคาร์บอน (Ionizable group attached to the hydrocarbon network) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชั่นที่กำหนดคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาเคมีของเรซิน นอกจากนี้ เรซินทั้งสองประเภทนี้ยังถูกแบ่งออกได้อีกเป็น เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ (strong acid cation exchangers) เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดอ่อน (weak acid cation exchangers) เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสแก่ (strong base anion exchangers) เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อน (weak base anion exchangers)

Strong acid cation resins เป็นเรซินที่มีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกับกรดแก่ โครงสร้างโมเลกุลของเรซินพบได้ในสองรูปคือ รูปกรด (acid form: R-SO_3H) และรูปเกลือของกรด (salt form: R-SO_3Na) ตัวอย่างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเรซินในรูปกรดกับเกลือของโลหะนิกเกิลที่อยู่ในสารละลายเป็นดังนี้

$$2(R-SO_3H) + NiCl_2 \rightarrow (R-SO_4)Ni + 2HCl$$

จากปฏิกิริยา ไอออนของโลหะจะเข้าแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมในโมเลกุลของเรซิน และเรซินจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตอนออกมา ทำให้ pH ของสารละลายต่ำลง นั่นคือ หลังจากปฏิกิริยา สารละลายจะมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น จำนวนโมเลกุลของเรซินจะสมดุลพอดีกับประจุของไอออนของโลหะ ดังสมการที่ปรากฏ โลหะนิกเกิลมีประจุเป็น 2+ จึงต้องใช้เรซินสองโมเลกุล

ตัวอย่างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเรซินในรูปเกลือกับเกลือของโลหะนิกเกิลที่อยู่ในสารละลายเป็นดังนี้

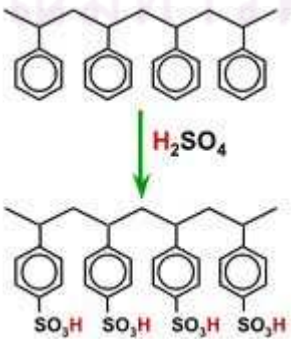
$$2(R-SO_3Na)+NiCl_2 \rightarrow (R-SO_4)Ni+2NaCl$$

จากปฏิกิริยา เป็นไปในแนวทางเดียวกับเรซินในรูปกรด นั่นคือ ไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายจะเข้าแทนที่อะตอมของโซเดียมในโมเลกุลของเรซิน และเรซินจะปลดปล่อยโซเดียมไอออนออกมาในสารละลาย

โดยทั่วไป มักใช้ Strong acid cation resins ในรูปของกรด (แลกเปลี่ยนไฮโดรเจนอะตอมกับไอออนของโลหะในสารละลาย) เมื่อต้องการให้เกิดกระบวนการ deionization อย่างสมบูรณ์ และใช้ Strong acid cation resins ในรูปเกลือ (แลกเปลี่ยนโซเดียมอะตอมกับไอออนของโลหะในสารละลาย) สำหรับแก้น้ำกระด้าง (ขจัดแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนในน้ำ)

เมื่อโมเลกุลของเรซินในรูปกรด (Acid form) แลกเปลี่ยนไอออนของโลหะในสารละลายจนมีสภาพอิ่มตัว (Exhaustion) นั่นคือ ไอออนของโลหะไม่สามารถแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมในโมเลกุลของเรซินได้อีก เราสามารถทำให้เกิดกระบวนการผันกลับทำให้เรซินกลับมาอยู่ในรูปของกรด (Acid form) ได้ใหม่โดยการทำให้เรซินสัมผัสกับสารละลายกรดแก่

สำหรับโมเลกุลของเรซินในรูปเกลือ (Salt form) เมื่ออยู่ในสภาพอิ่มตัวก็สามารถทำให้เกิดกระบวนการผันกลับทำให้เรซินกลับอยู่ในรูปของเกลือ (Salt form) ได้ใหม่โดยการทำให้เรซินสัมผัสกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่นี้สามารถทำงานได้ในทุกช่วง pH โดยประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปแสดงตัวอย่างการจับไอออนบวกของ Strong acid cation resins

Weak acid cation resins เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดอ่อน จะมีส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนคือ หมู่ฟังก์ชั่นกรดอินทรีย์ (Carboxylic acid: -COOH) เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดอ่อนจะว่องไวต่อไฮโดรเจนไอออนมากกว่าแบบกรดแก่ ในกระบวนการผันกลับ (regeneration) เพื่อทำให้เรซินอยู่ในรูปกรด (acid form) ได้ใหม่จะใช้ปริมาณกรดน้อยกว่า อย่างไรก็ดี การแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเรซินแบบกรดอ่อนนั้นมีข้อจำกัดเรื่อง pH ของสารละลาย ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่า 6.0 จะเป็นขีดจำกัดของความจุ (capacity) ของเรซิน ซึ่งไม่เหมาะสมในการขจัดไอออนในกระบวนการ deionization ในการบำบัดน้ำเสีย

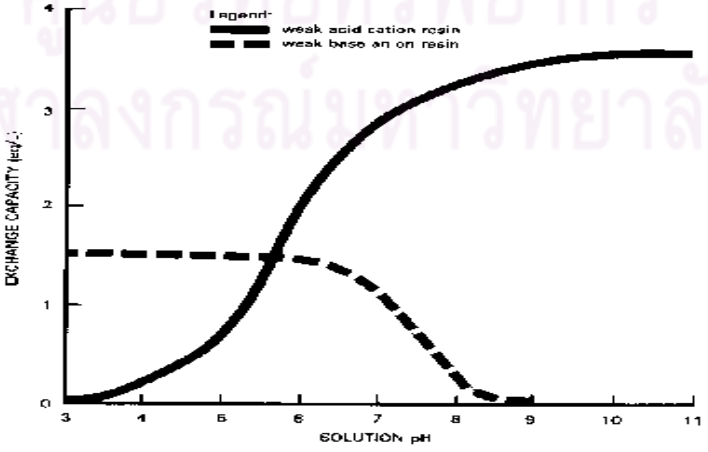
Strong base anion resins เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสแก่ เช่นเดียวกันกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ เรซินชนิดนี้ สามารถทำงานได้ในทุกช่วงค่า pH โดยประสิทธิภาพไม่ลดลงมากนัก เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสแก่นี้จะอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ (hydroxide form: -OH) สามารถแลกเปลี่ยนไอออนลบกับสารละลายได้ดังตัวอย่างสมการ

$$R - NH_3OH + HCl \rightarrow R - NH_3Cl + HOH$$

จากปฏิกิริยา หมู่ฟังก์ชั่น NH_3OH จะแลกเปลี่ยนไฮดรอกไซด์ไอออน กับคลอไรด์ไอออน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือน้ำ

เมื่อต้องการทำให้เรซินกลับอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์เช่นเดิม (Regeneration) สามารถกระทำได้โดยให้เรซินสัมผัสกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น

Weak base anion resins เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อน เช่นเดียวกันกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดอ่อน ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนลบจะขึ้นอยู่กับช่วง pH ของสารละลาย ขีดจำกัดความจุของเรซินอยู่ที่ค่า pH ไม่เกิน 7.0 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH ของสารละลายกับความจุในการแลกเปลี่ยน (exchange capacity) ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดอ่อน และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อน เป็นไปดังรูป



SOURCE: Adapted from Schweitzer, P. A., *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers*, New York NY, McGraw-Hill, 1979.

ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อนเป็นดังนี้

$$R-NH_2 + HCl \rightarrow R-NH_3Cl$$

ในกระบวนการกำจัดไอออนในน้ำเสีย น้ำเสียจะไหลผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ เพื่อกำจัดไอออนของโลหะได้แก่ นิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) ไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) โดยแทนที่กับไฮโดรเจนไอออนในโมเลกุลของเรซิน เรซินจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ละลายในสารละลายทำให้ค่า pH ของสารละลายต่ำลง จากนั้นส่งผ่านน้ำเสียที่กำจัดไอออนบวกของโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำแล้วให้ไหลผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อน เพื่อกำจัดไอออนลบจำพวก ซัลเฟตไอออน คลอไรด์ไอออน (SO_4^{2-}, Cl^-) สาเหตุที่นิยมใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบเบสอ่อนมากกว่าแบบเบสแก่ เพราะเมื่อต้องการทำให้เรซินกลับมาอยู่ในสภาพเบสอ่อนเหมือนเดิม สามารถใช้โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งมีราคาถูกกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์

การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในระบบอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้งานเรซินแลกเปลี่ยนไอออนในระบบอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบ Fixed bed column การออกแบบคอลัมน์นั้นจะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

-คอลัมน์ต้องสามารถบรรจุเรซินและไม่ทำให้เม็ดเรซินรั่วไหล

-ต้องทำให้สารละลายที่ไหลผ่านคอลัมน์มีความทั่วถึงทุกส่วนของเรซินรวมถึงการ regenerate เรซินสารละลายที่ใช้ในการ regenerate ต้องไหลผ่านเรซินอย่างทั่วถึง

-ต้องมีพื้นที่ที่สามารถทำการฟลูอิไดซ์ (fluidize) เรซินเมื่อต้องการล้างเรซินได้

-ในส่วนของท่อ วาล์วและอุปกรณ์ที่ต่อกับคอลัมน์ต้องทำให้สามารถปรับหรือควบคุมอัตราการไหลของสารละลายหรือสารที่ใช้ในการ regenerate ได้

ในกระบวนการ Regeneration ภายหลังจากที่เรซินไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน (Exhaustion) จะต้องทำการ regenerate เรซิน ในระบบแลกเปลี่ยนไอออนบวก เรซินจะเปลี่ยนรูปจากไฮโดรเจนฟอร์ม (Hydrogen form or acid form) ไปเป็นโซเดียมฟอร์ม (Sodium form) ซึ่งมีขั้นตอนกระบวนการ regenerate ดังนี้

1. ต้องทำการล้างคอลัมน์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่สะสมอยู่ด้วยวิธีฟลูอิไดซ์ เพื่อทำให้ผิวหน้าของเรซินไม่มีสารเจือปนใดๆเกาะอยู่ และเพื่อจัดเรียงเม็ดเรซินใหม่ไม่ให้เกิดโพรงอากาศภายในชั้นของเรซิน

2. ปล่อยสารละลายที่ใช้ในการ Regenerate ให้ไหลผ่านเรซินคอลัมน์ ในกรณีของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ ใช้กรดแก่ เช่น ไฮโดรคลอริก (HCl) ให้ไหลผ่านเรซินคอลัมน์อย่างทั่วถึง เพื่อทำให้เรซินกลับมาอยู่ในรูปไฮโดรเจนฟอร์ม จากนั้นใช้น้ำกลั่นล้างกรดไฮโดรคลอริกที่เหลืออย่างช้าๆ จนหมดกรด

3. ในกรณีเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ที่อยู่ในรูปเกลือ (Salt form or Sodium form) ใช้วิธีเช่นเดียวกับข้อ 2. แต่เปลี่ยนสารละลายที่ใช้ Regenerate เป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

4. หลังจากนั้นใช้น้ำกลั่นไหลผ่านเรซินอย่างรวดเร็ว เพื่อกำจัดสารละลายต่างๆที่ยังตกค้างอยู่ และเพื่อทดสอบระบบการไหลเวียนของของเหลวผ่านเรซิน

5. เรซินคอลัมน์พร้อมใช้งานได้ใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัฒนา พุ่มมะลิ เกิดเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2525 สถานที่เกิด จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย